

28 июня — 5 июля

МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

И ШКОЛА МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ ПО ИЗМЕРЕНИЯМ, МОДЕЛИРОВАНИЮ И ИНФОРМАЦИОННЫМ СИСТЕМАМ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ



INTERNATIONAL CONFERENCE

AND EARLY CAREER SCIENTISTS SCHOOL ON ENVIRONMENTAL OBSERVATIONS, MODELING AND INFORMATION SYSTEMS

June 28 — July 5



Организаторы Enviromis 2014

Enviromis 2014 organizers

Сибирский центр климато-экологических исследований и образования Siberian Center for Environment Research and Training,

Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН

Institute of Monitoring of Climatic and Ecological Systems SB RAS,

Институт вычислительной математики РАН

Institute of Numerical Mathematics RAS.

Благодарности за поддержку

Thanks

РФФИ, WMO The support of WMO, RFBR

Содержание | Contents

СЕКЦИЯ 1	КЛИМАТИЧЕСКИЕ ИЗМЕНЕНИЯ В СЕВЕРНОЙ ЕВРАЗИИ	
	и их последствия	
CECCION 1	• •	
SESSION 1	ONGOING CLIMATE CHANGES OVER NORTHERN EURASIA	
	AND THEIR CONSEQUENCES	
Dynamical aspect	s of extremes in climate and ecosystems:	
	spatial coherence and mutual interdependence	
	Onner, Janna Wagner, Viola Mettin, Eva Hauber, Marc Wiedermann, Jonathan F. Donges,	
Niklas Be	pers, Jürgen Kurths	4
	atosphere interaction in observations and climate modeling data at different time scales	
	E.M., Vargin P.N.	
	тропосферы и стратосферы на различных временных масштабах по данным наблюдений	Í
и климатических	к моделей Е.М., Варгин П.Н.	6
	matic changes in Northern Eurasia and their interactions with in-situ measurement	0
	both, climatology of precipitation and its trends	
Pavel Ya.	Groisman, Esfir G. Bogdanova, Vladimir A. Alexeev, Olga N. Bulygina	8
Impact of climate	changes on ecosystem dynamics in West Siberia northern taiga	
	chuk T.A., Moskalenko N.G., Ponomareva O.E., Ustinova E.V., Berdnikov N.M., Gravis A.G	9
	ических изменений на динамику экосистем северной тайги Западной Сибири	
	vк Т.А., Москаленко Н.Г., Пономарева О.Е., Устинова Е.В., Бердников Н.М., Гравис А.Г	10
	erm dynamics of atmospheric circulation parameters, in terms of cyclones,	
	perature over Siberia snykh N.V., Ippolitov I.I.	12
	ей динамики параметров атмосферной циркуляции, на примере циклонов,	12
	пературой воздуха над территорией Сибири	
Поднебе	сных Н.В., Ипполитов И.И.	13
Observed changes	s in climate over the Great Vasyugan Bog in the instrumental record: air temperature	
Ivanova .	E.V., Kuskov A.I., Tartakovsky V.A	15
	менения климата над Большим Васюганским болотом в период инструментальных	
	пература воздуха	
	вский В.А., Кусков А.И., Иванова Э.В.	16
of West Siberia du	nges in energetic characteristics of atmospheric circulation and their relationship with climate	
Flora V	Kharyutkina, Sergey V. Loginov, Yuliya V. Martynova	19
	ий энергетических характеристик атмосферной циркуляции и их связи с климатом	1)
	и в последние десятилетия	
Харютк	ина Е.В., Логинов С.В., Мартынова Ю.В	
	orthern and Southern Hemisphere subtropical jet streams for the period 1948–2013	
from the NCEP-N		
	S.Yu., Ippolitov I.I., Loginov S.V.	22
	опических струйных течений в Северном и Южном полушариях за 1948–2013 гг. илиза NCEP-NCAR	
	С.Ю., Ипполитов И.И., Логинов С.В	23
	iability of the ocean and atmosphere characteristics over the North parts	23
	Atlantic oceans for the period of the global warming from 1975 – 2011	
	E.I., Loginov S.V., Ippolitov I.I	24
Временная измен	ччивость характеристик океана и атмосферы в Северной части Тихого	
	о океанов в период глобального потепления 1975 – 2011 гг.	
	Е.И., Логинов С.В., Ипполитов И.И.	25
	nditions of automobile transport operation in Moscow region in cold season	27
	а А. V	21
Московской обла		
	а <i>А.В.</i>	27
	precipitation changes in Siberia: data reliability and climate characteristic trends	-/
Shulgina	T.M., Gordov E.P.	30
	nual dynamics of the thermal regime of natural areas of the West Siberian plain	

Sapyan E.S., Filandysheva L.B. 30

Особенности внутригодовой динамики термического режима природных зон Западно-Сибирской равнины

Seasonal variations of O ₃ , CO and NO _x near-surface concentration in central Siberia: ZOTTO observation
and model simulation Shtabkin Y.A., Moiseenko K.B
Сезонные вариации приземных концентраций O_3 , CO и NO_x в центральной Сибири: наблюдения ZOTTO и численное моделирование
Штабкин Ю.А., Моисеенко К.Б
Васильев Д. Ю., Михайлов Г.П
Instability of Earth's angular velocity and long-term fluctuations of the Belaya River discharge Vasil'ev D.Y., Mikhailov G.P
Monitoring changes of the air temperature in the ridge and hollow landscapes Vasilenko O.V., Voropay N.N
Мониторинг изменения температурного режима горно-котловинных ландшафтов Василенко О.В., Воропай Н.Н
Spatiotemporal characteristics of extremely wet and drought episodes in Russian Federation Utkuzova D.N., Khan V.M
Пространственно-временные характеристики эпизодов экстремальной засушливости и увлажненности на территории РФ
Уткузова Д.Н., Хан В.М
Korf E.D
Исследование динамики термокарстовых озер центральной части Чуйской котловины Корф Е.Д
СЕКЦИЯ 2 МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕГИОНАЛЬНОГО КЛИМАТА
SESSION 2 REGIONAL CLIMATE MODELING
General Circulation of the Atmosphere and Climate Changes
Krupchatnikov V., Martynova Yu., Borovko I
Kurbatskiy A.F., Kurbatskaya L.I
Modeling of the Climatic River Runoff for the Siberian Region in the XX and XXI centuries
Кигіп V.I., Lapteva N.A. 51 Моделирование климатического речного стока для Сибирского региона в XX - XXI веках
Кузин В.И., Лаптева Н.А
Numerical simulation of the Arctic Ocean variability
Golubeva E.N., Platov G.A., Yakshina D.F.
Исследование изменчивости состояния Северного Ледовитого океана на основе численного моделирования Голубева Е.Н., Платов Г.А., Якшина Д.Ф. 54
Numerical simulation of greenhouse gases transport in a system «lake – atmospheric boundary layer» Stepanenko V.M., Glazunov A.V., Guseva S.P., Lykosov V.N., Shurpali N., Biasi C., Martikainen P
Численное моделирование переноса парниковых газов в системе «озеро-пограничный слой атмосферы»
Степаненко В.М., Глазунов А.В., Гусева С.П., Лыкосов В.Н., Shurpali N., Biasi C., Martikainen P 57 Study of column-averaged CO ₂ concentrations in the subarctic using GOSAT retrievals and NIES transport model
simulations
Belikov D.A., Maksyutov S., Takagi H., Yoshida Y., Ganshin A., Zhuravlev R., Yokota T61
Investigation of jet streams and the tropopause folds in Western Siberia based on ECMWF ERA-Interim Antokhina O.Yu., Antokhin P.N., Belan B.D., Kochetkova O.S
Исследование струйных течений и «складок» тропопаузы в районе Западной Сибири по данным
ECMWF ERA-Interim <i>Антохина О.Ю., Антохин П.Н., Белан Б.Д., Кочеткова О. С.</i>
Numerical modeling of polar lows using WRF model
Verezemskaya P.S., Stepanenko V.M
Вереземская П.С., Степаненко В.М
М.С. Юдин
Atmospheric front dynamics over steep orography: finite element model Yudin M.S
Comparison of the temperature fields obtained from satellite probing and ERA-Interim data for geopotential height 10 hPa in wintertime over Siberia
Kochetkova O.S., Devyatova E.V., Tatarnikov A.V., Mordvinov V.I., Shcheglova E.S73
Сравнение полей температуры по данным спутникового зондирования и архива ERA-Interim
на уровне 10 гПа в зимний период над Сибирью Кочеткова О.С., Девятова Е.В., Татарников А.В., Мордвинов В.И., Щеглова Е.С
Mathematical modeling and spatial analysis of GHG emissions processes from Agriculture sector of Poland
Charkovska N.V. Bun R.A

в сельскохозяйственном секторе Польши	
Чарковская Н.В., Бунь Р.А.	77
Dynamic-statistical model of the troposphere for Western Siberia Chavro A.I., Dementev A.O., Stepanenko V.M	
Динамико-статистическая модель тропосферы для территории Западной Сибири	
Чавро А.И., Дементьев А.О., Степаненко В.М Seasonal growth and structure of the tree rings	81
Popkova M	83
Сезонный рост и структура годичных колец Попкова М.И.	84
VS-oscilloscope – new algorithm of parameterization of process-based tree-ring model Tychkov I.I.	
VS-осциллограф – новый алгоритм параметризации имитационной модели роста древесных растений Тычков И.И.	
Impact of climate change on the mass balance of glaciers in the Caucasus .	,
Mass-balance model of mountain glaciers Morozova P.A.	00
могоzоva Р.А. Оценка влияния климатических изменений на баланс массы ледников Кавказа.	90
Масс-балансовая модель горных ледников	
Mopo306a П.А	90
Relationship between studien stratospheric warning and disturbances propagating from the tropics Rudneva M.A., Mordvinov V.I., Kochetkova O.S.	91
Связь внезапных стратосферных потеплений с возмущениями, распространяющимися из тропиков Руднева М.А., Кочеткова О.С., Мордвинов В.И	
·	
СЕКЦИЯ 3 БИОСФЕРНО-КЛИМАТИЧЕСКИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ	
B CEBEPHOЙ EBPASIAN	
SESSION 3 NORTHERN EURASIA CLIMATE AND BIOSPHERE INTERRELATIONS	
Определение дыхания почвы и фотосинтетической ассимиляции ${ m CO_2}$ из данных автоматических камерных измерений	
из данных автоматических камерных измерении ———————————————————————————————————	94
Separating soil respiration and photosynthetic assimilation components in CO ₂	
flux automatic chamber measurements Dyukarev E.A.	05
Siberian larch in high elevation forests and on moraine in the Yuzhno-Chuisky Range)3
(the Central Altai Mountains)	
Bocharov A., Savchuk D., Dirks M.	96
	96
Восharov A., Savchuk D., Dirks M	97
Восharov A., Savchuk D., Dirks M. Лиственница сибирская в высокогорных лесах и на постгляциальных поверхностях Южно-Чуйского хребта (Центральный Алтай) Бочаров А.Ю., Савчук Д.А., Диркс М.Н. Seed cone production in Siberian stone pine in high elevation forests and forest-tundra ecotone in Severo-Chuis	97
Восharov A., Savchuk D., Dirks M	97 ky
Восharov A., Savchuk D., Dirks M. Лиственница сибирская в высокогорных лесах и на постгляциальных поверхностях Южно-Чуйского хребта (Центральный Алтай) Бочаров А.Ю., Савчук Д.А., Диркс М.Н. Seed cone production in Siberian stone pine in high elevation forests and forest-tundra ecotone in Severo-Chuis Range (the Central Altai Mountains) Filimonova E., Savchuk D. Динамика семеношения кедра сибирского в системе высокогорные леса—лесотундровый экотон	97 ky
Восharov A., Savchuk D., Dirks M. Лиственница сибирская в высокогорных лесах и на постгляциальных поверхностях Южно-Чуйского хребта (Центральный Алтай) Бочаров А.Ю., Савчук Д.А., Диркс М.Н. Seed cone production in Siberian stone pine in high elevation forests and forest-tundra ecotone in Severo-Chuis Range (the Central Altai Mountains) Filimonova E., Savchuk D. Динамика семеношения кедра сибирского в системе высокогорные леса—лесотундровый экотон Северо-Чуйского хребта (Центральный Алтай)	97 ky 99
Восharov A., Savchuk D., Dirks M. Лиственница сибирская в высокогорных лесах и на постгляциальных поверхностях Южно-Чуйского хребта (Центральный Алтай) Бочаров А.Ю., Савчук Д.А., Диркс М.Н. Seed cone production in Siberian stone pine in high elevation forests and forest-tundra ecotone in Severo-Chuis Range (the Central Altai Mountains) Filimonova E., Savchuk D. Динамика семеношения кедра сибирского в системе высокогорные леса—лесотундровый экотон Северо-Чуйского хребта (Центральный Алтай) Филимонова Е.О., Савчук Д.А.	97 ky 99
Восharov A., Savchuk D., Dirks M. Лиственница сибирская в высокогорных лесах и на постгляциальных поверхностях Южно-Чуйского хребта (Центральный Алтай) Бочаров А.Ю., Савчук Д.А., Диркс М.Н. Seed cone production in Siberian stone pine in high elevation forests and forest-tundra ecotone in Severo-Chuis Range (the Central Altai Mountains) Filimonova E., Savchuk D. Динамика семеношения кедра сибирского в системе высокогорные леса—лесотундровый экотон Северо-Чуйского хребта (Центральный Алтай) Филимонова Е.О., Савчук Д.А. Response of Baraba forest-steppe mires to global Coolings of Holocene Preis Yu.I.	97 ky 99
Восharov A., Savchuk D., Dirks M. Лиственница сибирская в высокогорных лесах и на постгляциальных поверхностях Южно-Чуйского хребта (Центральный Алтай) Бочаров А.Ю., Савчук Д.А., Диркс М.Н. Seed cone production in Siberian stone pine in high elevation forests and forest-tundra ecotone in Severo-Chuis Range (the Central Altai Mountains) Filimonova E., Savchuk D. Динамика семеношения кедра сибирского в системе высокогорные леса—лесотундровый экотон Северо-Чуйского хребта (Центральный Алтай) Филимонова Е.О., Савчук Д.А. Response of Baraba forest-steppe mires to global Coolings of Holocene Preis Yu.I. Отклик болот Барабинской лесостепи на глобальные похолодания голоцена	97 ky 99 100 103
Восharov A., Savchuk D., Dirks M. Лиственница сибирская в высокогорных лесах и на постгляциальных поверхностях Южно-Чуйского хребта (Центральный Алтай) Бочаров А.Ю., Савчук Д.А., Диркс М.Н. Seed cone production in Siberian stone pine in high elevation forests and forest-tundra ecotone in Severo-Chuis Range (the Central Altai Mountains) Filimonova E., Savchuk D. Динамика семеношения кедра сибирского в системе высокогорные леса—лесотундровый экотон Северо-Чуйского хребта (Центральный Алтай) Филимонова Е.О., Савчук Д.А. Response of Baraba forest-steppe mires to global Coolings of Holocene Preis Yu.I. Отклик болот Барабинской лесостепи на глобальные похолодания голоцена Прейс Ю.И. Окружающая среда и некоторые характеристики 300-летней лиственницы	97 ky 99 100 103
Восharov A., Savchuk D., Dirks M. Лиственница сибирская в высокогорных лесах и на постгляциальных поверхностях Южно-Чуйского хребта (Центральный Алтай) Бочаров А.Ю., Савчук Д.А., Диркс М.Н. Seed cone production in Siberian stone pine in high elevation forests and forest-tundra ecotone in Severo-Chuis Range (the Central Altai Mountains) Filimonova E., Savchuk D. Динамика семеношения кедра сибирского в системе высокогорные леса—лесотундровый экотон Северо-Чуйского хребта (Центральный Алтай) Филимонова Е.О., Савчук Д.А. Response of Baraba forest-steppe mires to global Coolings of Holocene Preis Yu.I. Отклик болот Барабинской лесостепи на глобальные похолодания голоцена Прейс Ю.И. Окружающая среда и некоторые характеристики 300-летней лиственницы Сапожникова В.С., Агеев Б.Г., Пономарев Ю.Н., Савчук Д.А.	97 ky 99 100 103
Восharov A., Savchuk D., Dirks M. Лиственница сибирская в высокогорных лесах и на постгляциальных поверхностях Южно-Чуйского хребта (Центральный Алтай) Бочаров А.Ю., Савчук Д.А., Диркс М.Н. Seed cone production in Siberian stone pine in high elevation forests and forest-tundra ecotone in Severo-Chuis Range (the Central Altai Mountains) Filimonova E., Savchuk D. Динамика семеношения кедра сибирского в системе высокогорные леса—лесотундровый экотон Северо-Чуйского хребта (Центральный Алтай) Филимонова Е.О., Савчук Д.А. Response of Baraba forest-steppe mires to global Coolings of Holocene Preis Yu. I. Отклик болот Барабинской лесостепи на глобальные похолодания голоцена Прейс Ю.И. Окружающая среда и некоторые характеристики 300-летней лиственницы Сапожникова В.С., Агеев Б.Г., Пономарев Ю.Н., Савчук Д.А. Environment and some features of 300-year-old larch	97 ky 99 100 103 104 106
Восharov A., Savchuk D., Dirks M	97 ky 99 100 103 104 106
Восharov A., Savchuk D., Dirks M	97 ky 99 100 103 104 106
Восharov A., Savchuk D., Dirks M	97 ky 99 100 103 104 106
Восharov A., Savchuk D., Dirks M	97 ky 99 100 103 104 106 106
Восharov A., Savchuk D., Dirks M Лиственница сибирская в высокогорных лесах и на постгляциальных поверхностях Южно-Чуйского хребта (Центральный Алтай) Бочаров А.Ю., Савчук Д.А., Диркс М.Н Seed cone production in Siberian stone pine in high elevation forests and forest-tundra ecotone in Severo-Chuis Range (the Central Altai Mountains) Filimonova E., Savchuk D Динамика семеношения кедра сибирского в системе высокогорные леса-лесотундровый экотон Северо-Чуйского хребта (Центральный Алтай) Филимонова Е.О., Савчук Д.А. Response of Вагара forest-steppe mires to global Coolings of Holocene Preis Yu.I Отклик болот Барабинской лесостепи на глобальные похолодания голоцена Прейс Ю.И Окружающая среда и некоторые характеристики 300-летней лиственницы Сапожникова В.С., Агеев Б.Г., Пономарев Ю.Н., Савчук Д.А. Environment and some features of 300-year-old larch Sapozhnikova V., Ageev B., Ponomarev Yu., Savchuk D Analysis of biologically active solar radiation impact on density of annual rings of conifers Smirnov S.V., Batranin A.V., Bondarenko S.L., Stuchebrov S.G. Анализ воздействия биологически активного солнечного излучения на плотность годичных колец хвойных деревьев Смирнов С.В., Батранин А.В., Бондаренко С.Л., Стучебров С.Г. Modeling radial growth of white birch growing on permafrost	97 ky 99 100 103 104 106 109
Восharov A., Savchuk D., Dirks M Лиственница сибирская в высокогорных лесах и на постгляциальных поверхностях Южно-Чуйского хребта (Центральный Алтай) Бочаров А.Ю., Савчук Д.А., Диркс М.Н Seed cone production in Siberian stone pine in high elevation forests and forest-tundra ecotone in Severo-Chuis Range (the Central Altai Mountains) Filimonova E., Savchuk D Динамика семеношения кедра сибирского в системе высокогорные леса—лесотундровый экотон Северо-Чуйского хребта (Центральный Алтай) Филимонова Е.О., Савчук Д.А. Response of Baraba forest-steppe mires to global Coolings of Holocene Preis Yu.I. Отклик болот Барабинской лесостепи на глобальные похолодания голоцена Прейс Ю.И. Окружающая среда и некоторые характеристики 300-летней лиственницы Сапожникова В.С., Агеев Б.Г., Пономарев Ю.Н., Савчук Д.А. Environment and some features of 300-уеат-old larch Sapozhnikova V., Ageev B., Ponomarev Yu., Savchuk D. Analysis of biologically active solar radiation impact on density of annual rings of conifers Smirnov S.V., Batranin A.V., Bondarenko S.L., Stuchebrov S.G. Ahaлиз воздействия биологически активного солнечного излучения на плотность годичных колец хвойных деревьев Смирнов С.В., Батранин А.В., Бондаренко С.Л., Стучебров С.Г.	97 ky 99 100 103 104 106 109

	lynamics of the ecological factors at the Maly Aktru glacier foreland (Severo-Chuisky range E.N	
Модель динамик	и экологических факторов на молодых моренах ледника Малый Актру	117
(Северо-Чуйский	хребет) : Е.Н.	115
	the structure of local population of Cyprepedium genera orchids at the State Natural Reserv	
«Tungusskiy» (Kr		115
	Yu.Gктуры ценопопуляций видов <i>Cypripedium</i> на территории заповедника «Тунгусский»	11/
(Красноярский к	рай)	
Райская	Ю.Г.	118
СЕКЦИЯ 4	ВЛИЯНИЕ ЗЕМНЫХ ЭКОСИСТЕМ СЕВЕРНОЙ ЕВРАЗИИ НА ГЛОБАЛЫ	НЫЕ
	БИОГЕОХИМИЧЕСКИЙ ЦИКЛ: ПРОШЛОЕ, НАСТОЯЩЕЕ, БУДУЩЕЕ	
SESSION 4	INFLUENCE OF NORTHERN EURASIA TERRESTRIAL ECOSYSTEMS	_
	ON GLOBAL BIOGEOCHEMICAL CYCLES: PAST, PRESENT AND FUTURE	
	of wildfire influence on atmospheric composition and carbon uptake of forest ecosystems	
	the establishing of a long-term post-fire monitoring system V., Chi X., Prokushkin A.S., Bryukhanov A.V., Korets M.A., Ponomarev E.I., Bryukhanova M.V.,	
Timokhin	a A.V., Krivobokov L.V., Sidenko N.V., Andreae M.O., Heimann M	
	нка пожарного воздействия на газо-аэрозольный состав атмосферы и лесные экосисто создание системы долгосрочного стационарного мониторинга	емы
	В., Чи С., Прокушкин А.С., Брюханов А.В., Корец М.А., Пономарев Е.И., Брюханова М.В.,	
Тимохин	а А.В., Кривобоков Л.В., Сиденко Н.В., Андреа М., Хайманн М.	122
	ire Recruitment Failure in the Boreal Forest Using Remotely Sensed Data arrett, Elena Kukavskaya, Eric Kasischke	126
Modeling the bioti	c turnover in ecosystems of permafrost regions of the Northern EuroAsia under climate cha	inge
	n N.N	129
при изменениях і		
	ин Н.Н.	130
	мерности динамики элементного состава гидросферы Д	132
Some General Lav	vs of Chemical Elements Composition Dynamics in the Hydrosphere	
Climate change in	pact on the methane emission from northern ecosystems in Western Siberia	
	nikov L.L., Kazantsev V.S	135
Голубят	ников Л.Л., Казанцев В.С.	136
Estimation of mire	es influence on runoff in the middle Ob river basin	125
Влияние заболоч	nevskaya Y.A., Sinyutkina A.Aенности водосборов на средний многолетний сток рек бассейна средней Оби	13/
Харанжо	евская Ю.А., Синюткина А.А.	138
	position of plant residues in the oligotrophic bogs L.G., Golovatskaya E.A	140
Скорость разлож	ения растительного материала в торфяной залежи олиготрофных болот	
Никонов	л Л.Г., Головацкая Е.А.	141
CELVIUAG E	ПЕРЕНОС АТМОСФЕРНЫХ ЗАГРЯЗНЕНИЙ И ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА	
•	AIR POLLUTION TRANSPORT AND CLIMATE CHANGE	
	problems based on the models of dynamics and chemistry of the atmosphere V., Tsvetova E	145
Прямые и обрати	ные задачи на основе моделей динамики и химии атмосферы	
	B.B., Цветова E.Ation transport in the Baikal region: numerical modeling scenarios	146
Pyanova	E.A., Faleychik L.M	
	ренос примесей в Байкальском регионе: численное моделирование некоторых сценар Э.А., Фалейчик Л.М.	
	Э.А., Фалеичик Л.Мic structure of snow cover in the zone of influence of the industrial enterprises of Tomsk	149
Lyapina I	E., Filiminenko E., Talovskaya A., Osipova H	
	онного состава снежного покрова в зоне воздействия промышленных предприятий г. То Б.Е., Филимоненко Е.А., Таловская А.В., Осипова Н.А.	

	in the peat cores of ridge-hollow complex in West Siberia	
	kova E., Lyapina E	156
	торфяных залежах грядово-мочажинного комплекса на юге Западной Сибири	1.57
	никова Е.Э., Ляпина Е.Е. чиса на аэрозольный состав нижней атмосферы по данным самолетного зондирования	
	.В., Белан Б.Д., Козлов А.В., Симоненков Д.В., Толмачев Г.Н	
	s of the Russian Federation: the main characteristics and problems of studying	137
	inov P.I., Kukanova A.E.	162
Городские остров	а тепла Российской Федерации: основные характеристики и проблемы изучения	
Констан	тинов П.И., Куканова Е.А.	162
СЕКЦИЯ 6	ИНСТРУМЕНТАЛЬНАЯ И ИНФОРМАЦИОННО-ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ИНФРАСТРУКТУРА РЕГИОНАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ	
SESSION 6	OBSERVATIONAL AND ICT INFRASTRUCTURE SUPPORT OF REGIONAL SCALE ENVIRONMENTAL STUDIES	
New methods in th	ne analysis of geophysical data V.A., Volkov Yu.V., Kuskov A.I., Tartakovsky V.A	165
	v.A., volkov tu.v., Kuskov A.I., tartakovsky v.A	103
	в В.А., Волков Ю.В., Кусков А.И., Тартаковский В.А	166
	pecies and age composition of forest stands from hyperspectral airborne remote sensing data	
Dmitriev	E.V., Kozoderov V.V., Sokolov A.A.	
Классификация і	породного и возрастного состава лесной растительности на основе данных	
	ого аэрозондирования	4.60
	28 E.B., Козодеров В.В., Соколов А.Аlications and geoportals as a basis of modern software technologies and tools for environment	
monitoring proble		ntai
	k O.E	173
	ие веб-приложения и геопорталы как основа современного программно-технологичес	
	ч экологического мониторинга ик О.Э	172
	ik O.9sification of Siberian pine stands decline and mortality based on high spatial resolution satellit	
Kharuk V	I., Pestunov I.A., Dubrovskaya O.A., Melnikov P.V., Rylov S.A.	
	лассификация усыхающих кедровых древостоев по спутниковым данным высокого	
пространственно		1.70
	И., Пестунов И.А., Дубровская О.А., Мельников П.В., Рылов С.А	178
	ых о сечениях поглощения атмосферных молекул а Ю., Лаврентьев Н., Привезенцев В., Фазлиев А., Фирсов К.М	180
	World Ocean climate thermohaline structure by the INM – IO RAS numerical model	100
	K.V., Ibrayev R.A.	183
	климатической термохалинной структуры вод Мирового океана	
	нной модели ИВМ – ИО РАН	
	К.В., Ибраев Р.А	184
	tmospheric trace gas species by gas-analyzer based on Xe lamp S.S., Geiko P.P	187
	нтраций атмосферных газов трассовым газоанализатором на основе Хе-лампы	107
	С.С., Гейко П.П.	188
	PEMF method to engineering, geocryological studies and soil dynamics monitoring ov S. Yu., Gordeev V.F., Malyshkov Yu.P., Polivach V.I.	191
	для инженерных, геокриологических исследований и мониторинга динамики грунтов	
Малышко	ов С.Ю., Гордеев В.Ф., Малышков Ю.П., Поливач В.И	
	f cloudiness imagery texture by MODIS data	
	ich X.V., Astafurov V.G., Skorokhodov A.V.	194
	модель текстуры изображений облачности по данным MODIS вич К.В., Астафуров В.Г., Скороходов А.В	104
	er-based instrumentation system as a tool for assessment of post-fire effects	174
	as in Central Siberia	
Bryukhan	ov A.V., Panov A.V., Kalyakin S.V., Guziy V.M., Sidenko N.V	
Применение мето	одов наземной высокоточной лазерной съемки для оценки послепожарных последстви	
	и горельниках в Центральной Сибири	107
	в А.В., Панов А.В., Калякин С.В., Сиденко Н.В., Гузий В. Мitoring of climatic parameters at the «ZOTTO» observatory in the middle taiga subzone	19/
of Central Siberia	ttoring of chinatic parameters at the NZO 1 10% observatory in the initiale talga subzone	
	N.V., Kolle O., Panov A.V., Heimann M	201

инструментальный мониторинг климатических параметров на оазе оосерватории «ZO11O»	
в подзоне средней тайги центральной Сибири	
Сиденко Н.В., Колле О., Панов А.В., Хайманн М.	201
Use of temperature recorders to explore of soils hydrothermal regime across the Tunkinskaya hollow	
Voropay N.N., Cherkashina A.A., Kurakov S.A.	204
Применение терморегистраторов для исследования гидротермических режимов почв на территории	
Тункинской котловины	
Воропай Н.Н., Черкашина А.А., Кураков С.А	205
Development of integrated geographic information web services for environmental research	
Kadochnikov A.A	208
Создание интегрированных геоинформационных веб-сервисов для исследования окружающей среды	
Кадочников А.А.	209
Database of environmental information	
Sklyadneva T.K., Kozlov A.V., Davydov D.K., Fofonov A.V, Rasskazchikova T.M.	212
Базы данных экологической информации	
Скляднева Т.К., Козлов А.В., Давыдов Д.К., Фофонов А.В., Рассказчикова Т.М.	212
Total cloudiness estimation using unshaded pyranometer	212
Zolotov S.Yu., Zuev S.V.	214
Оценка общего балла облачности по данным незатененного пиранометра	217
Золотов С.Ю., Зуев С.В.	215
Using unshaded pyranometer for measuring solar radiation components in the automatic mode	213
Zuev S.V., Krasnenko N.P., Kartashova E.S., Barmin V.V.	216
	210
Использование незатененного пиранометра для измерения характеристик солнечного излучения	
в автоматическом режиме	217
Зуев С.В., Красненко Н.П., Карташова Е.С., Бармин В.В.	21/
The diurnal variation of carbon dioxide, methane, water vapor and air temperature	
in the mezooligotrophic peatland	210
Lapina L.E., Mikhaylov O.A	
Суточная динамика углекислого газа, метана, водяного пара и температуры воздуха на мезоолиготрофном бол	
Лапина Л.Э., Михайлов О.А	220
Identification of factors in the formation of spatial differentiation of wetlands using geoinformation analysis	
Sinyutkina A.A.	222
Выявление факторов формирования пространственной дифференциации заболоченных территорий	
с использованием геоинформационного анализа	
Синюткина А.А.	222
GIS-based assessment of probability of forest fire caused by focused sunlight	
Yankovich E.P., Baranovskiy N.V	223
Оценка вероятности возникновения лесного пожара, обусловленного действием сфокусированного	
солнечного света, на основе ГИС	
Янкович Е.П., Барановский Н.В	225

СЕКЦИЯ 1

Климатические изменения в Северной Евразии и их последствия

Председатели П.Я. Гройсман и Е.П. Гордов.

SESSION 1

Ongoing Climate Changes over Northern Eurasia and their consequences

Chairs Pavel Groisman and Evgeny Gordov.

Dynamical aspects of extremes in climate and ecosystems: Assessing trends, spatial coherence and mutual interdependence

¹Reik V. Donner, ²Janna Wagner, ³Viola Mettin, ⁴Eva Hauber, ¹Marc Wiedermann, ¹Jonathan F. Donges, ¹Niklas Boers, ¹Jürgen Kurths

- ¹ Potsdam Institute for Climate Impact Research, Potsdam, Germany
- ² Christian Albrechts University of Kiel, Germany
- ³ University of Augsburg, Germany
- ⁴ University of Copenhagen, Denmark E-mail: reik.donner@pik-potsdam.de

In traditional environmental research, extreme values have been typically studied in terms of stationary return intervals of climatic or hydrological variables. However, in the last years it has been widely recognized that extremes in climate and ecosystems exhibit distinct temporal and spatial dynamics, the investigation of which may reveal fundamental insights into the functioning of, and interactions between important components of the Earth's climate system.

In a world facing ongoing climate change, changes in the magnitude and frequency of extreme events are to be expected if we understand an extreme as an entity referring to a variable exceeding of a certain fixed threshold value. In turn, it is worth investigating the complementary question: how do the amplitudes of extremes with a given return period change with time? Modern statistics provides at least two complementary approaches to study this question. While utilizing the methodological framework of extreme value statistics with generally time-dependent parameters is rather restrictive and data-demanding, we using propose quantile regression as a new alternative tool allowing tracing of temporal changes of arbitrary quantiles of the distribution of the variable under study. As illustrative applications, we demonstrate the application of quantile regression for evaluating the upper and lower quantiles as representatives of extreme events in daily surface air temperatures and sea-level variations.

In relation with the previous aspect, for studying spatial patterns and interdependencies between extreme events at different locations, a data-adaptive definition of an extreme is often required. For example, when studying temperature variability or quanti-

ties characterizing the response of ecosystems to climatic forcing, the annual cycle is a dominant feature, resulting in extremes defined in the classical way being confined to a single season. We introduce two new strategies to considering extremes in front of a time-dependent background variability: non-parametric quantile regression methods and a variance-adjusted version of empirical mode decomposition, which allows removing seasonal cycles in mean and variance simultaneously. We demonstrate the application of these new techniques to different eco-climatological data sets and show that both methods allow for a more objective definition of extremes in such situations.

Finally, we discuss the application of two modern concepts for studying interdependencies between extremes at different locations or of different variables. One approach is event synchronization originally introduced to studying simultaneity of events in neuro-physiology. Recently, this method has been increasingly used to quantify the degree of pair-wise simultaneity among sets of spatially distributed climate records in conjecture with complex network theory, revealing previously unrecognized aspects related to the emergence and spatial coherence of extreme events. As an example, we will discuss recent results on extremes in the precipitation-evapotranspiration balance of South America. The second approach makes use of rigorous statistical analysis of the co-occurrence of events in point processes and provides well-defined significance bands on the number of co-occurrences to be expected given uncorrelated event series. As a prospective application of the latter framework, we discuss some tentative results on the interrelationship between climatic extremes and extreme ecosystem responses.

Parts of the presented work have been financially supported by the German Federal Ministry for Science and Education within the framework of the CoSy-CC2 project.

Troposphere - stratosphere interaction in observations and climate modeling data at different time scales

¹Volodin E.M., ²Vargin P.N.

¹ Institute of Numerical Mathematics RAS, Moscow, Russia

² Central Aerological Observatory of Roshydromet, Moscow region, Dolgoprudny, Russia E-mail: volodin@inm.ras.ru, p_vargin@mail.ru

roblems of stratosphere and troposphere dynamics interaction at different time scales is considered on the basis of observations and model data. One of the most important phenomenon of stratospheric dynamics is quasi-biannual oscillation of zonal wind in equatorial stratosphere (QBO). Problems of representation of QBO in present day atmospheric models are considered in present study. Another important phenomenon in the stratosphere is sudden stratospheric warming (SSW) that takes place in winter at polar latitudes. Mechanism of SSW is interaction of upward propagation of planetary waves and zonal mean flow. Usually during SSW the amplitude of wave number 1 (shift of polar vortex) or wave number 2 (splitting of polar vortex) is above normal. Downward propagation of SSW and associated anomalies of zonal wind can be seen in both reanalysis and climate model data. Data of CMIP5 models show that models with low top usually underestimate the number of SSWs, and the time of influence SSW to tropospheric dynamics, while in models with high top the influence of SSW to tropospheric dynamics occurs up to 90 days. Analysis of SSWs in climate model INMCM5 is also considered in this study. Before SSW wave energy flux from troposphere to stratosphere is high, and several reasons can cause this. Many papers show that after high autumn snow area in Eurasia strength of polar vortex is below normal in December-January, and index of Arctic oscillation (AO index) is below normal in January-March. High temperature in the northern Pacific, to the east of Japan, can cause low wave flux to the stratosphere, strong polar vortex and positive AO index. High temperature in the north Atlantic, as well as high Eurasian snow cover, can cause weak polar vortex and negative AO index. This can be important for the mechanism of natural climate variability at decadal and multidecadal time scales. Experiments with climate model INMCM5 show that there is memory in the atmosphere itself, and if we start at the beginning of November from initial state with high planetary wave flux in the troposphere, then we have weak polar vortex in the stratosphere in December and negative AO index in January.

Взаимодействие тропосферы и стратосферы на различных временных масштабах по данным наблюдений и климатических моделей

¹Володин Е.М., ²Варгин П.Н.

- 1 Институт вычислительной математики РАН, Москва, Россия
- ² Центральная аэрологическая обсерватория Росгидромета, Долгопрудный, Россия

E-mail: volodin@inm.ras.ru, p_vargin@mail.ru

Ваимодействию динамики стратосферы и тропосферы уделяется в настоящее время все больше внимания, поскольку становится понятно, что существует несколько таких механизмов взаимодействия, проявляющихся на различных временных масштабах от нескольких суток до десятилетий. Такие механизмы могут играть ключевую роль в увеличении предела предсказуемости изменений погоды и климата. Этим проблемам посвящена, в частности, деятельность одного из ключевых проектов Всемирной Метеорологической Организации SPARC (Stratosphere-troposphere Processes And their Role in Climate). Рассмотрим наиболее существенные механизмы взаимодействия тропосферы и стратосферы.

Квазидвухлетнее колебание скорости зонального ветра в экваториальной стратосфере – это почти периодическое изменение скорости зонального ветра на высотах от 20 до 30 км. Усредненный период составляет около 28 месяцев, однако, в каждый отдельно взятый период колебаний составляет либо 24, либо 30 месяцев, то есть кратен полугоду. Механизм возникновения и поддержания квазидвухлетнего колебания в экваториальной стратосфере изучен достаточно хорошо и состоит из взаимодействия распространяющихся вверх экваториальных волн различных видов со средним потоком (Holton and Lindzen, 1972), (Кулямин и др., 2009). Если в нижней стратосфере имеется максимум скорости зонального ветра, то непосредственно ниже максимума происходит обрушение волн, переносящих западную скорость, а непосредственно выше максимума — обрушение волн, переносящих восточную скорость. Тем самым, ниже максимума создается положительное ускорение, а выше — отрицательное, что приводит к постепенному опусканию максимума с характерной скоростью 10 км в год. Этот процесс может быть проиллюстрирован данными, полученными в модели общей циркуляции атмосферы, где основная часть эффекта взаимодействия волн со средним потоком параметризована (Hines, 1997). Для воспроизведения явления в моделях динамики атмосферы, как правило, требуется вертикальное разрешение в нижней стратосфере не хуже 500м.

Взаимодействием распространяющихся снизу планетарных волн и среднего потока обусловлено другое важное явление стратосферной динамики, которое происходит в умеренных и высоких широтах зимой – внезапное стратосферное потепление. Если обычное состояние стратосферы зимой характеризуется уменьшением температуры от экватора к полюсу и западным ветром, в соответствии с соотношением термического ветра, то во время внезапного стратосферного потепления происходит значительное нагревание арктической стратосферы и небольшое похолодание в субтропических и тропических широтах. Непосредственная причина стратосферного потепления – увеличение вертикального потока волновой энергии, который, согласно соотношению Элиассена-Пальма, пропорционален потоку тепла к полюсу, переносимому волнами. Первоначально потепление происходит в верхней стратосфере или даже в нижней мезосфере, на высоте 40-50 км, а затем в течение 10-30 дней постепенно распространяется до нижней стратосферы. В стратосферу преимущественно распространяются лишь самые длинные волны с волновыми числами 1, 2 и 3, а остальные имеют гораздо меньшую амплитуду. Согласно данным наблюдений, в течение 10 лет происходит около 6 стратосферных потеплений, причем 60-70% из них обусловлены увеличением амплитуды волны номер 1, что приводит к сдвигу полярного стратосферного вихря. Оставшиеся 30-40% связаны с увеличением волны номер 2, то есть с расщеплением полярного стратосферного вихря. Следующим важным моментом является распространение аномалий температуры и скорости ветра, связанных с внезапным стратосферным потеплением вниз, которое почти всегда прослеживается до высот нижней стратосферы, но нередко достигает и поверхности Земли, приводя к отрицательному индексу Арктического колебания в течение следующих 60-90 дней после стратосферного потепления (Baldwin and Dunkerton, 1999). Этот факт, безусловно, очень полезен для сезонного прогноза погоды. Поэтому модели общей циркуляции атмосферы, используемые для прогноза погоды или моделирования изменений климата, должны правильно воспроизводить как статистику стратосферных потеплений, так и их влияние на динамику нижних слоев атмосферы. По данным климатических моделей, участвовавших в СМІР5, модели, в которых верхняя граница расположена недостаточно высоко, на 5 гПа или ниже, как правило (но не всегда) занижают количество стратосферных потеплений. В моделях, где верхняя граница расположена достаточно высоко, количество стратосферных потеплений в среднем близко к наблюдаемому. Влияние стратосферных потеплений на стратосферу в моделях с недостаточно высокой верхней границей в среднем ограничивается первыми 30 днями, в

то время как в моделях, хорошо разрешающих всю стратосферу, влияние прослеживается до 60-90 дней после потепления, как и по данным наблюдений.

Статистика стратосферных потеплений и их влияние на тропосферу рассматривается в климатической модели INMCM5, в которой верхняя граница находится на высоте около 60 км, а вертикальный шаг сетки в стратосфере составляет около 0,5 км. В модели амплитуда волны номер 1 в стратосфере занижена примерно в 1.5 раза, а амплитуда волны номер 2 примерно равна наблюдаемой. Поток волновой энергии вверх также несколько занижен, как и количество стратосферных потеплений. По данным наблюдений, в годы с 1979 по 2008 имело место 18 стратосферных потеплений, в то время как в модели их было всего 10. По данным наблюдений больше половины стратосферных потеплений представляли собой сдвиг полярного стратосферного вихря, то есть увеличение амплитуды волны номер 1, а оставшаяся часть представляла собой расщепление вихря, т.е. увеличение амплитуды волны номер 2. В модели тоже большая часть стратосферных потеплений обусловлена сдвигом полярного вихря и увеличением амплитуды волны номер 1. Как и в данных наблюдений, в модели после внезапного стратосферного потепления происходит уменьшение скорости западного ветра в нижней стратосфере, а затем и в тропосфере, причем влияние на тропосферу, хотя и небольшое, видно в течение 60-90 дней после начала стратосферного потепления. Распространение сигнала от внезапного стратосферного потепления вниз, как и в случае квазидвухлетнего колебания скорости ветра в экваториальной стратосфере, обусловлено взаимодействием распространяющихся вверх волн со средним потоком. При наличии потепления западный ветер сменяется восточным, что делает невозможным распространение вверх планетарных волн выше уровня потепления, а это приводит к уменьшению потока тепла к полюсу, охлаждению высоких широт и небольшому нагреванию более низких. Ниже уровня потепления происходит, наоборот, более интенсивное распространение волн вверх, способствующее большему переносу тепла к полюсу и нагреванию более нижних слоев, т.е. к смещению максимума нагревания вниз. Этот механизм может быть проиллюстрирован как данными реанализа, так и данными моделирования.

В свою очередь, стратосферному потеплению предшествует распространение квазистационарных волн из тропосферы в стратосферу, причем факт увеличения потока волновой энергии вверх может быть обусловлен несколькими причинами. Это может быть результат как внутренней изменчивости в атмосфере, так и следствие какого-либо воздействия, внешнего по отношению к атмосфере. Таким воздействием может быть, например, увеличение площади снежного покрова в Евразии осенью, после которого, согласно многим исследованиям, см., например, Allen and Zender (2011), чаще, чем обычно происходят стратосферные потепления в начале зимы и последующее уменьшение индекса арктического колебания в январе-марте. Надо отметить, однако, что механизм влияния снежного покрова на динамику атмосферы в данном случае еще не вполне ясен, потому что только вклада увеличения альбедо в условиях низкого положения Солнца над горизонтом и небольшого светового дня для этого, казалось бы, недостаточно. Другое внешнее по отношению к атмосфере воздействие, изменяющее амплитуду стационарных волн и поток волновой энергии вверх – аномалии температуры поверхности океана. В Hurwitz et al (2012) показано, что положительные аномалии температуры поверхности океана к востоку от Японии приводят, наоборот, к ослаблению потока энергии планетарных волн вверх, уменьшению вероятности внезапных стратосферных потеплений и последующему положительному индексу арктического колебания. Температура в северной Атлантике также, по всей видимости, влияет на амплитуду планетарных волн и их вертикальное распространение. В Shimanke et al (2011) показано, что положительные аномалии ТПО в северной Атлантики приводят к более интенсивному распространению планетарных волн вверх, более теплой полярной стратосфере и последующему отрицательному индексу арктического колебания, что, в свою очередь, приводит к ослаблению ветра над северной Атлантикой, уменьшению потока явного и скрытого тепла, и поддержанию положительной аномалии ТПО. Предложенный механизм, согласно модельным данным, может быть существенным как составная часть механизма поддержания естественных колебаний климата в Арктике и северной Атлантике на временных масштабах порядка нескольких десятилетий, и поэтому должен правильно воспроизводиться в климатических моделях.

В настоящей работе показано, что атмосферная динамика может запоминать непосредственно аномалии, связанные с амплитудой квазистационарных волн, имеющие место осенью, в течение следующей зимы. Для этого из 30 состояний модельной атмосферы, соответствующих 1 ноября разных лет, полученных в численном эксперименте с моделью INMCM5, были выбраны 3 состояния с максимальным вертикальным потоком волновой энергии в умеренных широтах северного полушария в тропосфере. С каждого из этих начальных состояний был сосчитан ансамбль из 10 численных экспериментов продолжительностью 4 месяца, т.е. воспроизводящий состояние атмосферы в ноябре-феврале. Различные члены ансамбля были получены небольшим возмущением начальных данных. При старте с таких начальных данных в среднем по 30 проведенным численным экспериментам мы имеем в декабре уменьшение скорости зонального ветра в стратосфере на 1-5 гПа до 15 м/с, а в январе – отрицательный индекс арктического колебания, что непосредственно подтверждает высказанные выше предположения о влиянии тропосферы на стратосферу и обратно.

Литература:

- 1. Кулямин Д.В., Володин Е.М., Дымников В.П. Моделирование квазидвухлетних колебаний скорости зонального ветра в экваториальной стратосфере. Часть ІІ. Модели общей циркуляции атмосферы. Известия Российской академии наук. Физика атмосферы и океана. 2009. Т. 45. № 1. С. 43-61.
- 2. Allen R.J., Zender C.S. Forcing of the arctic oscillation by Eurasian snow cover. J. Climate 2011, V24, N24, 6528-6539.
- 3. Baldwin, M.P., Dunkerton T.J. Downward propagation of the Arctic Oscillation from the stratosphere to the troposphere, J. Geophys. Res. 1999, V104, P.30937-30946.
- 4. Charlton-Perez A., M.Baldwin, T. Birner, et al., On the lack of stratospheric dynamical variability in lowtop versions of the CMIP5 models J. Geophys. Res. 2013, V118, 2494-2505, doi:10.1002/jgrd.50125.
- 5. Schimanke S., Körper J., Spangehl T., Cubasch U. Multidecadal variability of sudden stratospheric warmings in an AOGCM. Geophys. Res. Lett. 2011, V38, L01801, doi:10.1029/2010GL045756
- 6. Hines, C.O. "Doppler-Spread Parameterization of Gravity Wave Momentum Deposition in the Middle Atmosphere. Part 2. Broad and Quasi-Monochromatic Spectra, and Implementation," J. Atmos. Terr. Phys. 1997. 59, 387–400.
- 7. Holton J.R. and R. S. Lindzen, "An Updated Theory for the Quasi-Biennial Cycle of the Tropical Stratosphere," J. Atmos. Sci. 1972, 29, 1076–1080.
- 8. Hurwitz M.M., Newman P.A., Garfinkel C.I. On the influence of North Pacific sea surface temperature on the Arctic winter climate. J. Geophys. Res. 2012, V117, D19110, doi:10.1029/2012JD017819.

Contemporary climatic changes in Northern Eurasia and their interactions with in-situ measurement deficiencies affect both, climatology of precipitation and its trends

¹Pavel Ya. Groisman, ²Esfir G. Bogdanova, ³Vladimir A. Alexeev, ⁴Olga N. Bulygina

- ¹ University Corporation for Atmospheric Research at NOAA National Climatic Data Center, Asheville, North Carolina, USA
- ² Voeikov Main Geophysical Observatory, St. Petersburg, Russia
- ³ International Arctic Research Center, University of Alaska-Fairbanks, Fairbanks, Alaska, USA
- ⁴ All-Russia Institute for Hydrometeorological Information, Obninsk, Russia

E-mail: pasha.groisman@noaa.gov

Introduction. Instead of "ground truth" precipitation, rain gauges at meteorological stations estimate a function of several variables. In addition to precipitation, these variables include temperature, wind, humidity, gauge type, state of the gauge exposure, and observational practices. Their impact and changes hamper our efforts to estimate precipitation changes alone. For example, wind-induced negative biases for snowfall measurements are higher than for other precipitation types and a redistribution of these types during regional warming can cause an artificial increase in measured precipitation. In such conditions, the only way to properly estimate actual climatic changes of precipitation as well as to provide hydrological models with correct input would be a use of precipitation time series that are corrected for all known systematic biases. Methodology of such corrections has been developed and recently implemented for Northern Eurasia for the past 50+ years (up to 2010).

We present information on the latest climatic changes in the Northern Hemisphere with focus on Northern Eurasia (temperature, snow cover, surface and wind speeds) and link them with indirect impacts on measured precipitation. With the focus on Russia, we assess differences that emerge when officially reported precipitation across the seasonal cycle is compared to corrected precipitation time series at the same network.

It is shown that for the cold season, conclusions about trend patterns over Russia are quite different when all sources of inhomogeneity of precipitation time series are removed, and impact of all factors unrelated to the precipitation process are accounted for. In particular, we do not see statistically significant increases of the cold season precipitation over most of the Russian Federation and in the Asian Arctic it significantly decreases. In the summer season (June-July-August), the Far Eastern Russian Arctic is the only region with a statistically significant regional precipitation decreasing trend. Except for this region, we do not observe significant large-scale systematic changes in summer precipitation totals over the entire Russian Federation since mid-1950s.

However, the use of measured in situ data to characterize precipitation changes over Northern Eurasia during the past 60 years shows mostly increases, especially in the cold season, that have been artificial, being induced by changes in observational practice and in two other meteorological variables: near-surface air temperature and wind.

Reference:

1. Groisman, P.Ya., E.G. Bogdanova, V.A. Alexeev, J.E. Cherry, and O.N. Bulygina, 2014: Impact of snowfall measurement deficiencies on quantification of precipitation and its trends over Northern Eurasia. Ice and Snow, No. 2 (126) (in press).

Impact of climate changes on ecosystem dynamics in West Siberia northern taiga

¹Blyakharchuk T.A., ²Moskalenko N.G., ²Ponomareva O.E., ²Ustinova E.V., ²Berdnikov N.M., ²Gravis A.G.

E-mail: tarun5@rambler.ru

ince the 60s of the twentieth century in the north of Western Siberia there is an increase in mean air temperature at 0,04 ° C per year and increase the duration of the warm period at 11-15%. Since 1995 recorded an increase in the amount of summer precipitation is 20%. Northern taiga ecosystem monitoring from 1971 to 2013 showed that climate change had a major impact on all components of ecosystems. The change of vegetation and increase of active layer thickness of soils at 30-45% have been revealed. The temperature of the permafrost raised at 0,03°C per year. By 2013, the permafrost temperature reached values -0.4 ... -0.1°C a profound change in the dynamics of exogenous processes was marked.

It was found that lifting of peatlands surface stopped due frost heave.

There has been some revival of thermokarst. Waterlogging is actively developing on the II Nadym terrace, where forests give way marshes.

It was revealed that in the last 5 years on the tundra and marsh areas there is newly permafrost formation due to dynamic of vegetation. Above the permafrost lenses formed small hillocks of heave. Their area is slowly increasing.

Pollen analysis of frozen peat mire in flood plain of Kheygikha-Yakha revealed that during peat accumulation started about 7000 yr. BP in the surrounding landscapes took place alteration of periods with predominance either birch or spruce. By our opinion the role of spruce increased in landscapes during periods with more humid and mild climatic conditions. Degree of peat humification counted by ACROTELM method for interval 2000 yr decreased during humid intervals with increased role of spruce in landscape.

Various ecosystems changed in varying degree.

While catastrophic destruction of any ecosystem has not happened.

Some ecosystems are near features, after crossing which will begin its destruction, while maintaining the same pace of global warming.

Ecosystem change happened many times in the past due to palaeopollen data.

¹ Institute of Monitoring of Climatic and Ecological Systems SB RAS, Tomsk, Russia

² Earth Cryosphere Institute SB RAS, Tyumen, Russia

Влияние климатических изменений на динамику экосистем северной тайги Западной Сибири

 1 Бляхарчук Т.А., 2 Москаленко Н.Г., 2 Пономарева О.Е., 2 Устинова Е.В., 2 Бердников Н.М., 2 Гравис А.Г.

E-mail: tarun5@rambler.ru

Таучение динамики экосистем проводится в северной тайге Западной Сибири с 1970 года, когда начались мониторинговые наблюдения на постоянных профилях и площадках, выбранных в разных типах экосистем. Эти наблюдения позволили оценить динамику экосистем под влиянием изменения климата. Изменение климата оценивалось по данным метеостанции Надым, расположенной в 30 км к северу от стационара. Метеорологические наблюдения начались на этой станции в начале 60-гг 20 века. Таким образом, длина рядов метеоданных позволяет сопоставить динамику экосистем с изменениями климата.

С 60-ых годов XX века на севере Западной Сибири отмечается повышение среднегодовойтемпературы воздуха, тренд которой за 1965-2015 годы по данным Надымской метеостанции составляет 0,04°С в год. Потепление климата в равной степени проявилось в повышении как зимних, так и летних температур.

Весной переход температуры воздуха через 0° С, начало снеготаяния и начало протаивания почв и грунтов с 1995 г. происходит на 15-20 дней раньше, чем в начале 60-ых годов. Среднемноголетние майские температуры воздуха с 1962 г. по 1994 г. были отрицательными (0.93° С) а за период с 1995 г. по 2012 г. стали положительными ($+1.8^{\circ}$ С).

Время перехода температуры воздуха через 0° С осенью сместилось незначительно. Отрицательные температуры воздуха устанавливаются по-прежнему в октябре. Однако, за последние 18 лет (с 1995 г. по 2012 г.) 6 раз октябрьские температуры были положительными или близкими к 0° С.

Годовая сумма выпадающих атмосферных осадков с 1995 г. увеличилась на 50 мм, преимущественно за счет увеличения вклада летних дождей. Количество осадков, выпадающих в виде снега, практически не меняется.

Повышение температур воздуха и увеличение длительности периода с положительными температурами воздуха и количества летних атмосферных осадков повлекло за собой изменение растительности и повлияло на мощность сезонноталого слоя многолетнемерзлых пород (ММП).

С повышением температуры воздуха связано появление на ранее безлесных крупнобугристых и плоскобугристых болотах отдельных экземпляров деревьев, увеличение встречаемости и высоты кустарников (Betula nana, Ledum palustre) и покрытия ими почвы. Увеличению высоты и покрытия почвы кустарниками способствовало также наблюдаемое в последнее десятилетие повышенное количество атмосферных осадков. Эти изменения растительного покрова привели к увеличению мощности снежного покрова на участках с кустарниками, повышению температуры почв и пород и увеличению мощности сезонноталого слоя.

Количество выпадающих в Надымском районе атмосферных осадков сильно меняется от года к году от 488 мм в 1976 г. до 121 мм в 1983 г. С начала 60-х годов до 1987 г. их общее количество уменьшалось, а после 1987 стало возрастать, преимущественно, за счет осадков, выпадающих в теплое время года. Летнее количество осадков возросло на 75 мм.

С повышением количества атмосферных осадков связаны большие изменения в экосистемах на мелкобугристых слабо дренированных участках с сосново-лиственничными багульниково-пушицево-осоково-лишайниково-моховыми рединами. Наблюдаемая на этих участках активизация заболачивания сопровождается сменой редин пушицево-осоково-моховыми болотами. Бугорки с багульниково-травяно-лишайниково-моховым покровом проседают и приуроченные к ним линзы мерзлых пород протаивают.

На понижениях рельефа и полосах стока с кустарничково-осоково-моховыми болотами в результате динамики растительного покрова, приводящей к образованию моховых бугорков и увеличению мощности торфа, после холодных зим отмечается новобразование мерзлых пород. Однако в теплые годы некоторые образовавшиеся бугорки проседают, и линзы мерзлых пород под ними протаивают

В комплекс исследований динамики экосистем входил мониторинг мощности сезонноталого слоя. Наблюдения велись на постоянных площадках и профилях. В XXI веке наблюдательная сеть насчитывает приблизительно 1000 точек. В 1971-1983 гг. мощность сезонноталого слоя определялась ежедекадно с помощью щупа с июня по сентябрь. С 1984 г. ежегодно измеряется в первой декаде сентября максимальная мощность сезонноталого слоя.

¹ Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, Томск, Россия

² Институт криосферы Земли СО РАН, Тюмень, Россия

Сопоставление полученных данных по сезонной динамике мощности сезонноталого слоя (СТС) в разных экосистемах позволило выделить участки, в которых оттаивание начинается наиболее рано и быстрее достигает максимальной величины. К таким экосистемам относятся крупнобугристые болота с минимальной мощностью снега на буграх, составлявшей 0,3-0,35м. На крупных торфяных буграх к концу августа мощность СТС составляла 97% от максимальной мощности. На плоскобугристых болотах и торфяно-минеральных буграх пучения в конце августа протаивало 91%, на минеральных буграх пучения с кедровыми редколесьями 86%, а на плоских кустарничково-сфагновых болотах с мощностью снега 0,6 м всего 76%.

Межгодовые вариации мощности сезонноталого слоя, как и сезонная динамика оттаивания, в разных природных экосистемах также значительно различаются. Наименьшее варьирование по годам максимальной мощности сезонноталого слоя (от 48 до 64см) отмечалось на плоскобугристом болоте, где оно составляло 14% от средней мощности СТС. Немного больше оно на торфяно-минеральном бугре пучения (17%) и крупнобугристом болоте (18%). Заметно больше (30%) вариация отклонений максимальной мощности сезонноталого слоя по годам (от 100 до 180см) на плоском болоте. Наибольшие вариации максимальной мощности сезонноталого слоя (от 100 до 200см) отмечаются на минеральном бугре пучения, сложенном с поверхности песком (34%). На плоских болотах, имеющих небольшую мощность торфа, и на песчаных буграх пучения на мощность СТС большее влияние оказывают метеорологические условия года. В то время как на крупнобугристых и плоскобугристых болотах слой торфа и мощный напочвенный покров играют стабилизирующую роль и сглаживают влияние погодных условий на мощность сезонноталого слоя.

Сравнение мощности СТС за весь исследованный период показало увеличение этого параметра и амплитуды его вариаций за последние 10-15 лет в связи с увеличением суммы летних температур воздуха и количества атмосферных осадков. Это особенно ярко выражено на графиках мощности СТС на торфяных буграх и минеральных буграх пучения.

Изучение пространственной и временной изменчивости мощности сезонноталого слоя в рамках проекта САLМ (Циркумполярный мониторинг сезонноталого слоя) на Надымском стационарном участке проводится с 1997 года на постоянной площадке 100х100м у 121 марки, установленных по сетке через каждые 10м. Средняя мощность сезонноталого слоя изменяется от 101 до 143 см. За период 1997-2013 годы максимальная мощность сезонноталого слоя зафиксирована в 2002 году, отличавшимся умеренно теплым летом, но большим количеством летних осадков, когда средняя мощность сезонноталого слоя составила 143см. Минимальная мощность СТС (101см) зарегистрирована в 2009 году.

Наименьшая мощность СТС наблюдается на плоской поверхности торфяника (90см). Участки с большей мощностью СТС приурочены к понижениям, занятым кустарничково-травяно-сфагновым болотом (143см), и к мелкобугристым тундрам с торфяными бугорками, пятнами-медальонами и мочажинами (147см).

Изменение климата, обусловленное им изменение растительности и мощности СТС, привели к повышению температуры ММП. Тренд изменения составил 0.03°C в год. Наибольшее (на 1.4°C) повышение температуры ММП произошли на крупнобугристых торфяниках. Меньшие изменения температуры на 0.8°C отмечены на плоскобугристых торфяниках. На торфяно-минеральных буграх пучения температура поднялась на 0.4°C и достигла значений -0.2..-0.1°C.

В районе исследований наиболее распространенными экзогенными процессами являются сезонное и многолетнее пучение, и заболачивание. В 70-е годы XX века, считалось, что термокарст также имеет широкое развитие. В процессе мониторинга было установлено, что сезонным и многолетним пучением охвачены все экосистемы. Подъем поверхности этих экосистем происходил в наиболее холодные зимы. В экстремально теплые летние периоды на таких участках фиксировалась тепловая осадка. Причем осадка лишь на отдельных участках компенсировала произошедший ранее подъем, поэтому к началу XXI века подъем поверхности плоскобугристых торфяников и бугров пучения составил 20-60 см над высотой, занимаемой в первые годы мониторинга. Потепление климата привело к значительному снижению интенсивности пучения, развитию тепловой осадки и к некоторому оживлению термокарста. Последний значительный подъем поверхности, обусловленный многолетним пучением, был зафиксирован после экстремально холодной и малоснежной зимы 1999г., и незначительный подъем поверхности на отдельных участках плоскобугристых торфяников и бугров пучения был обнаружен после относительно холодной зимы 2005 г. В целом, положение поверхности бугров пучения и плоскобугристых торфяников в XXI веке стабилизировалось. Некоторые участки этих экосистем подвергаются тепловой осадке.

На тундровых и болотных участках сезонное пучение приводило к образованию мелких бугорков на участках новообразования мерзлоты. В случае сохранения перелетков продолжали существовать и бугорки. С 2007 г. новообразование мерзлоты, обусловленное динамикой растительности, отмечено повсеместно в краевых частях болот.

Термокарст в современных климатических условиях развит слабо, что связано с широким распространением относительно слабольдистых эпигенетических мерзлых пород. В прошлом, термокарст был развит значительно шире, о чем свидетельствуют многочисленные озера, по большей части, термо-

карстовые и отдельные, ныне дренированные, не имеющие следов активного современного протекания процесса, термокарстовые понижения. Активизация термокарста возможна в дренированных термокарстовых понижениях, расположенных на буграх пучения, как при изменении климата, так и при изменении условий теплообмена с поверхностью (например, при появлении кустарниковой растительности, останавливающей снегоперенос). Зарастание дренированных понижений кустарником под влиянием увеличения количества атмосферных осадков и потепления климата в последние годы наблюдается широко. Мониторинг одного понижения, увеличившего свою площадь в 2005 г., был начат в 2009 году. За прошедшие 5 лет его площадь изменилась незначительно. Видимо, для протекания процесса нужно соблюдение целого ряда условий, которые будут установлены в ходе дальнейших исследований.

Мониторинг заболачивания выполнялся с использованием дистанционных методов. Повторное дешифривание космоснимков залетов разных лет показал, что заболачивание активно развивается только на II надпойменной террасе р. Надым, где леса уступают свое место болотам.

Радиоуглеродное датирование мёрзлого плоскобугристого болота в пойме р. Хейги-Яха притока р. Надым показало, что торфонакопление в нём началось около 7000 лет назад (не калиброванный радиоуглеродный возраст). Подстилающие торф озёрные отложения предположительно имеют раннеголоценовый возраст. Спорово-пыльцевая диаграмма, построенная по отобранному разреза выявила несколько долговременных смен в растительном покрове исследуемого региона за всё время озёрного и торфяного осадконакопления. Характерным признаком этих смен являлось периодическое увеличение роли ели в лесах, чередовавшееся с фазами доминирования карликовой берёзки (в раннем голоцене) и берёзы бородавчатой (в среднем голоцене). По максимумам обилия пыльцы было выявлено 3 длительных периода повышенной влажности климата. В последние 2000 лет назад вследствие промерзания торфяной толщи на поверхности болота поселился кедр сибирский и сфагновые мхи. Торфяные образцы из изученного разреза были подвергнуты, кроме спорово-пыльцевого анализа, анализу степени гумификации по стандартизированной международной методике, разработанной европейской программой «Акротельм». Сопоставление данных спорово-пыльцевого анализа с данными по степени гумификации торфа выявили следующую закономерность - в периоды с увеличенной ролью берёзы в растительном покрове увеличивалась и степень гумификации торфа, а в периоды с большим участием ели в растительном покрове - степень гумификации торфа уменьшалась. Поскольку известно, что степень гумификации торфа увеличивается в более сухие годы и в нестабильные периоды, но уменьшается в годы стабильного увлажнения, выявленная закономерность подтверждает гипотезу о том, что во влажные периоды роль ели в ландшафтах севера Западной Сибири возрастала, а в более сухие – уменьшалась.

Итак, можно заключить, что

- 1. В настоящее время происходит сильное направленное изменение экосистем, обусловленное потеплением климата и увеличением количества летних осадков.
- 2. Изменения экосистем проявляется в изменении растительности, теплового состояния, меняется также внутренняя структура экосистем и ведущие экзогенные процессы.
 - 3. Различные экосистемы затронуты изменениями в разной степени.
 - 4. Пока катастрофического разрушения ни одной экосистемы не произошло.
- 5. Некоторые экосистемы находятся вблизи черты, после перехода через которую начнется их разрушение при сохранении тех же темпов потепления климата.
 - 6. Изменения экосистем неоднократно происходило и в прошлом.

Relation of long-term dynamics of atmospheric circulation parameters, in terms of cyclones, to surface air temperature over Siberia

Podnebesnykh N.V., Ippolitov I.I.

Institute of Monitoring of Climatic and Ecological Systems SB RAS, Tomsk, Russia E-mail: podnebesnykhnv@inbox.ru

Relationship of long-term dynamics of atmospheric circulation parameters, in terms of cyclones, with surface air temperature over Siberia (50-70° N, 60-110° E) has been investigated. Data analysis was carried out using surface synoptic maps for the period of 1976-2011. To calculate the temperature fields daily observational at 169 stations located in the selected area were used (data, ftp://ftp.cdc.noaa) for 1976-2011.

Analysis results have shown that the territory of Siberia has been characterized by the growth of surface air temperature from 1976 to 1990 and from 1998 to 2003, from 1990 to 1998 - by the reduction, and surface temperature lightly increased for the period of 2003-2011 (Fig. 1).

Average annual trend of surface temperature is 0,29°C/10 years over the whole period 1976-2011. Positive temperature trend is observed throughout the year, except January, November and December. Figure 1 shows air temperature which is in antiphase with the progress of the number of cyclones, except last few years. In the periods of rising surface air temperature over Siberia southern cyclones dominated, and in the period of its decrease - northern cyclones. During the period 2003-2011 of sustained growth in surface air temperature increase of zonal circulation is observed.

The greatest number of cyclones came to Siberia from northern directions (731), the number has increased most notably since the early 90th. Interannual variation of the number of cyclones grouped by trajectories and that of total cyclones are comparable with each other. The smallest number of cyclones came from the west (360). Trend of western cyclones number is negative (-0.1/10 years), for northern cyclones and southern cyclones it is positive (1.4/10 years and 0.3/10 years, correspondingly).

The total number of cyclones was 1704 over the period. The average annual number of cyclones is 47. According to S. Gulev for the entire Northern Hemisphere average number of cyclones per year is 234.

The greatest number of cyclones during the period of under study came to Siberia from the area of the Kola Peninsula (northwestern cyclones) - 437 for 36 years, for the smallest number of cyclones formed in the lake Balkhash and parts of Ashgabat, Tashkent or the rivers Amu Darya and Syr Darya (southern cyclones) - 192 for 36 years.

The seasonal variation of the number of cyclones has pronounced with maximum in the spring (May), and minimum in summer (July). According to other authors the seasonal variation of the number of cyclones has been also detected. The decrease in number of cyclones in July can be explained by frequent occurrence of this synoptic situations with that pressure gradients.

This paper has studied the dynamics of the atmospheric pressure in the center of pressure formations. Its value varies from 997.4 hPa to 1006.0 hPa, the average pressure in the center of the cyclone is 1001.2 hPa. By the end of the period the pressure in the center of cyclones has slightly reduced. Northern cyclones dominated when it was low surface temperature, the pressure in the center here is lower than that in the centers of the southern and western cyclones. Southern cyclones have maximum pressure in their centers and dominated in periods of rising surface temperature.

As for interannual pressure in the cyclones during the second half of the period it is less than that in the first half. Thus, we can suggest that in the second half cyclones became deeper.

Связь многолетней динамики параметров атмосферной циркуляции, на примере циклонов, с приземной температурой воздуха над территорией Сибири

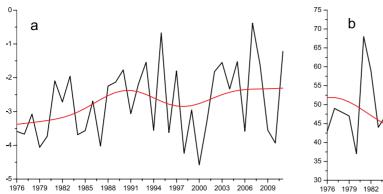
Поднебесных Н.В., Ипполитов И.И.

Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, Томск, Россия E-mail: podnebesnykhnv@inbox.ru

В докладе рассмотрена многолетняя динамика числа циклонов и величины среднего атмосферного давления в центрах циклонов над Сибирью, а также их связь с приземной температурой воздуха. Территория исследования была ограничена координатами 50-70°с.ш., 60-110°в.д. Анализ данных проводился за период 1976-2011 гг. по данным приземных синоптических карт. Для вычисления полей температуры использовались ежесуточные данные наблюдений на 169 станциях, расположенных в выбранном районе (центр распределения данных NOAA, ftp://ftp.cdc.noaa) за 1976-2011 гг.

В результате проведённого анализа было получено, что территория Сибири в 1976-1990 гг. характеризовалась ростом приземной температуры воздуха, в 1990-1998 гг. её уменьшением, в 1998-2003 гг. ростом, а в 2003-2011 гг. рост приземной температуры воздуха замедлился (рис.1).

Средне годовой тренд роста приземной температуры воздуха составляет 0,29°С/10 лет с 1976 по 2011 гг. Положительная тенденция роста температуры проявляется в течение всего года, за исключением периода с ноябрь по январь. Как видно из рисунка, на протяжении всего периода исследования ход приземной температуры воздуха находится в противофазе с ходом числа циклонов, за исключением последних нескольких лет. В периоды роста приземной температуры воздуха над Сибирью преобладает выход южных циклонов, а в периоды падения — выход северных циклонов. В период с замедленным ростом приземной температуры воздуха в 2004-2011 гг. отмечается усиление зональной циркуляции (рис. 2).



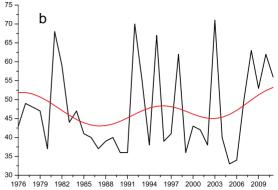
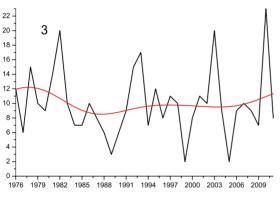
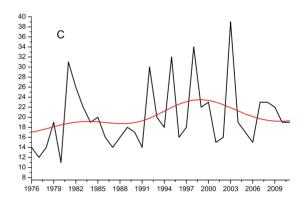


Рис. 1 — Межгодовая изменчивость приземной температуры воздуха (a) и числа циклонов (b) над территорией Сибири за период 1976-2011 гг.





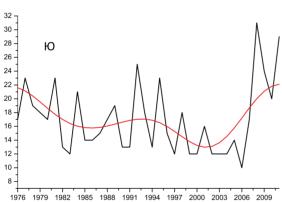


Рис. 2 — Число циклонов смещавшихся с разными траекториями движения на территорию Сибири за период 1976–2011 гг.

Примечание: 3 – циклоны, смещавшиеся по западным траекториям движения, С – циклоны, смещавшиеся по северным траекториям движения, Ю – циклоны, смещавшиеся по южным траекториям движения. Подробное описание групп циклонов приведено в работе [2].

Наибольшее число циклонов пришло на территорию Сибири с северных направлений (731), особенно заметно их число увеличилось с начала 90-х годов. Межгодовой ход числа циклонов сгруппированных по траекториям движения и межгодовой ход общего числа циклонов сопоставимы друг с другом. Наименьшее число циклонов пришло с западного направления (360) (рис. 2), (табл. 1). Тренд числа западных циклонов отрицательный (-0,1/10 лет), северных и южных циклонов положительный (1,4/10 лет и 0,3/10 лет, соответственно).

В таблице 1 приведено суммарное число и величина среднего атмосферного давления циклонов различного генезиса.

Таблица **1**

Tuo///Iqu I				
	N		N	Р (гПа)
Cananyua	731	Северные циклоны	294	996,5
Северные циклоны	/31	Северо-западные циклоны	437	994,2
Западные циклоны	360	Западные циклоны	360	998,8
	613	Юго-западные циклоны	221	1001,8
Южные циклоны		Южные циклоны	192	1003,4
		Местные циклоны	200	1012,3

Примечание: N – число барических образований; P – величина среднего атмосферного давления в центрах барических образований

За рассмотренный нами период над исследуемой территорией было зафиксировано 1704 циклона. Среднегодовое число циклонов составляет 47 (рис. 1). По данным С. Гулёва [3] для всего Северного полушария среднее число циклонов в год составляет 234.

Наибольшее число циклонов на территорию Сибири за исследуемый период пришло из района Кольского полуострова (северо-западные циклоны) — 437 за 36 лет, наименьшее число циклонов пришло из района оз. Балхаш и из района Ашхабада, Ташкента либо из междуречье Аму-Дарьи и Сыр-Дарьи (южные циклоны) — 192 за 36 лет (табл. 1).

В сезонном распределении числа циклонов просматривается чёткий годовой ход с ярко выраженным максимумом в весенний период (май), и минимумом в летний период (июль). В то время как по данным других авторов [1] в сезонном распределении числа циклонов чёткого годового хода не обнаружено. Июльский минимум в межгодовом ходе циклонов объясняется частым повторением в этом месяце синоптических ситуаций, определяемых малоградиентным полем.

Так же в работе была изучена динамика величины атмосферного давления в центрах циклонов (рис. 3). Значения давления изменяются от 997,4 гПа до 1006,0 гПа, средняя величина давления в центрах циклонов равна 1001,2 гПа. К концу исследуемого периода величина давления в центрах циклонов незначительно снижается. В периоды падения приземной температуры воздуха преобладают северные циклоны, давление в центрах которых ниже, чем в центрах южных и западных циклонов. А в периоды роста приземной температуры воздуха преобладают южные циклоны с максимальным давлением в центрах.

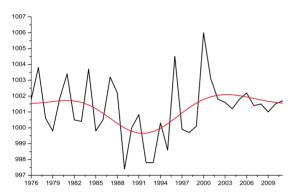


Рис. 3 — Межгодовая изменчивость среднего давления в центрах циклонов над территорией Сибири за период 1976-2011 гг.

При рассмотрении межгодового хода давления в центрах циклонов можно выделить тот факт, что во второй половине рассматриваемого периода величина давления несколько меньше чем в первой половине (рис. 3). Это говорит о том, что во второй половине исследуемого периода циклоны стали более глубокими.

Литература:

- 1. Бордовская Л.И., Цибульский А.Е. Повторяемость и скорость движения циклонов и антициклонов над Западной Сибирью // Вопросы географии Сибири. Томск: Изд. ТГУ, 1976. Вып. 9. С. 22-29.
- 2. Горбатенко В.П., Ипполитов И.И., Кабанов М.В., Логинов С.В., По∂небесных Н.В., Харюткина Е.В. Влияние атмосферной циркуляции на температурный режим Сибири // Оптика атмосферы и океана. 2011. № 1. С. 15-21.
- 3. Gulev S., Zolina O., Grigoriev S. Extratropical cyclone variability in the Northern Hemisphere winter from the NCEP/NCAR reanalysis data // Climate Dynamics. 2001. V. 17. P. 795-809.

Observed changes in climate over the Great Vasyugan Bog in the instrumental record: air temperature

Ivanova E.V., Kuskov A.I., Tartakovsky V.A.

Institute of Monitoring of Climatic and Ecological Systems SB RAS, Tomsk, Russia E-mail: ehllai@rambler.ru

In recent years the problem of climate change is of a particular interest of experts in various fields of science and technology. To characterize the climate change most researchers choose a long term trend, using mainly two mathematical methods: the time series approximation by polynomials of different degrees and moving levelling.

The aim is to identify periods with positive and negative trends of the average monthly temperature in the Great Vasyugan Bog (GVB) area, their spatial distribution and characteristics of long-term trends, depending

on the length of the period, over which the trend is determined. The research material is the time series of the average monthly temperature at 15 meteorological stations located in the area of GVB and surrounding grounds for the period of 1936-2012 years.

To characterize periods with positive and negative trends, as long as the trend was determined as linear, the calculation was made for each calendar month separately. To determine the values coherence of the relative trends connected with each other in the area under study the method of principal components was applied. This method allows: to quantify the changes in the relative trend synchronicity between points of observation; to obtain a time series model and its connection with the characteristics of the actual series; to identify the typical fields in the seasonal course.

The temporal course of the relative trend for different duration of moving levelling (11, 15, 21, 25 and 31 year) for January and July at Pudino st. was built. Also the typical fields conditioned by the first and the second components were built. For the first typical field quasi zonal contour of relative trend is characteristic, whereby the increase of the relative trend from north to south occurs. Over GVB the field has an undulating character, in the center (st. Pudino and Bakchar) a trough is observed. It means that through the bog centre the relative trend will have lower values compared with a zonal field. Along the Taiga-Pervomajskoe direction the ridge axis is observed - here a relative trend will be higher than in the zonal distribution.

For the second typical field the meridional distribution of contour of the relative trend is characteristic. Along the direction: Kolpashevo - Napas the tough axis is located. In this case the relative trend increase is observed from the west to north-west, from -0.2 to $0.2\,^{\circ}\text{C}/10$ years.

The most complicated type of the relative trend distribution is the third field type, which include the features of both the first and the second components. Maximum positive value of the relative trend is observed in winter months excepting February, in which 12 stations of 15 have the negative trend. In summer months from June till September the absolute values of the trends are small and they are in the range of 0.0 - 0.2 degrees C/10 years. The time interval increasing over which the trend is determined, leads to a decrease of the relative values of the trend and the number of cooling and warming periods.

The role of GVB in the relative trend forming is noticeable only in the central part of the bog, in which the first and the second types of the relative trend have reduced values in regard to the surrounding area.

Наблюдаемые изменения климата над Большим Васюганским болотом в период инструментальных наблюдений: температура воздуха

Тартаковский В.А., Кусков А.И., Иванова Э.В.

Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, Томск, Россия E-mail: ehllai@rambler.ru

В последние годы проблема изменения климата вызывает особый интерес у специалистов из разных областей науки и техники. Под изменением климата понимают изменения комплекса статистических характеристик метеорологических величин от одного многолетнего периода к другому.

Большинство исследователей в качестве характеристики изменения климата выбирают долговременный тренд. В основном применяют две математические процедуры получения долговременного тренда: аппроксимация всего временного ряда полиномами различных степеней и скользящее сглаживание.

В качестве аппроксимирующей функции долговременного тренда Tr(t) выбирают полином первой степени. Коэффициент пропорциональности α отражает скорость изменения величины метеорологического элемента и является относительным долговременным трендом.

Применение метода скользящего сглаживания или скользящих средних для выявления периодов с положительными или отрицательными тенденциями изменения величины метеорологического элемента более предпочтительно, чем аппроксимация полиномами высоких степеней. Это обусловлено тем, что при выделении периодов с положительными или отрицательными тенденциями изменения величины метеорологического элемента путем аппроксимации полиномами высоких степеней продолжительность этих периодов будет зависеть как от степени полинома, так и от длины временного ряда. В то же время продолжительность периодов с одинаковыми тенденциями при использовании скользящего осреднения будет зависеть только от периода осреднения и не зависеть от длины ряда. Однако этот метод имеет и недостаток. Полученный с применением скользящего сглаживания ряд непригоден для прогноза, потому что значения долговременного тренда на концах ряда рассчитываются с большой ошибкой.

Целью работы является выявление периодов с положительными и отрицательными тенденциями средней месячной температуры в районе Большого Васюганского болота (БВБ), их территориальное распределение и характеристика долговременных тенденций в зависимости от продолжительности периода, за который определяется тренд.

Материалом исследования послужили временные ряды средней месячной температуры на 15 метеорологических станциях, расположенных в районе БВБ и прилегающих к нему территориях за период 1936-2012 годы.

Для характеристики периодов с положительными и отрицательными трендами при условии определения тренда как линейного возможны два варианта расчетов: в первом расчет производится по исходным временным рядам без учета календарных месяцев; во втором временные ряды разделяются по месяцам и для каждого календарного месяца расчет производится отдельно.

Для выявления характера тренда использовался второй подход. По мнению авторов, этот подход является более корректным, поскольку учитывает сезонные изменения тренда.

Для реализации подхода необходимо выбрать период ΔT , для которого определялся линейный тренд. В данном случае был выбран базовый 11-летний период ΔT =11, так как он, возможно, связан с числами Вольфа, которые указывают на интенсивность солнечной активности.

Для выбранного периода за каждый календарный месяц определялся параметр из выражения (1):

$$Tr(t) = \alpha t + \beta$$
, (1)

где Tr(t) – значение тренда в момент времени t; α - скорость изменения температуры (относительный тренд, °C/10 лет.); β - константа. В дальнейшем для интерпретации использовался параметр α как наиболее информативный. Положительные значения α соответствуют долговременному росту температуры, отрицательные – падению.

После расчета значение присваивалось середине временного отрезка, для которого он был рассчитан. Для первого временного отрезка 1936-1946 гг. α присваивается 1941 году. На следующем шаге расчета происходит сдвиг на год (второй временной отрезок 1937-1947 гг.) и процедура определения α повторяется вновь до конца исследуемого периода.

Построен временной ряд скоростей изменения температуры на ст. Пудино, которая расположена в центральной части БВБ и отражает все закономерности поля температуры над БВБ.

Результаты показали, что за 77-летний период отмечались как долговременные волны тепла, так и холода, при этом продолжительность волн холода оказалась меньше, но их интенсивность сильнее. Таким образом, вопрос о глобальном всестороннем потеплении требует, по меньшей мере, уточнения и зависеть он будет от периода, за который рассчитывался тренд, чем больше период осреднения, тем меньше его результативность. Говорить о тренде можно только тогда, когда исследователи договорятся каким образом его вычислять, т.е. определить начало периода, за который определяется тренд и его продолжительность. В зависимости от этого мы будем получать тренд, который характеризует период похолодания или потепления. Даже первый беглый взгляд на матрицу относительных трендов позволяет отметить, что даже в зафиксированном периоде знаки тренда могут быть различны, так за период 1937-1947 гг. из 15 привлеченных для исследования станций на 7 станциях отмечалось долговременное похолодание, а на 8 – потепление. При выводах следует учитывать, что эти станции расположены достаточно близко. Возникает вопрос, как связаны значения относительных трендов между собой на исследуемой территории.

Для ответа на этот вопрос был применен компонентный анализ, в частности метод главных компонент, который позволяет количественно оценить синхронность изменения относительного тренда между пунктами наблюдения на исследуемой территории. Получить типовой временной ряд, характерный для исследуемой территории, а также характеристики связи типового ряда с фактическими рядами. Кроме этого, метод позволяет выявлять типовые поля в сезонном ходе.

Анализ результатов показал, что максимальные положительные значения относительного тренда отмечаются в зимние месяцы, исключение составляет февраль, в котором на 12 из 15 станций отмечается отрицательный тренд. В летние месяцы июнь - сентябрь абсолютные значения трендов небольшие и находятся в диапазоне $0,0-0,2\,^{\circ}\text{C}/10$ лет. При этом положительные тренды в марте и ноябре достигают $0,6\,^{\circ}\text{C}/10$ лет, а в феврале $-0,4\,^{\circ}\text{C}/10$ лет. Значения относительного тренда за конкретные периоды больше по абсолютной величине, чем средние. Так в январе за период $1962-1972\,^{\circ}$ годы величина относительного тренда составляла $-8,1\,^{\circ}\text{C}/10$ лет $-10,9\,^{\circ}\text{C}/10$ лет это был самый холодный период для января.

Из анализа распределения годового хода среднего значения первой компоненты и относительных трендов на всех исследуемых 15 станциях следует, что значения относительного тренда изменяются синхронно с первой компонентой, о чем свидетельствует разложение на составляющие относительного тренда. Это свидетельствует о синхронности изменения трендов на всей исследуемой территории. Таким образом, можно сделать вывод о высокой синхронности процессов, формирующих относительный тренд. Следует отметить важную особенность относительных трендов - это их уменьшение от января к февралю и повышение к марту месяцу. Так в январе величина относительного тренда составляла -0,009 °C/10 лет до 0,337 °C/10 лет, в феврале значение относительного тренда уменьшилось и находилось в

диапазоне -0.399 °C/10 лет -0.122 °C/10 лет, к марту вновь произошло повышение до значений 0.467°C/10 лет -0.642 °C/10 лет. Таких резких скачков не отмечалось в других частях временного хода. Если принять гипотезу о влияние газового состава на потепление, то получается его резкое изменение именно в феврале месяце, что не соответствует действительности. Отсюда следует, что изменение температуры происходит под влиянием не газового состава, а других природных факторов.

Построены временные хода относительного тренда при различной продолжительности ΔT для января и юля на станции Пудино. Величина ΔT задавалась в 11, 15, 21, 25 и 31 год. Эти периоды охватывают продолжительности как среднего периода колебаний чисел Вольфа, так и продолжительность, рекомендуемую Всемирной Метеорологической Организацией для выявления устойчивых параметров изменения климата.

Анализ результатов позволяет установить, что с увеличением продолжительности ΔT происходит заметное уменьшение величины α . Так для января месяца максимальные значения уменьшились от 7,7 (ΔT =11) до 2,4 (ΔT =31), а минимальные – от -11,4 (ΔT =11) до -1,9 (ΔT =31). В июле отмечается такая же закономерность, значения положительных трендов от ΔT =11 к ΔT =31 уменьшается в 4,2 раза, а отрицательные значения трендов в 11,3 раза.

Связь между величиной α на станциях определялась как средний квадрат коэффициента корреляции между фактическими значениями тренда и типовым трендом. Величина эта высокая для января месяца и увеличивается от 91,4 (ΔT =11) до 96,7 (ΔT =31), в июле такая же закономерность изменения величины связи 89,8 (ΔT =11) до 93,9 (ΔT =25), исключение составляет период ΔT =31, в котором величина связи составляет 91,5, хотя эти значения достаточно большие и практически не значительно отличаются друг от друга.

Количество периодов с положительными и отрицательными трендами в январе при ΔT =11 составляет 8 и 8 периодов при средней продолжительности 5,1 и 3,2 года соответственно. С увеличение до 31 года количество периодов с положительными и отрицательными трендами уменьшается до 3 и 3 со средней продолжительностью 9,3 и 6,3 года соответственно.

В июле распределение характеристик периодов подобное с положительными и отрицательными трендами ΔT =11 составляет 7 и 7 периодов при средней продолжительности 4,9 и 4,1 соответственно. С увеличением ΔT до 31 года количество периодов с положительными и отрицательными трендами уменьшается до 4 и 4 со средней продолжительностью 9,5 и 2,2 соответственно.

Таким образом, в январе с увеличением ΔT увеличивается продолжительность периодов, как с положительными, так и отрицательными трендами, в июле же увеличение отмечается только для положительных трендов, а для отрицательных происходит уменьшение. Это указывает на тенденцию похолодание январей и потепление июлей.

Результаты разложения полей относительного тренда в годовом ходе на две ортогональные составляющие показывают, что две компоненты описывают 93,9 % общей изменчивости, из которых на первую компоненту приходится 81,6 %, а на вторую 12,3 %. В годовом ходе установлено три типа поля относительного тренда. Первый тип определяется первой компонентой и характерен для февраля, апреля, мая ноября и декабря. Второй тип обусловлен второй компонентой и характерен для марта и июня. Третий тип поля обладает чертами, как первой, так и второй компонент, при этом доля вклада каждой компоненты определяется значениями собственных векторов $\alpha_{1,m}$ и $\alpha_{2,m}$.

Были построены типовые поля, обусловленные первой и второй компонентами. Для первого типового поля характерно квазизональное распределение изолиний относительного тренда, при этом происходит увеличение относительного тренда с севера на юг. Над БВБ поле имеет волнообразный характер. В центре (ст. Пудино и Бакчар) болота отмечается ложбинообразный прогиб. Это означает, что по центру болота по сравнению с зональным полем будут отмечаться меньшие значения относительного тренда. По линии Тайга - Первомайское отмечается ось гребня, где величина относительного тренда будет выше, чем при зональном распределении.

Для второго типового поля характерно меридиональное распределение изолиний относительного тренда. По линии Болотное, Колпашево, Напас, расположена ось ложбины. При этом происходит увеличение относительного тренда на запад, северо-запад от -0,2 до 0,2°C/10 лет.

Наиболее сложным типом распределения относительного тренда является третий тип поля, который включает в себя признаки, как первой, так и второй компоненты.

Распределение относительного тренда по БВБ и на прилегающих к нему территориях в августе характерно для третьего типа поля. Поле можно отнести к разряду седловины, которое характеризуется областями повышенного значения тренда, как в центральной части, так и на западной периферии БВБ. Пониженные значения наблюдаются в северных и южных территориях, прилегающих к БВБ.

Напрямую определить роль БВБ на формирование относительного тренда не удалось, хотя, в центральной части (ст. Пудино и Бакчар) при первом и втором типах отмечается пониженное значение относительного тренда по отношению к прилегающей территории.

Исследование показало, что в летние месяцы июнь - сентябрь абсолютные значения относительных трендов небольшие и находятся в диапазоне $0.0-0.2\,^{\circ}$ C/10 лет. Рост значений относительных трендов происходит в осенне-зимний и весенний периоды.

Резкое уменьшение относительного тренда в феврале месяце не подтверждает гипотезу о том, что формирование долговременных трендов температуры происходит в основном под влиянием парниковых газов

Увеличение временного интервала, за который определяется тренд, приводит к уменьшению значений относительного тренда и количества периодов похолодания и потепления.

Роль БВБ в формировании относительного тренда заметна только в центральной части болота, в которой при первом и втором типах поля относительного тренда отмечается пониженное его значение относительного тренда по отношению к прилегающей территории.

Estimation of changes in energetic characteristics of atmospheric circulation and their relationship with climate of West Siberia during last decades

¹Elena V. Kharyutkina, ¹Sergey V. Loginov, ^{1,2}Yuliya V. Martynova

In this study the variability of spatial and temporal distributions of temperature and atmospheric pressure is investigated for the territory of West Siberia (50-70°N, 60-90°E) over the period of 1975-2011 using observational data at meteorological stations.

In the beginning of XXI century the tendency of decelerate of surface temperature increase over the territory of West Siberia is observed. It was obtained that in winter months during last decade the process of warming was changed by the process of cooling, especially in the center and in the east part of West Siberia.

One of the most important roles in the weather and climate formation belongs to global atmospheric circulation. It was revealed that global circulation indices with the highest correlation with temperature for the territory of West Siberia have changed their phase during the first decade of XXI century: NAO index – from positive to negative and SCAND – conversely, from negative to positive. From the analysis of this dynamics it follows that this phenomenon is connected with blocking of west and south air masses transport to West Siberia. It leads to strengthening of cold arctic air advection from north latitudes and as a result, to the temperature decrease over West Siberia. Constructed trend maps of vorticity, geopotential height and zonal component of wind speed for 2002-2011 have confirmed this conclusion.

Statistical estimation of changes in climatic variables and energy characteristics of atmospheric processes (such as available potential energy and kinetic energy with its components) were calculated using JRA-25 (http://ds.data.jma.go.jp/gmd/jra/), and their relationship to variability of zonal, meridional and eddy circulation in the Northern Hemisphere was discussed in this study. Also fields of baroclinic instability parameter were calculated. Such approach has allowed to reveal the fields of baroclinity, to define the changes in its intensity for the period of the end of XX – beginning of XXI centuries, and also the variability of advection over the Northern Hemisphere and over West Siberia, in particular. To estimate the relationship between temperature anomalies, available potential energy and kinetic energy and anomalies of baroclinity areas characteristics correlation analysis was used.

Thus, it was revealed that during last decade the variability of eddy kinetic energy has significant contribution to temperature variability over the territory of West Siberia.

¹ Institute of Monitoring of Climatic and Ecological Systems SB RAS, Tomsk, Russia

² Siberian Research Hydrometeorological Institute of Roshydromet, Novosibirsk, Russia E-mail: kh_ev@imces.ru

Оценка изменений энергетических характеристик атмосферной циркуляции и их связи с климатом Западной Сибири в последние десятилетия

¹Харюткина Е.В., ¹Логинов С.В., ^{1,2}Мартынова Ю.В.

- 1 Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, Томск, Россия
- ² Сибирский региональный научно-исследовательский гидрометеорологический институт, Новосибирск, Россия E-mail: kh_ev@imces.ru

ля территории Западной Сибири были получены средние поля температуры воздуха и давления, а также поля их линейных трендов для двух периодов исследования: с 1975 по 2005 гг. и с 1981 по 2011 гг. По результатам анализа данных инструментальных наблюдений выявлено, что, в целом, наблюдается уменьшение скорости роста температуры, а в зимние месяцы начала XXI века тренды среднемесячных приземных температур изменились от положительных к отрицательным величинам при положительном изменении тренда среднемесячного давления.

Анализ сглаженных данных (по Фурье с периодом 10 лет) показал уменьшение температуры в феврале, начиная с 1995 г., при этом рост давления наблюдается с 1998 г. Колебания в рядах давления в зимний период находятся, в целом, в противофазе с колебаниями температуры воздуха.

Важную роль в естественной климатической изменчивости играют долгопериодные изменения в системе атмосфера - океан – криосфера, которые вызывают изменения в структуре крупномасштабной циркуляции, в том числе перераспределение тепла и влаги, оказывая тем самым значительное влияние на климат отдельных регионов.

Во временном ходе с 1975 по 2011 гг. индексов глобальной циркуляции, для которых характерно наличие высокой корреляционной связи с приземной температурой в зимние месяцы, выявлено, что со второй половины 90-х годов для NAO обозначился переход от положительной фазы индекса к отрицательной, а для SCAND – от отрицательной к положительной (рис.1).

С этим переходом связано развитие блокирующих процессов, ослабляющих западный перенос и изменяющих климатические характеристики в Западно-Сибирском регионе. Описанные тенденции проявляются также во временном ходе двух индексов в январе и декабре.

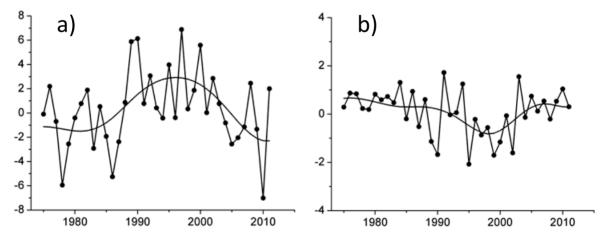


Рисунок 1 - Временной ход индексов циркуляции в феврале с 1975 по 2011 гг.: a) NAO, 6) SCAND.

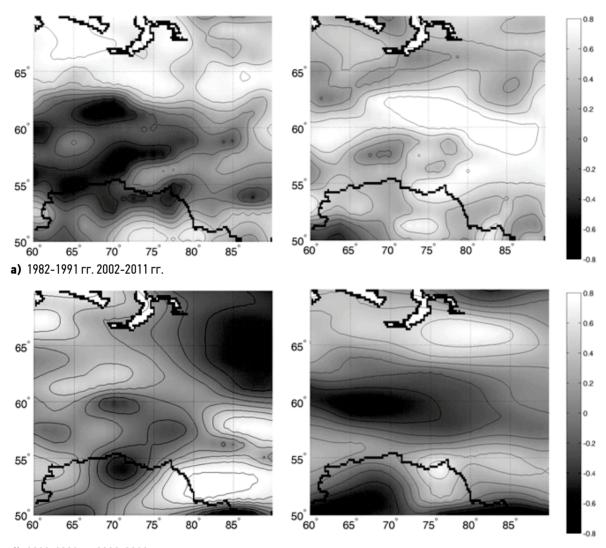
Изменения циркуляции выявляются через поля зональной и меридиональной составляющих скорости ветра в нижней тропосфере, а также характеристик вихревой циркуляции. В исследованиях атмосферной циркуляции также важное место занимает вопрос, связанный с энергетикой движений различных масштабов.

Особый интерес представляют волны синоптического масштаба и связанные с ними синоптические вихри. Наибольшую роль в процессе возникновения таких атмосферных вихрей играет бароклинная неустойчивость, то есть неустойчивость потока с горизонтальным градиентом температуры и, следовательно, с вертикальным градиентом скорости ветра в поле силы Кориолиса. Источником энергии возмущений в таком потоке является доступная потенциальная энергия.

Для того чтобы оценить региональный отклик на глобальные климатические изменения в начале XXI века проводилась статистическая оценка изменений климатических величин и энергетических характеристик атмосферных процессов, и анализировались их связи с вариациями зональной, меридиональной и вихревой циркуляции в Северном полушарии. В качестве исходных данных использовались

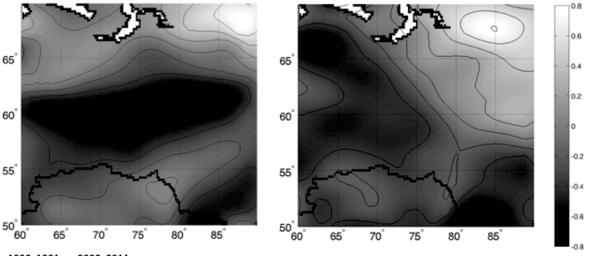
данные JRA-25 (http://ds.data.jma.go.jp/gmd/jra/), которые представлены в узлах регулярной широтно-долготной сетки $1,25x1,25^{\circ}$ на 23 изобарических уровнях от 1000 до 0,4 гПа.

В работе выполнены расчеты доступной потенциальной энергии (ДПЭ), кинетической энергии (КЭ) и ее составляющих, зональной и вихревой кинетической энергии (ЗКЭ и ВКЭ) в Северном полушарии в период с 1982 по 2011 гг. Также для Северного полушария рассчитывались поля параметра ба-



6) 1982-1991 гг. 2002-2011 гг.

Рисунок 2 - Пространственное распределение коэффициентов корреляции вихревой кинетической энергии и температуры воздуха в феврале над территорией Западной Сибири на изобарических уровнях: **a)** 1000 гПа, **6)** 500 гПа.



а) 1982-1991 гг. 2002-2011 гг.

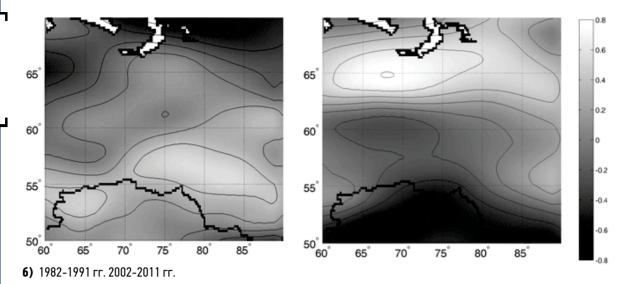


Рисунок 3 - Пространственное распределение коэффициентов корреляции вихревой доступной потенциальной энергии и температуры воздуха в феврале над территорией Западной Сибири на изобарических уровнях: a) 1000 гПа, 6) 500 гПа.

роклинной неустойчивости. Это позволило выявить области бароклинности, определить изменения их интенсивности за период конца XX - начала XXI веков, а также изменчивость адвективного переноса как над Северным полушарием в целом, так и на территории Западной Сибири, в частности.

С помощью методов корреляционно-регрессионного анализа оценивалась связь между аномалиями температуры, доступной потенциальной и кинетической энергий и аномалиями характеристик зон бароклинности в Северном полушарии.

Как следует из рис.2, уменьшение температуры воздуха у поверхности земли в центральной части Западной Сибири в начале XXI века связано с уменьшением ВКЭ (г~0,6). Причем на поверхности 500 гПа эта тенденция наблюдается уже на севере и юге территории, а в центральной части ситуация меняется на обратную - уменьшение температуры связано с увеличением вихревой активности. При этом уменьшение температуры в период 2002-2011 гг. в центральной части связано также с увеличением ДПЭ, которая характеризует изменение вертикальных потоков воздуха (рис.3а).

На поверхности 500 гПа область положительной связи ДПЭ и температуры воздуха перемещается на север территории (рис.3б), то есть уменьшение температуры здесь будет связано с уменьшением вертикальных движений и, следовательно, можно предположить, что значительный вклад в изменение температуры в последнее десятилетие здесь вносят изменения вихревой кинетической энергии.

Dynamics of the Northern and Southern Hemisphere subtropical jet streams for the period 1948–2013 from the NCEP-NCAR reanalysis

Zolotov S.Yu., Ippolitov I.I., Loginov S.V.

Institute of Monitoring of Climatic and Ecological Systems SB RAS, Tomsk, Russia E-mail: Sergey-Zo@yandex.ru

ubtropical jet stream is a narrow stream of strong wind at 200-hPa level, characterized by large vertical and horizontal wind shift and one or more maxima speed, reaching values of 70-100 m/s. Subtropical jet streams are located symmetrically relatively to the Equator in the latitude band 20-50° in both hemispheres of our planet.

By results of the air temperature distribution analysis at 200-hPa level for the period 1948-2013 in January three temperature zones were observed, named as "warm" (-45° C), "medium" (-55° C) and "cold" (-70° C). The "warm" zone is located above the Antarctica region and abruptly turns into "medium" zone around 50° S. The "medium" zone is covers a big region, including the Equator and the subtropics in the both hemispheres. Minimum air temperature is observed in the mid-latitudes and polar region in the Northern Hemisphere at 200-hPa in January.

The subtropical jet stream is located on the border of the "warm" and "medium" zones in the Southern Hemisphere and is located on the border of the "medium" and "cold" zones in the Northern Hemisphere.

The "warm" zone (-40° C) and the "cold" zone (-75° C) are interchanged in July. The "medium" zone (-55° C) has no precise boundaries with the "warm" zone in the Northern Hemisphere. Various rate of warming of continents and oceans on the Earth's surface along latitudes is played a significant role. The northern jet stream decreases sharply and almost wind speed drops below the threshold of 30 m/s.

The average annual trend of wind speed of the northern subtropical jet stream is 0.24 ± 0.08 m/s per 10 years (from the NCEP-NCAR reanalysis) and is significant. The average annual trend of wind speed of the southern subtropical jet stream also is significant and is equal -0.45 ± 0.10 m/s per 10 years.

The subtropical jet stream is shifting northward $(0.1^{\circ} \text{ per } 10 \text{ years})$ in the Northern Hemisphere and is shifting southward $(0.1^{\circ} \text{ per } 10 \text{ years})$ in the Southern Hemisphere.

Динамика субтропических струйных течений в Северном и Южном полушариях за 1948–2013 гг. по данным реанализа NCEP-NCAR

Золотов С.Ю., Ипполитов И.И., Логинов С.В.

Институт мониторинга климатических и экологических систем CO PAH, Томск, Россия E-mail: Sergey-Zo@yandex.ru

убтропическое струйное течение представляет собой сильный узкий поток ветра с почти горизонтальной осью на уровне высоты 200 гПа, характеризующийся большими вертикальными и горизонтальными сдвигами ветра и одним или более максимумами скорости, достигающих величин 70-100 м/с.

Эти течения являются ветровой характеристикой хорошо выраженных высотных фронтальных зон. В системе фронтальных зон струйные течения, распространяясь на многие тысячи километров, окаймляют земной шар. Струйное течение представляет сравнительно узкую зону больших скоростей ветра в относительно спокойной окружающей атмосфере. Субтропические струйные течения располагаются симметрично относительно экватора в полосе широт 20–50° обоих полушарий нашей планеты.

По результатам анализа среднего за 1948–2013 гг. распределения температурного поля Земли на уровне 200 гПа в январе были выделены три температурные зоны: зона относительно «теплых» (-45° С), «умеренных» (-55° С) и «холодных» температур (-70° С). Зона «теплых» температур расположена над областью летней Антарктиды и резко переходит в зону «умеренных» температур в районе 50° ю.ш. Зона «умеренных» температур охватывает большой регион, включающий в себя субтропические широты Южного полушария, экваториальные области и резко переходит в зону «холодных» температур в районе 30° с.ш. Минимальные значения температуры воздуха на уровне 200 гПа в январе наблюдаются в умеренных и в полярных широтах Северного полушария.

В Южном полушарии струйное течение расположено на границе «теплой» и «умеренных» температурных зон, а в Северном полушарии – на границе «умеренной» и «холодных» зон. Наибольший температурный градиент (15° С) наблюдается на юго-восточной границе холодного евразийского материка и теплого Тихого океана в субтропиках. Именно здесь фиксируются наибольшие абсолютные величины скорости ветра, которые в зимний период не опускаются ниже 50 м/с.

Анализ температурного поля на данном уровне в июле месяце показывает, что, по сравнению с январем, «теплая» и «холодная» зоны меняются своими полюсами: над Арктикой тепло (-40° C), а над Антарктидой очень холодно (-75° C). Зона «умеренных» температур (-55° C) в Северном полушарии уже не имеет четких границ с «теплой» зоной, так как здесь уже играет значимую роль разная степень прогрева материков и океанов на поверхности Земли вдоль широт. Северное струйное течение резко ослабевает и практически скорость ветра становится ниже порога 30 м/с.

В таблице 1 представлены тренды скорости ветра по оси струйных течений за период 1948–2013 гг. на основе данных реанализа NCEP-NCAR.

В северном субтропическом течении наибольшее увеличение скорости ветра наблюдается в зимний и летний сезонные периоды, в то время как в весенний и осенний сезонные периоды тенденция к увеличению скорости ветра невелика. Изменения в значениях скорости ветра в южном субтропическом течении в основном отражаются в их значимом снижении в летний и первой половине осеннего сезонных периодов.

Рассчитанный тренд среднегодовой скорости ветра северного субтропического течения, составляет 0.24 ± 0.08 м/с за 10 лет и является значимым. Значимым является и тренд среднегодовой скорости

ветра южного субтропического течения, однако, в отличие от северного, его значение является отрицательным (скорость ветра уменьшается) и равно -0.45 ± 0.10 м/с за 10 лет.

Анализ тенденций движений субтропических струйных течений показывает, что со временем эти течения перемещаются к «своим» полюсам, т.е. северное струйное течение движется к северному полюсу со скоростью $0,1^{\circ}$ широты за 10 лет, а южное – к южному полюсу со скоростью $0,2^{\circ}$ широты за 10 лет.

Таблица 1. Тренды скорости ветра по оси струйного течения за период 1948-2013 гг. Уровень 200 гПа.

	Тренд скорости ветра в северной струе, м/с за 10 лет	Тренд скорости ветра в южной струе, м/с за 10 лет
Январь	$0,48 \pm 0,20$	-0.21 ± 0.22
Февраль	$0,42 \pm 0,26$	-0.10 ± 0.18
Март	$0,24 \pm 0,25$	-0.11 ± 0.17
Апрель	$0,21 \pm 0,17$	0.08 ± 0.18
Май	$0,47 \pm 0,13$	-0.53 ± 0.18
Июнь	$0,41 \pm 0,14$	-0.71 ± 0.16
Июль	$0,49 \pm 0,12$	-0.82 ± 0.17
Август	0.38 ± 0.13	-0.86 ± 0.18
Сентябрь	$0,24 \pm 0,14$	-0.69 ± 0.18
Октябрь	$0,30 \pm 0,16$	-0.59 ± 0.17
Ноябрь	$0,14 \pm 0,19$	-0.06 ± 0.16
Декабрь	$0,43 \pm 0,17$	-0.23 ± 0.16
Год	0.24 ± 0.08	-0.45 ± 0.10

The temporal variability of the ocean and atmosphere characteristics over the North parts of the Pacific and Atlantic oceans for the period of the global warming from 1975 – 2011

Moraru E.I., Loginov S.V., Ippolitov I.I.

Institute of Monitoring of Climatic and Ecological Systems SB RAS, Tomsk, Russia E-mail: janey@sibmail.com

The variability of the hydrometeorological characteristics plays the important role among the major climate signals in the ocean-atmosphere system. It is found in the characteristics of the surface air, active ocean level, and atmospheric circulation. Energy-mass exchange in the ocean-atmosphere system forms extreme weather and climatic conditions on the continent.

The purpose of this research was studying the temporal variability of the sea surface temperature, heat fluxes and ocean characteristics over the North Pacific and North Atlantic, and their relationships with climate variability over the North Eurasia for the two periods: the global warming period from 1975 to 2011 and the period from 2000 to 2011.

Based on the ship observation data ICOADS from 1975 to 2011 we calculated the temporal variability of the sea surface temperature and the sensible and latent heat fluxes over the North Atlantic. It was established, for the period 1975 – 2011 the significant interdecadal variability of the investigate variables is observed. For the period 2000 – 2011 the stabilization stage of this data is observed. In the subtropical gyre, the Gulf Stream and over the entire North Atlantic the sea surface temperature influences the variability of the latent heat flux. In subpolar gyre, in contrast, the sensible and latent heat fluxes impact the change of the sea surface temperature. Similar conclusions were established for the North Pacific Ocean.

Based on the ship observation data ICOADS and data of the meteorological station NOAA we calculated the correlation between the sea surface temperature, heat fluxes and heat content over the both oceans and the air temperature over the North Eurasia. It was established, in the cold season the correlation were not high, but in the warm season relationships reached the maximum. The high correlation between these values was observed on the East European Plain, Eastern Siberia and the Far East.

Временная изменчивость характеристик океана и атмосферы в Северной части Тихого и Атлантического океанов в период глобального потепления 1975 – 2011 гг.

Морару Е.И., Логинов С.В., Ипполитов И.И.

Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, Томск, Россия E-mail: janey@sibmail.com

матически значимых сигналов в системе океан-атмосфера. Она обнаруживается в характеристиках приземного воздуха, деятельного слоя океана, атмосферной циркуляции. Атмосфера влияет на характеристики поверхностного слоя океана через воздействие ветра. Обратное влияние океана на атмосферу происходит через турбулентные потоки тепла и влаги. Это взаимодействие осуществляется следующим образом. Изменение температуры поверхности океана приводит к изменению потоков скрытого и явного тепла и, тем самым, к воздействию на циркуляцию и облачность. Энергомассообмен на границе океан-атмосфера формирует аномалии атмосферной циркуляции, существенно влияет на циклоническую активность в атмосфере и определяет экстремальные погодные и климатические условия на континентах.

Целью исследования являлось изучение временной изменчивости температуры поверхности океана, составляющих теплового баланса, характеристик океана в Северной части Тихого и Атлантического океанов и их связей с изменчивостью климата в Евразии за 2 исследуемых периода: 1975 – 2011гг. - период глобального потепления, 2000 – 2011 гг. – интервал замедления потепления "hiatus".

Оценка изменчивости температуры поверхности океана (ТПО), потока явного ($Q_{\rm S}$) и скрытого ($Q_{\rm L}$) тепла осуществлялась по данным судовых наблюдений ICOADS с месячным временным разрешением за период 1975 – 2011 гг. Расчёт теплосодержания океана (Q) осуществлялся с использованием данных по солёности и потенциальной температуре, взятых из реанализа CFSR за период 1979 – 2010 гг. Временная изменчивость температуры воздуха на высоте 2м (T) по территории Северной Евразии (севернее 40° с.ш.) оценивалась по данным 2125 станций NOAA, расположенных на континенте за период 1975 – 2011 гг.

Временной ход ТПО, Q_L Q_S в Северной Атлантике, и в отдельных её районах: субтропический и субполярный круговороты, течение Гольфстрим приведён на рис. 1.

Кривая на рис. 1а позволила установить, что в интервале 1980 - 1990 гг. наблюдается умеренное (+0,2°С) потепление поверхностных вод Северной Атлантики, а в интервале 1990 - 2000 гг. – сильное (+0,4°С) потепление. Однако в интервале 2000 - 2011 гг. процесс потепления остановился и наблюдается даже небольшое (-0,1°С) похолодание. В обоих круговоротах и в Гольфстриме тенденция к стабилизации температуры наблюдается после 2005 года. Показано, что доминирующий вклад (59%) в изменчивость температуры Северной Атлантики вносит субполярный круговорот, далее следует течение Гольфстрим (26%) и субтропический круговорот (15%).

Для Северной Атлантики в целом для интервала 1975 – 1990 гг. характерен практически линейный рост потока скрытого тепла (рис. 1б). На этом фоне выделяется декада 2000 – 2011гг., в течение которой

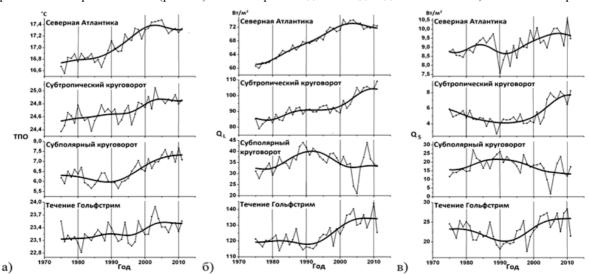


Рис. 1 — Межгодовая изменчивость температуры поверхности океана (a), потоков скрытого (б) и явного (в) тепла на акватории Северной Атлантики.

среднегодовой Q_L уменьшился на 1,38 Вт/м². Из рис. 2б следует, что максимальные среднегодовые потоки Q_L наблюдаются в Гольфстриме, несколько меньшие – в субтропическом круговороте и минимальные – в субполярном круговороте. Было показано, что доминирующий вклад (57%) в изменчивость потока Q_L по Северной Атлантике вносит субтропический круговорот, далее следует субполярный круговорот (27%) и район течения Гольфстрим (16%).

Во временном ходе потоков явного тепла (рис. 1в) на акватории Северной Атлантики в целом явно выражен минимум в начале 90-х годов, отсутствующий в потоках скрытого тепла. Для интервала 2000 – 2011 гг. стабилизация потоков выражена для Северной Атлантики в целом, а так же в субтропическом круговороте и в Гольфстриме. В субполярном круговороте в этот временной интервал проявляется тенденция к снижению потоков. Регрессионный анализ вклада $Q_{\rm S}$ от отдельных районов в поток на всей акватории Северной Атлантики выявил, что 43% изменчивости вносит субполярный круговорот, 32% - течение Гольфстрим и 25% - субтропический круговорот.

Аналогичный анализ проводился для Тихого океана. Замечено подобие временного хода потоков скрытого и явного тепла, а также температуры поверхности океана в Тихом и Атлантическом океанах. В обоих круговоротах и в Куросио тенденция к стабилизации температуры наблюдается после 2005 года. До 2005 года наблюдался рост величин.

Расчёт и анализ временной изменчивости теплосодержания океана осуществлялся на основе данных по потенциальной температуре и солёности воды из реанализа CFSR. Погрешность расчёта составила 10.5%. Временной ход теплосодержания на глубинах 5-300 м и 5-1000 м в целом на акватории Северной Атлантики, а так же в её отдельных районах приведён на рис. 2.

Для Северной Атлантики в целом для интервала 1975 - 2000 гг. характерен рост теплосодержания океана (рис. 2a) на глубине 5 - 300 м. На этом фоне выделяется декада 2000 - 2011 гг., в течение которой среднегодовое теплосодержание стабилизируется. В слое 5 - 1000 м (рис. 26) величина теплосодержания выше. Максимальные величины Q наблюдаются в субтропическом круговороте, несколько меньшие – в районе течения Гольфстрим и минимальные – в субполярном круговороте. При сравнении временного хода теплосодержания (рис. 2) и температуры поверхности океана (рис. 1a) был замечен подобный временной ход для глубин 5 - 300 м. С глубиной сходство с температурой поверхности океана уменьшается.

Проводился анализ корреляционных связей между характеристиками обоих океанов (ТПО, $Q_{\rm S},Q_{\rm L}$) и температурой воздуха (Т) на территории Северной Евразии (севернее 40° с.ш.). Установлено, что в зимние месяцы преобладают невысокие отрицательные корреляции (до -0,4) для всех анализируемых величин. А также отмечается более зональное изменение связи от отрицательной на севере до положительной на юге. Летом корреляции достигают своего максимума. В тёплый период года наблюдается очаговый характер распределения корреляционных связей. Очаги высокой положительной связи отмечаются в районе Восточно-Европейской равнины, Восточной Сибири, и Дальнего Востока (0,7 – 0,8). Очаги отрицательной корреляции наблюдаются в районе Западной Сибири (-0,5).

Подобные выводы были получены при анализе корреляционных связей между теплосодержанием вод Северной Атлантики и температурой воздуха на территории Северной Евразии. Установлено, что в зимние месяцы наблюдается зональное изменение связи, а летом очаговый характер распределения, с положительными очагами в районе Восточно-Европейской равнины, Дальнего востока (0,7-0,8). В Европе и Западной Сибири корреляции невысокие (-0,2-0,2). На глубинных уровнях замечена аналогичная ситуация, Величина корреляции с глубиной уменьшается во всех районах, за исключением района течения Гольфстрим. Величина связи с этом районе увеличивается с глубиной.

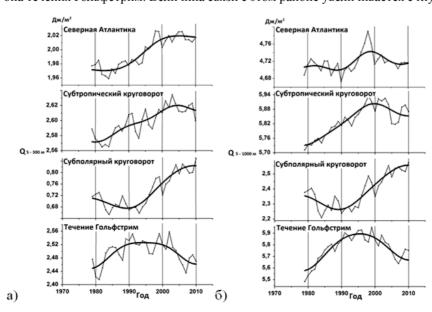


Рис. 2 — Межгодовая изменчивость теплосодержания на глубинах 5 — 300 м и 5 — 1000 м на акватории Северной Атлантики.

Аналогичный анализ проводился и для районов Северной части Тихого океана. Отмечается похожая ситуация что и для Северной Атлантики, но величина связи ниже, по сравнению с Северной Атлантикой.

В результате проделанной работы можно сделать основные выводы:

- 1. Наблюдается существенная междекадная изменчивость исследуемых характеристик за период 1975 2011 гг., причём для большинства из них в 2000 2011 гг. отмечена стадия стабилизации на уровне, достигнутом к 2000 г. В субтропическом круговороте, Гольфстриме и в целом на акватории Северной Атлантики в изменчивости потоков скрытого тепла проявляется преобладающее влияние обусловленной адвективными течениями температуры поверхности океана. В субполярном круговороте, напротив, температура поверхности океана управляется формируемыми атмосферой потоками скрытого и явного тепла. Аналогичные выводы получены для Тихого океана.
- 2. В результате анализа корреляционных связей между характеристиками Северной Атлантики (ТПО, $Q_{\rm S}$, $Q_{\rm L}$, Q) и температурой воздуха (T) на территории Северной Евразии (севернее 40° с.ш.) установлено, что в зимние месяцы преобладают невысокие отрицательные корреляции (до -0,4) для всех анализируемых величин. Летом корреляции достигают своего максимума. В тёплый период года очаги высокой положительной связи отмечаются в районе Восточно-Европейской равнины, Восточной Сибири, и Дальнего Востока (0,7 0,8). Очаги отрицательной корреляции наблюдаются в районе Западной Сибири (-0,5).

Meteorological conditions of automobile transport operation in Moscow region in cold season

Shiryaeva A.V.

Geography Institute RAS, Moscow, Russia E-mail: alexandra.v.shiryaeva@gmail.com

dverse weather terms and climate conditions of the region have a major impact on the safety and operation of roads. Weather affects driver behavior, vehicle performance, traffic velocity. The investigation of climatological conditions of automobile transport operation in Moscow region are presented. This investigation was made by road automatic weather stations (RAWS) data and regular weather station data The relationship between RAWS data and regular weather station data is high so we can use regular weather station data for these investigations. Climatological characteristics which affect the automobile transport operation (the precipitation sum, the number of weak, medium and extreme snowfalls, number of crossings of the freezing point by the air temperature, temperature of road surface, frequency of fog, the duration of cold period) were selected for analysis. The number of crossings of the freezing point by the road cover temperature is 1.2 times more than the number of crossings of the freezing point by the air temperature. The RAWS in Moscow region with favorable and adverse weather conditions were shown. The investigation results of the climatological parameters changes for 60-years period (from 1950 to 2010) in Moscow, Mojaysk and Kolomna are reported. The number of weak snowfalls decreased statistically significant. Tendencies of increasing of the coldest pentad average temperature and decreasing of number of days with temperature below -25° C and cold period duration occurred on all stations.

Метеорологические условия функционирования автотранспорта в холодный период года на территории Московской области

Ширяева А.В.

Институт географии РАН, Москва, Россия E-mail: alexandra.v.shiryaeva@gmail.com

етеорологические условия оказывают значительное влияние на безопасность и эксплуатацию автомобильных дорог. Погода влияет на поведение водителя, работу транспортного средства, состояние дорожного покрытия, при неблагоприятных погодных условиях повышается риски аварии, увеличивается время задержки в пути, снижаются скорости транспортных потоков. По данным

Департамента транспорта США (http://www.ops.fhwa.dot.gov/weather/q1_roadimpact.htm), 20% всех аварий и 17% аварий с летальным исходом происходит при наличии сложных метеоусловий, к которым относится дождь, снег и мокрый снег, туман, а также различное состояние дорожного покрытия.

В данной работе проведено исследование климатических условий функционирования автотранспорта в Московской области по данным дорожных автоматических метеостанций (ДАМС) и 3 регулярных метеорологических станций Росгидромета — Москва-ВДНХ, Коломна и Можайск. Данные ДАМС были представлены 11 станциями, стоящими на трассах М-9, А-101, А-104, М-2, М-3, М-4 за холодный (15 октября-15 апреля) сезон 2005-2008 гг.

Данные ДАМС и регулярных метеостанций были приведены к суточному разрешению, затем была посчитана корреляция между метеорологическими данными на ДАМС и ближайших станциях Росгидромета (ВДНХ, Можайск и Коломна).

Корреляция между суточными значениями средней, максимальной, минимальной температур воздуха, измеряемыми на ДАМС и станциях Росгидромета, высокая (92-99%). Корреляция между среднесуточными значениями температуры поверхности дорожного полотна и температуры воздуха и на ДАМС, и на ближайшей метеостанции составляет 98%. Значения осадков на ДАМС по сравнению с регулярными станциями завышены примерно в 1,5-2 раза. Это может быть связано с особенностями калибровки приборов ДАМС.

Параметр «число переходов температуры воздуха через 0°С» характеризует вероятность образования скользкости. Рассчитывается он следующим образом: если за сутки максимальная температура была выше нуля, а минимальная ниже, то переход произошел. Была проанализирована связь между частотой переходов через 0°C температур воздуха на метеостанции Росгидромета и ДАМС, а также частотой переходов температуры дорожного покрытия на ДАМС. В среднем за сезон (по данным 11 ДАМС за 3 года) количество переходов через 0° температуры поверхности дорожного полотна составляет 72, температуры воздуха на ДАМС - 58, температуры воздуха на метеостанции ВДНХ и Можайск - 59, Коломна - 62. Таким образом, частота переходов через 0° температуры поверхности дорожного полотна примерно в 1,2 раза больше, чем температуры воздуха, измеренной той же ДАМС; частота переходов температуры воздуха на ДМС и на ближайшей станции практически одинакова. Это можно объяснить тем, что температура поверхности асфальта в среднем выше температуры воздуха на 5,5°C (от 4,0° до 6,7° на разных ДАМС), кроме того, ей свойственны резкие колебания за счет движения автомобилей и нагревания дорожного полотна. При этом корреляция между частотой переходов через 0° (рядами дней, когда переход наблюдался) температур поверхности дорожного полотна и воздуха на ДМС составляет в среднем только около 60%; корреляция между количеством переходов через 0° на ДАМС и ближайшей регулярной метеостанцией около 70%.

Для станций Москва, Можайск и Коломна на основе многолетних метеорологических данных (с 1951-2010 г. для Москвы и Можайска и 1958-2010 г. для Коломны) были рассчитаны прикладные климатические характеристики, важные для функционирования автотранспорта:

- сумма осадков при отрицательной температуре воздуха и число снегопадов различной интенсивности (0-2, 2-5 и более 5 мм в сутки, что соответствует эквивалентным значениям в см свежего снега)
- число дней с температурой воздуха ниже -250 (в данных условиях возрастает вероятность различных поломок автотранспорта)
- температура самой холодной пятидневки (параметр, учитываемый при проектировании автодорожных и др. сооружений)
 - число переходов температуры воздуха через 0°С
 - продолжительность устойчивого холодного периода (с температурой воздуха ниже 0°С)

Таблица 1. Среднегодовые значения прикладных климатических характеристик для станций Москва (ВДНХ), Можайск и Коломна в период 1951-2010 гг.

	Mod	сква	Мож	айск
	1951-1980	1981-2010	1951-1980	1981-2010
количество осадков при отрицательной температуре воздуха	166	156	128	139
число слабых (<2,5 см/сутки) снегопадов	46	40	49	42
число средних (2-5 см/сутки) снегопадов	15	14	13	16
число сильных (>5 см/сутки) снегопадов	10	10	7	7
продолжительность устойчивого холодного периода	144	132	146	137
число дней с температурой ниже -25° С	4	2	10	6
средняя температура самой холодной пятидневки	-20	-17	-21	-19
количество переходов температуры воздуха через 0° С	62	64	70	70

В таблице 1 приведены средние значения исследуемых параметров за тридцатилетние периоды 1951-1980 и 1981-2010 гг. для Москвы и Можайска; цветом выделены статистически значимые изменения.

Из трех исследуемых станций Москва является самой теплой, с наименьшими значениями температурных параметров, а также с наименьшим числом переходов температуры через 0°С, что является благоприятными факторами для автотранспорта. При этом в Москве наблюдается наибольшее значение осадков при отрицательной температуре воздуха (условно принятых за снегопады), а также числа сильных снегопадов.

Были проанализированы изменения исследуемых параметров, произошедшие на данных станциях за 60 лет. Наблюдаются статистически значимое сокращение числа слабых снегопадов и увеличение снегопадов средней интенсивности (для Москвы); на всех станциях сокращается устойчивый холодные период, число дней с температурой воздуха ниже -25°C и температура самой холодной пятидневки.

По погодным условиям дорожного движения на исследуемых трассах была составлена карта (рис.1) более и менее благоприятных участков трасс по следующим параметрам:

- частота переходов температуры поверхности через 0°C
- количество осадков
- число дней с температурой воздуха ниже -25 °C
- количество туманов (дней с максимальной влажностью более 97%)

Полученные значения для каждого параметра были ранжированы, затем по общей сумме рангов для каждой станции определялась степень благоприятности погодных условий дорожного движения.

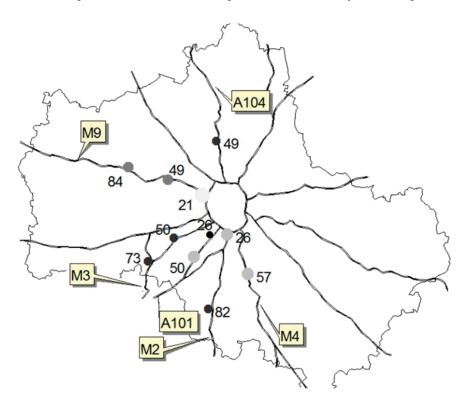


Рис. 1 Степень благоприятности погодных условий на ДАМС Московской области в холодные и переходные сезоны 2005-2008 гг. Светлыми цветами отмечены станции с благоприятными условиями, темными — неблагоприятными. Цифрами обозначено местоположения станции (километраж от Москвы).

Таким образом, в работе были получены следующие выводы:

- 1. Связь между данными регулярных метеостанций и данными ДАМС для температурных характеристик высокая, для осадков слабая; данные по осадкам ДАМС завышены в 1,5-2 раза
- 2. Средняя температура дорожного покрытия в холодный период года выше температуры воздуха; частота переходов через 0 температуры дорожного покрытия примерно в 1,3 раза выше, чем температуры воздуха
- 3. На территории Московской области в период 1951-2010 гг. наблюдаются статистически значимое сокращение числа слабых снегопадов; сокращается устойчивый холодные период, число дней с температурой воздуха ниже -25°C и температура самой холодной пятидневки.
- 4. Построена карта степени благоприятности погодных условий для движения автотранспорта по данным ДАМС Московской области в холодные и переходные сезоны 2008-2008 гг.

Temperature and precipitation changes in Siberia: data reliability and climate characteristic trends

Shulgina T.M., Gordov E.P.

Institute of Monitoring of Climatic and Ecological Systems SB RAS, Tomsk, Russia E-mail: stm@scert.ru

o improve our understanding of ongoing climate changes in Siberia and to provide to regional decision makers the reliable scientifically based georeferenced information on climate change related risks, one needs in detailed information on last decade changes in the key surface atmospheric parameters over this area. This study covers the problem of reliable data selection, namely climate model outputs and gridded station observations, and analysis of climatic characteristics described changes in temperature and precipitation across the region under investigation.

Data comparison results indicate low mean biases of temperature data from ERA Interim Reanalysis and HadEX2 gridded data from in-situ observations over Siberia and high time correlation with those. It is shown for both averaged and extreme climate characteristics calculated across the region. Because ERA Interim has high spatial distribution $(0.75^{\circ}\times0.75^{\circ})$ and powerful physical background (meteorological model) we consider it more appropriate for the regional studies. To analyze ongoing changes in precipitation amount across Siberia the APHRODITE JMA dataset was selected.

Study of temperature and precipitation changes in terms of averaged climatic characteristics indicates significant warming in the last decades (up to 0.5 °C/10yr in some areas) accompanied by high positive trends of growing season length and precipitation intensity in the north areas of the region. Also the asymmetric changes in distribution tails of temperature extreme indices were determined for the time period 1979-2012. Namely, the warming during winter cold nights is stronger than during warm nights, especially over the north of Siberia. Increases in minimum temperatures are more significant than in maximum temperatures. Warming determined at the high latitudes of the region is achieved mostly by winter temperature changes and less due to autumn temperature changes. South area of Siberia has slight cooling during winter (mostly out of cold temperature extremes) and during summer (associated with warm temperature extreme decrease). Precipitation extremes studied for the time period 1979–2007 show their dramatic uneven distribution. The largest increase in frequency and intensity of heavy precipitation is observed in the north of East Siberia. Decrease in very wet days is determined in the central area of West Siberia and the south area of East Siberia.

Since currently ecological and socio-economical risks are becoming larger and more apparent, obtained information about ongoing changes in temperature and precipitation is very important for supporting adaptation and mitigation measures to the climate change in the region. Moreover, all calculations presented here have been realized using information-computational web-GIS system "Climate" (http://climate.scert.ru/) which automatically generates the archive of calculation results ready for multidisciplinary studies of regional climate change impacts.

The study is partially supported by the Russian Foundation for Basic Research projects (13-05-12034, 14-05-00502), SB RAS Integration project 131 and VIII.80.2.1. and grant of the President of Russian Federation (decree № 181).

Features of the annual dynamics of the thermal regime of natural areas of the West Siberian plain

Sapyan E.S., Filandysheva L.B.

National Research Tomsk State University, Tomsk, Russia E-mail: filandysh@sibmail.com

ighlighted the problem of studying the regional manifestations of global climate change in the overall problem of his research, including moderate and especially at high latitudes. Landscapes of temperate and high latitudes are most sensitive to climate change. We chose the West Siberian Plain two weather stations near Salekhard (forest-tundra) and Omsk (forest-steppe). They are located within the geographic areas of transition. Their borders in a changing global climate less stable compared with the boundaries of other zones.

We consider the consequences of global climate change in the study area from the perspective of long-term dynamics of intra- climatic regimes. This subject is considered small in the literature, unlike interannual time analysis. To solve this problem, we used the values of the average daily temperature for each day from 1936 to 2006. The data were grouped into two periods. The first period from 1936 to 1970 . The second period from 1971 to 2006. Multiyear average monthly and daily air temperatures were calculated. Comparative analysis for each of the periods was conducted.

The results showed that in the forest-steppe monthly average air temperature of the second period were higher average air temperature of the first period (0.2 °C in July to 2.7 °C in March). Temperature level in the forest-tundra in the second period was lower than the temperature of the first period in a number of months (August, September , October, November , January) from -0.15 °C in September to -1.0 °C in November and January. In other months (December , February, March , May, June , July) the temperature of the second period, on the contrary, are higher - from 0.1 °C in February and to 2.8 °C in March. It should be noted, the climate in general in Russia for the period from 1907 to 2006 amounted to 1.29°C.

Following spatiotemporal distinctive features in the multi-year mean daily air temperatures were identified. So, multiyear average daily air temperature of the second period were higher than the temperature of the first period at the station Omsk throughout the year. Especially noticeable temperature increase observed during the cold season. Their growth was 2 °C (these data are consistent with the estimated data on the level of growth of winter temperatures in the whole of Western Siberia). There has been no such significant changes in the temperature level from the first to the second period at the station Salekhard. On the curve of the annual variation of daily average temperature of the second period stood out time intervals with increasing values. This increase is comparable to the warming climate in Russia and Western Siberia. For example, from 19.01 to 1.02 the temperature of the second period higher than the temperatures of the first period at +1.9 °C; from 14.02 to 31.03 (at +2.3 °C); from 29.04 to 16.05 (at +0.8 °C); from 16.07 to 29.07 (at +0.9 °C); from 16.07 to 29.07 (at +0.5 °C); from 14.12 to 26.12 (at +1.2 °C). Besides, there are time intervals when the temperature of the second period following the first (especially for the descending temperatures from -15 °C to -26 °C): from 29.12 to 13.01 (temperature in this period of time for the second period were lower by 4.6 °C), from 25.11 to 2.12 (temperatures dropped at 2.9 °C), etc.

This fact showed the observed warming in natural areas of the West Siberian plain until 1970. The fastest warming observed in temperate latitudes. Increased average daily temperatures in temperate latitudes grows throughout the year. This process is more complicated in the high latitudes. Analysis of intra-annual variations of the thermal regime indicators conducted by comparing the long-term resolution of the daily variation in temperature can be considered preferable in studies of this trend than the average monthly permit. Our approach allows us to consider in detail the temporal aspect of climate change occurring at the zonal level.

Особенности внутригодовой динамики термического режима природных зон Западно-Сибирской равнины

Сапьян Е.С., Филандышева Л.Б.

Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск, Россия E-mail: filandysh@sibmail.com

лобальные изменения климата, влияющие на развитие природных и антропогенных геосистем, стоят в ряду наиболее важных направлений фундаментальных научных и экологических исследований текущего столетия. Они находят отражения в теоретических и прикладных работах многих ведущих ученых, в том числе Будыко М.И., Израэля Ю.А., Котлякова В.М., Семенова С.М., Груза Г.В., Раньковой Э.Я., Шерстюкова Б.Г., Гордова Е.П, Jones P.D, Parker D.E., Jones P.D., Peterson T.C. and Kennedy J. и других российских и зарубежных авторов.

В перечень актуальных вопросов, требующих решения в свете обозначенной проблемы, входит изучение региональных изменений климата, в том числе в умеренных и, особенно, в высоких широтах, ландшафты которых наиболее чувствительны к климатическим переменам [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7]. С этой целью нами в пределах Западно-Сибирской равнины (ЗСР) выбраны две метеостанции: ст. Салехард (лесотундра) и ст. Омск (лесостепь), так как они расположены в пределах переходных географических зон, границы которых менее устойчивы, по сравнению с другими зонами, в условиях меняющегося глобального климата [8].

Проявление глобального изменения климата на исследуемой территории нами рассматривается с позиции многолетней внутригодовой динамики климатических режимов, как менее освещенной в литера-

турных источниках темы, в отличие от межгодового временного анализа. Для решения поставленной задачи нами использованы значения среднесуточной температуры воздуха за каждый день с 1936 по 2006 гг.

Эти данные были сгруппированы в два периода: первый – с 1936 по 1970 гг., второй – с 1971 по 2006 гг. За каждый из них были рассчитаны средние многолетние среднесуточные значения температуры воздуха, а также многолетние среднемесячные величины, последние представленные в таблице ниже. Следует отметить, что за границу между сравниваемыми периодами 1970 год взят не случайно, т.к. в ряде работ указывается, что именно с начала семидесятых годов глобальные изменения климата стали наиболее заметными [7, 9, 10, 11, 12].

Из сравнения значений среднемесячных температур воздуха на станциях Омск и Салехард за указанные периоды следует, что в лесостепной зоне от первого ко второму периоду во все месяцы отмечается их рост (от $0.2\,^{\circ}$ C в июле до $2.7\,^{\circ}$ C в марте), тогда как в лесотундре в ряде месяцев уровень температур стал ниже по сравнению с первым периодом (август, сентябрь, октябрь, ноябрь, январь) - от $0.15\,^{\circ}$ C в сентябре до $1.0\,^{\circ}$ C в ноябре и январе, в других (декабрь, февраль, март, май, июнь, июль) - выше - от $0.1\,^{\circ}$ C в феврале и до $2.8\,^{\circ}$ C в марте (табл.). Для сопоставления следует отметить, что потепление климата на территории России в целом за последние $100\,^{\circ}$ лет ($1907-2006\,^{\circ}$ гг.) составило $1.29\,^{\circ}$ C [1].

Таблица - Средние месячные температуры воздуха на ст. Салехард (лесотундра) и ст. Омск (лесостепь) за периоды с 1936 по 1970 гг. и с 1971 по 2012 гг. и разница между ними

Месяцы*												
Периоды	Октябрь	Ноябрь	Декабрь	Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь
ст. Салехард (лесотундра)												
1936-1970 гг. (первый)	-3.7	-14.5	-20.8	-23.2	-23.0	-18.2	-8.3	-1.0	8.4	14.3	11.6	5.4
1971-2006 гг. (второй)	-4.01	-15.5	-20.6	-24.2	-22.9	-15.4	-9.4	- 0.78	8.85	14.4	11.2	5.25
Разница между периодами	-0.37	-1	-0.2	-1.0	+0.1	+2.8	-1.1	+0.22	+0.45	+0.1	-0.4	-0.15
ст. Омск (лесостепь)												
1936-1970 гг. (первый)	1.9	-8.9	-15.9	-18.8	-17.3	-10.6	2.6	11.4	17.1	19.1	16.0	10.5
1971-2006 гг. (второй)	2.8	-7.5	-14.0	-16.9	-15.5	-7.9	3.6	12.2	17.9	19.3	16.4	10.5
Разница между периодами	+0.9	+1.4	+1.9	±1.9	+1.8	+2.7	+0.1	+0.8	+0.8	+0.2	+0.4	0.0

Условные обозначения к таблице:

- -- понижение среднемесячной температуры воздуха второго периода по отношению к первому;
- + повышение среднемесячной температуры воздуха второго периода по отношению к первому.

Анализ среднемесячных значений температуры воздуха дает возможность лишь в общих чертах увидеть региональные внутригодовые изменения климатических режимов, но, как всякое сглаживание, упрощает их годовой ход, исключая возможность выявить календарные особенности.

Для решения этой проблемы нами были рассчитаны средние многолетие среднесуточные значения температуры воздуха за сравниваемые периоды по ст. Салехард и ст. Омск, и построены графики их хронологического хода (рис. 1). Следует отметить, что подобные графики суточного разрешения имеют еще и прогностическое значение, т.к. на них видны периоды, в которые из года в год отмечается повышение или понижение температуры воздуха, обусловленное устойчиво повторяющимися во времени циркуляционными процессами [13].

Из рисунка 1Б видно, что на ст. Омск (лесостепь) в течение всего года многолетние значения среднесуточных температур воздуха второго периода выше значений температур первого, особенно, в холодное время года (в период с температурами ниже 0 °C). Так, если в первом периоде средняя многолетняя среднесуточная температура воздуха за указанный отрезок времени составила -13.4 °C, то во втором она повысилась до -11.4 °C, т. е на 2 °C, что согласуется с оценочными данными о уровне роста зимних температур в целом по Западной Сибири [1, 7].

^{* -} порядок расположение месяцев соответствует сезонному ходу и начинается с холодно-снежной части годового цикла;

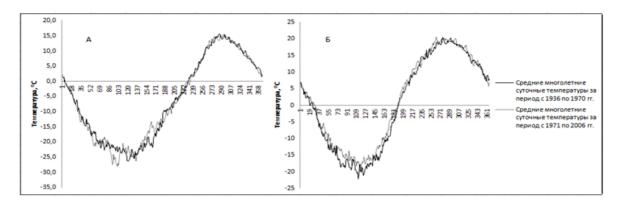


Рисунок 1. Хронологический ход средней многолетней среднесуточной температуры воздуха на ст. Салехард (A) и ст. Омск (Б)

Различия в средних многолетних среднесуточных температурах за теплую часть года (за время с температурами устойчиво выше 0 °C) оказались незначительными. Во втором периоде они в среднем стали выше на 0.5 °C (+12.6 °C) по сравнению с первым (+12.1 °C). Средняя годовая температура на ст. Омск, рассчитанная за первый период, составила + 0.63 °C, за второй - +1.79 , т.е. увеличилась на 1.13 °C. Полученные данные говорят о том, что климат в лесостепной зоне 3CP в последние десятилетия меняется в сторону его потепления, особенно в зимний сезон [14, 15].

На ст. Салехард, как показывает рисунок 1A, таких заметных, как на ст. Омск, изменений в уровне температур от первого периода ко второму не наблюдается. Отличие в их ходе выразились в повышении температуры воздуха во второй период в теплую и холодную части года, только на 0.3 °C (c +8.9 °C до + 9.1 °C и с -15.3 °C до -15 °C, соответственно). Незначительно выросла в лесотундре и средняя годовая температура воздуха – с -6.1 °C первого периода до -5.9 °C второго.

Следует отметить, что хотя в последние десятилетия на ст. Салехард изменения многолетних температур воздуха за крупные структурные единицы годового цикла невелики, тем не менее, на кривой годового хода среднесуточной температуры второго периода выделяются отрезки времени с ростом температуры, сопоставимым с потеплением климата России и Западной Сибири. Это отмечается в следующие календарные сроки: с 19.01 по 1.02 (на +1.9°C); с 14.02 по 31.03 (на +2.3°C); с 29.04 по 16.05 (на +0.8°C); с 16.07 по 29.07 (на +0.9°C); с 16.07 по 29.07 (на +0.5°C); с 14.12 по 26.12 (на +1.2°C) (рис. 1A).

Однако, рост температуры воздуха в указанные интервалы заметно не повысил многолетнюю среднюю годовую температуру второго периода из-за наличия в годовом суточном ходе временных промежутков, уровень значений температуры которых оказался не выше, а ниже первого (особенно на ветви спада температур от -15 °C до -26 °C). Среди них наиболее значимые следующие: с 29.12 по 13.01, средний уровень температуры которого составил -26.1 °C при минимальном значении -28.0 °C (8.01), тогда как в первом периоде за этот же временной промежуток средняя температура воздуха была выше на 4,6 °C (-21.5 °C), а также с 25.11 по 2.12 (во второй период средняя составила -20.4 °C, минимальное значение -21.4 °C; в первом — -17.5 °C и 19.4 °C, соответственно) (рис. 1A).

Проведенное исследование показало, что в пределах рассматриваемых природных зон ЗСР наблюдается современное потепление климата. Наиболее быстрыми темпами этот процесс развивается в умеренных широтах, где повышение среднесуточных температур отмечается на протяжении большей части года. В высоких широтах оно имеет более сложный характер. Анализ внутригодовых изменений показателей термического режима путем сравнения многолетнего хода среднемесячных значений температуры воздуха, и, особенно, среднесуточных за два 35-летних временных отрезка, позволил выявить пространственно-временную динамику климата на фоне глобальных его изменений. Такой подход дал возможность на зональном уровне детализировать временной аспект происходящих изменений климата, которые следует учитывать при работе над стратегиями адаптации конкретных территорий к их последствиям.

Литература:

- 1. Оценочный доклад об изменении климата и его последствий на территории Российской Федерации. Общее резюме. М.: Росгидромет, 2008. 29 с.
- 2. Оценочный отчет. Основные природные и социально-экономические последствия изменения климата в районах распространения многолетнемерэлых пород: прогноз на основе синтеза и моделирования. ОМННО «Совет Грипис», 2010. 43 с.
- 3. Фролов И.Е., Гудкович З.М., Карклин В.П., Смоляницкий В.М.. Изменения климата Арктики и Антарктики результат действия естественных причин. Проблемы Арктики и Антарктики №2 (6), 2012. С.80-93.

- 4. Панин Г.Н. Об изменении климата в полярных зонах Земли // Доклады Академии Наук. Т. 427, № 3, 2010.- С. 397–402.
- 5. Arctic Environment Variability in context of GlobalChange. By L. Bobilev et. Al. Springer-Ptraxi, 2003. 471 p.
- 6. Семенов С.М., Ясюкевич В.В., Гельвер Е.С. Выявление климатогенных изменений. Издательский центр «Метеорология и гидрология», Москва, 2006. 324 с.
- 7. Стратегический прогноз изменений климата Российской Федерации на период до 2010-2015 гг. и их влияние на отрасли экономики России.- М.: Росгидромет, 2005г. 18 с.
- 8. Коломыц Э.Г. Прогнозная оценка зональных ландшафтно-экологических условий в свете предстоящих глобальных изменений климата // География и природные ресурсы.- 1999. № 3.- С. 5-12
- 9. Воскова А.В. Фенологическая оценка реакции биоты на современные изменения климата// Ландшафтная экология. Межвузовский сборник научных трудов. Вып. 5. М.: РИЦ «Альфа» 2005. С. 69-73
- 10. Груза Г. В., Ранькова Э. Я. Оценка климатического отклика на изменение концентрации тепличных газов по данным наблюдений за приземной температурой воздуха на территории России // Известия РАН. "Физика атмосферы и океана". -1999. -№ 6. т.35. С.742-749
- 11. Груза Г.В.Оценка предстоящих изменений климата на территории Российской Федерации/Г. В. Груза, Э.Я. Ранькова // Метеорология и гидрология. 2009.-№ 11.- С.15 29
- 12. МГЭИК (IPCC): Изменения климата: Третий оценочный доклад Межправительственной группы экспертов по изменению климата (IPCC). 2001. -109 с.
- 13. Байдал М.Х. Календарные особенности климата Алма-Ата / М.Х. Байдал. Алма-Ата: Казахстан, 1976. 36 с
- 14. Филандышева Л.Б. Анализ динамических вариантов структуры зимнего сезона года и их климатических характеристик на юго-западе Западно-Сибирской равнины // Вестник Томского государственного университета, №364, 2012. С. 196-203.
- 15. Филандышева Л.Б., Сорока А.С. Изучение ритмов зимнего сезона на юго-западе Западно-Сибирской равнины в свете глобальных изменений климата // Вестник Тамбовского университета. Серия: Естественные и технические науки. Т. 18, вып. 2, 2013. С. 710-714

Seasonal variations of O_3 , CO and NO_x near-surface concentration in central Siberia: ZOTTO observation and model simulation

Shtabkin Y.A., Moiseenko K.B.

A.M. Obukhov Institute of Atmospheric Physics RAS, Moscow, Russia E-mail: yuryshtabkin@gmail.com

ver the recent decades, changes in air composition have been observed not only near industrial centres, but also in faraway from big towns regions. Air quality monitoring is carried by global observation stations system, but it doesn't work in most of Russian territory. Observational station ZOTTO (Zotino Tall Tower, 60,26 N., 89,24 E, central Siberia) partly improves this situation.

This paper presents the results of analysis of observations of CO, NO_x and O_3 near-surface concentration on ZOTTO station in 2007 - 2012. We use chemical-transport model GEOS-Chem to estimate the impact of variations of CO and NO_x on variations of regional ozone budget and impact of long-range pollution transport to background near-surface air composition in central Siberia. We calculate the average, maximum and minimum values of the response to emissions of CO and NO_x . According to the results, the primary impact on surface NO_x concentration has industrial cities of southern Siberia, while their impact on the CO concentration is found to be moderate, most likely due to the long atmospheric lifetime of CO. These results indicate a significant contribution of both natural and anthropogenic sources of pollution, and also air transport from Western Europe and European part of Russia to background near-surface air composition near ZOTTO station. It is important for analysis of further observations and for better understanding of the influence of various natural and anthropogenic factors on air composition in the boreal zone of Siberia.

Сезонные вариации приземных концентраций O_3 , CO и NO_x в центральной Сибири: наблюдения ZOTTO и численное моделирование

Штабкин Ю.А., Моисеенко К.Б.

Институт физики атмосферы им. А.М.Обухова РАН, Москва, Россия E-mail: yuryshtabkin@qmail.com

1. ВВЕДЕНИЕ

Исследования состава нижней атмосферы, включая приземный слой воздуха, занимают отдельное место в атмосферной химии, поскольку именно этот слой непосредственно связан с планетарными биологическими процессами и наиболее важными природными и антропогенными источниками малых атмосферных газов. Наблюдения долговременных вариаций состава приземного воздуха проводятся с использованием мировых и региональных сетей станций фонового мониторинга, не охватывающих территорию России [5].

Частично данный пробел восполняется долговременными наблюдениями на станции атмосферного мониторинга (высотной мачте) ZOTTO (Zotino Tall Tower Observatory), введённой в эксплуатацию в начале 2007 г. на базе исследовательского полигона Института леса им. В.Н. Сукачева РАН (Красноярск). Международный партнёрский проект ZOTTO осуществляется при участии научных коллективов из Института леса, Института физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН (Москва), Института биогеохимии Макса Планка (Йена, Германия) и др. (см. подробное описание станции на веб-сайте поддержки www.zottoproject.org, [4] или [3]). К числу приоритетных направлений работ в рамках проекта ZOTTO относятся исследования роли климатически значимых антропогенных и биогенных источников в региональном атмосферном балансе химически активных и парниковых газов.

Составной частью наблюдений в ZOTTO являются измерения приземной концентрации монооксида углерода (CO) и окислов азота (NO_x), ведущиеся с января 2007. Ценность подобных наблюдений определяется исключительно важной ролью данных соединений в атмосферной химии: выбросы CO, наряду с летучими органическими соединениями (ЛОС) и окислами азота (NO_x), являются одним из основных факторов, определяющих окислительные свойства атмосферы и запускающих тропосферные каталитические циклы с образованием и разрушением озона [2].

$$\begin{aligned} & \text{CO} + \text{OH} \ (+\text{O}_2) \rightarrow \text{CO}_2 + \text{HO}_2 \\ & \text{HO}_2 + \text{NO} \rightarrow \text{OH} + \text{NO}_2 \\ & \text{NO}_2 + \text{hv} \rightarrow \text{NO} + \text{O} \\ & \text{O} + \text{O}_2 + \text{M} \rightarrow \text{O}_3 + \text{M} \\ & = > \text{CO} + 2\text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2 + \text{O}_3 \\ & \text{HO}_2 + \text{O}_3 \rightarrow \text{OH} + 2\text{O}_2 \\ & = > \text{CO} + \text{O}_3 \rightarrow \text{CO}_2 + 2\text{O}_2 \end{aligned}$$

Задачей данного исследования являлось проведение более подробных количественных оценок влияния отдельных факторов, определяющих сезонные вариации приземного содержания ${\rm CO}$ и ${\rm NO}_{\rm x}$ в районе станции и их роль в региональном балансе озона. Количественная оценка антропогенного и биогенного влияния проведена с использованием глобальной химико-транспортной модели Geos-Chem с учётом всех основных источников и стоков данных соединений.

2. МЕТОДОЛОГИЯ

2.1 Модель Geos-Chem

Оценка вклада дальнего переноса в наблюдаемую сезонную изменчивость СО на станции выполнена на основе трехмерной глобальной химико-транспортной модели GEOS-Chem (версия 9-01-03, общее описание дано в [1], сайт поддержки http://acmg.seas.harvard.edu/geos/). GEOS-Chem — численная глобальная модель состава атмосферы, учитывающая все основные природные и антропогенные источники и стоки химически активных газов и аэрозолей. Двух- и трехмерные поля метеорологических параметров с временным разрешением 3 или 6 часов берутся из системы GEOS-GMAO (Goddard Earth Observing System - NASA Global Modeling Assimilation Office). В данной работе использовалась расчётная сетка $4^{\circ}\times5^{\circ}$, имеющая 47 уровней по вертикали от поверхности Земли до высоты \sim 0,01 мбар (\sim 70 км) с шагом по высоте, плавно увеличивающемся от 130 м в тропосфере до 1,5 км в стратосфере и 8 км в нижней мезосфере. Расчёты химической эволюции проводились в режиме стандартной опции "NO_x-O_x-hydrocarbon-аегоsol" (режим "полной химии" — используются все стандартные химические механизмы) учитывающем 53 трассерных соединения.

2.2 Наблюдения СО на высотной мачте

Высотная мачта ZOTTO (60,80° с.ш., 89,35° в.д., 300 м н.у.м.) расположена на восточной окраине Западно-Сибирской равнины в 30 км к западу от реки Енисей в зоне бореальных лесов в 450 км к северу от Красноярска. Основной тип растительности — хвойные леса со значительными площадями болот. В холодный период года станция оказывается примерно на климатологической границе полярного фронта, которая в теплый период года проходит значительно севернее. Данная особенность оказывается важной с точки зрения дальнего переноса, поскольку район станции, в зависимости от конкретного режима атмосферной циркуляции, находится как под влиянием воздушных масс из северной Атлантики, проходящих над Европейским континентом, так и арктических воздушных масс, приходящих из полярных областей северо-востока Сибири и районов Арктики [3]. Фоновый характер станции определяется её удаленностью от климатически значимых антропогенных источников атмосферного загрязнения, что, вместе с достаточной однородностью экосистем и топографии, позволяет обобщать наблюдения на общирный район центральной Сибири в целом [3, 6].

3. РЕЗУЛЬТАТЫ

В работе использовались данные наблюдений СО за 2007 — 2011 годы. На их основании были рассчитаны сначала часовые, а потом и среднемесячные значения. Было проведено сравнение получившихся среднемесячных значений с данными численного моделирования (Рис. 1).

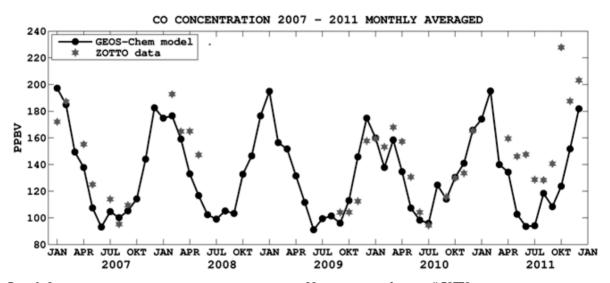


Рис. 1. Сравнение результатов численного моделирования СО с данными наблюдений ZOTTO

На основе рядов данных наблюдений NO_x за период с 15/03/2007 по 31/12/2012 были рассчитаны средние часовые концентрации за весь период наблюдений. При этом из исходного ряда были удалены значения меньше порога обнаружения прибора (0,05 ppbv) и кратковременные (несколько минут) аномальные скачки приземной концентрации NO_x , достигавшие нескольких десятков ppbv при обычных значениях 0,5—1,5 ppbv. После этого были рассчитаны среднемесячные значения и проведено сравнение получившихся данных с результатами численного моделирования (Рис. 2).

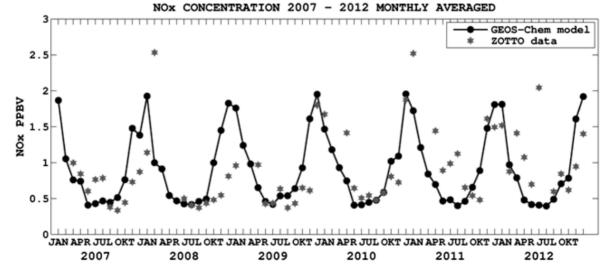


Рис. 2. Сравнение результатов численного моделирования NO₂ с данными наблюдений ZOTTO

Аналогичные манипуляции были проведены с данными наблюдений O_3 за период с 15/03/2007 по 31/12/2012. Итоговый результат представлен на рис. 3.

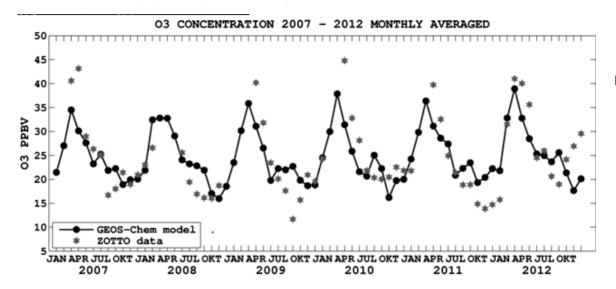


Рис. 3. Сравнение результатов численного моделирования О₃ с данными наблюдений ZOTTO

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При исследованиях вариаций химического состава приземного воздуха значительный интерес представляют эмиссии моноокиси углерода и окислов азота - химически активных соединений, участвующих в ключевых для химии тропосферы реакциях, являясь, таким образом, одним из ключевых факторов, определяющих окислительные свойства атмосферы. В настоящей работе представлено сравнение данных наблюдений и численного моделирования приземной фоновой концентрации ${\rm CO}$, ${\rm NO}_{\rm x}$ и ${\rm O}_3$ в центральной Сибири. Полученные результаты будут использованы в дальнейшем при количественной оценке вклада вариаций ${\rm CO}$ и ${\rm NO}_{\rm x}$ в региональный баланс приземного озона.

Литетартура:

- 1. Bey, I., D. J. Jacob, R. M. Yantosca, J. A. Logan, B. Field, A. M. Fiore, Q. Li, H. Liu, L. J. Mickley, and M. Schultz, Global modeling of tropospheric chemistry with assimilated meteorology: Model description and evaluation, J. Geophys. Res., 106, 23,073-23,096, 2001a.
- 2. Crutzen P. J., M. G. Lawrence and U. Poschl, On the background photochemistry of tropospheric ozone, Tellus (1999), 51A-B, 123–146
- 3. Kozlova, E. A., A. C. Manning, Y. Kisilyakhov, T. Seifert, and M. Heimann, 2008, Methodology and calibration for continuous measurements of biogeochemical trace gas and O2 concentrations from a 300-m tall tower in central Siberia, Atmos. Meas. Tech. Discuss., 1, 281–330.
- 4. Lavric et al. (2011): A look up at the Zotino Tall Tower Observatory, Meteorol. Techn. Intern., Sept. 2011, pp. 6-10
- 5. Müller, G. et al., 2008, WMO Global Atmosphere Watch (GAW). Strategic Plan: 2008–2015. GAW Report No. 172, World Meteorological Organization.
- 6. Вивчар А.В., Моисеенко К.Б., Шумский Р.А., Скороход А.И. Идентификация антропогенных источников эмиссий окислов азота по расчётам Лагранжевых траекторий и данным наблюдений на высотной мачте в Сибири весной летом 2007 г. Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. 2009. Т.45. No 3. C. 325-336.

Нестабильность угловой скорости вращения Земли и долгопериодные колебания стока реки Белая

Васильев Д. Ю., Михайлов Г.П.

Уфимский государственный авиационный технический университет, Уфа, Россия E-mail: vasilevdy_research@mai.ru

работе исследуется влияние нестабильности угловой скорости вращения Земли на долгопериодные колебания стока, на примере реки Белая (Южный Урал). Базой для анализа послужили среднегодовые расходы воды по трем гидрологическим постам расположенных в створах реки Белая: д.о. Арский Камень (верхнее течение), г. Стерлитамак (среднее течение) и г. Бирск (нижнее течение), период наблюдений составил чуть более 70 лет (1936-2010 гг.). Данные отклонения длительности суток (ОДС) от стандартной (86400 с), были взяты с сайта Международной службы вращения Земли, находящиеся в свободном доступе. Так же в работе были использованы годовые значения чисел дней с циркуляциями W, Е и С по Г.Я. Вангенгейму в I естественном синоптическом районе от 45° з.д. до 95° в.д. – архив ААНИИ.

Используя метод разностно-интегральных кривых (РИК) и процедуру его многократного повторения в рядах данных среднегодовых расходов воды, годовых значений ОДС и чисел дней с циркуляциями соответствующего типа вычислялись отклонения от норма и низкочастотная составляющая. В результате были определены циклы водности реки Белая в створах соответствующих постов и самая низкая частота в колебаниях стока, ОДС и чисел дней с циркуляциями W, E и C.

Оказалось, что годовые аномалии угловой скорости вращения Земли оказывают существенное влияние на характер атмосферной циркуляции, так при увеличении ОДС уменьшается число дней с циркуляцией W и C, в случае уменьшения ОДС растет число дней с циркуляцией E. Фактически Земля, увеличивая угловую скорость своего вращения, придает дополнительный импульс системе океан-атмосфера, при транспортировке тепла и влаги и на европейской территории наступаю многоводные эпохи.

Instability of Earth's angular velocity and long-term fluctuations of the Belaya River discharge

Vasil'ev D.Y., Mikhailov G.P.

Ufa State Aviation Technical University, Ufa, Russia E-mail: vasilevdy_research@mai.ru

limate change is the process that acts on long time scales and is a major factor in Inter-secular or perennial fluctuations in water availability. Reasons causing these changes can be divided into astronomy; for example, solar activity, the angular speed of rotation of the Earth and global such as atmospheric circulation, and ocean currents. The instability of the angular velocity of the rotation of the earth affects the redistribution of solar energy and the changing nature of the heat balance of the atmospheric circulation [1]. The latter is a system of large-scale flows of heat and moisture around the globe [2], and of course, determines the hydrological regime of river basins. With all of that, it is necessary to consider anthropogenic interference with the climate system of the planet.

The paper used data from annual expenditure water gauging stations (GS) located in three cross-sections of the Belaya River, the details of which are presented in Table 1., the annual number of days with values circulations W, E, and C by Wangenheim G.Y. in the natural synoptic region from 45° W to 95° E - Archive AARI [http://www.aari.nw.ru], observations of the angular velocity of the Earth and the deviation from the standard length of the day (86400 s) are available on the International Earth Rotation Service website [http://www.iers. org]. In the analysis of the above series of observations, we employed the method of residual mass curves (RMC), which defines cycle conductivity of the river, using the procedure of repeated recurrence, RMC found the most "low frequency"/the long-term component of the data series in the river flow investigated basin, corner Earth's rotation rate and characteristics of types of atmospheric circulation. It was a joint analysis of observational data from all three sections of the GP Belaya River, so using the RMC, there were identified the following cycle conductivities at the time intervals 1941-1943, 1945-1948, 1957-1959, 1963-1966, 1969-1971, 1974, 1979, 1981, 1983, 1985-1987, 1989-1991, 1993-1995, 1997-2002, 2005, 2007 (abounding phase flow above the norm) and 1936-1940, 1944, 1949-1956, 1960-1962, 1967-1968, 1972 -1973, 1975-1978, 1980, 1982, 1984, 1988, 1992, 1996, 2003-2004, 2008-2010 (with little water phase flow below normal). With access

to the most "low frequency "in the observations of runoff for all three posts, there is an alternation of cycles of water content, the initial decline in 1936-1972, Lifting 1973-2000, Then another decline, for an example, Figure 1 shows the results of the Genetic analysis on Belaya R. - c. Birsk. A similar result was shown in the analysis of the data length of the day deviations (LDD), as in [3], identified long-term fluctuations of atmospheric circulation type W and the LDD are asynchronous in nature, in contrast to type E, where there is a direct connection with the LDD. Temporal dynamics of the anomalies of Earth's angular velocity and the annual number of days with circulations W, E and C are shown in Figure 2. In general, the use of these data was dictated by the geographical location of the test pool and the need for a more in-depth analysis of the impact on the predominant type of long-period variations in runoff.

In conclusion, we note that the annual anomalies of the angular velocity of the rotation of the Earth have a significant impact on the nature of the atmospheric circulation, so an increase in the number of days SLM decreases circulation W and C, and in the case of reducing the number of days SLM growing circulation E. In fact, the Earth is increasing the angular velocity of the rotation, giveing added impetus to the ocean-atmosphere system, in transport of heat and moisture in the European territory and I attack the high-water period. Of course, the idea of the relationship of these fluctuations is not new and has been fully considered in the work of NS Siderenkov [4, 5].

Acknowledgments. We thank leading researcher of SibRRHMI Vinogradova G.M. for useful discussion of research ideas.

Table 1. General characteristics of hydrological stations.

	, ,					
HydrologicalStation	Index	Locaton	Observation period, years	Basin area, km²	Mean annual runoff, m ³ /s	
BelayaRiver – c. Birsk	76295	55°20°N 55°30°E		121000	837	
BelayaRiver- c.Sterlitamak	76284	53°40°N 56°00°E	1936-2010	21000	121	
BelayaRiver- v. Arsky Kamen	76275	53°52°N 58°16°E		2300	14	

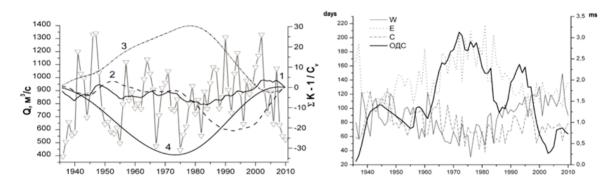


Fig. 1. Average value of runoff HS Belaya River - c. Birsk. Numbers 1, 2, 3 and 4 are designated RMC corresponding orders.

Fig. 2. The time course of the annual number of days with the appropriate type of circulation (left scale), and annual anomalies Earth's angular velocity (right scale).

References:

- 1. Sidorenkov N.S. The Interaction between Earth's Rotation and Geophysical Processes. Weinheim: Wiley. 2009. 305 p.
- 2. Gray L.J., Beer J., Geller M., Haigh J. D., Lockwood M., Matthes K., Cubasch U., Fleitmann D., Harrison G., Hood L., Luterbacher J., Meehl G. A., Shindell D., van Geel B., and White W. // Rev. Geophys. 2010. V. 48. RG4001. doi:10.1029/2009RG000282.
- 3. VinogradovaG.M., ZavalishinN.N. // Russian meteorology and hydrology. 2011. V. 36.№ 11. P. 731-736.doi: 10.3103/S1068373911110045.
- 4. Ivashchenko N.N., Sidorenkov N.S., Sonechkin D.M. // Doklady Earth Sciences. 2006. V. 409. № 5. P. 801-804.doi: 10.1134/S1028334X0605028X.
- 5. Sidorenkov N.S. // Priroda. 2008. № 2. p. 23-31.

Monitoring of changes of the air temperature in the ridge and hollow landscapes

¹Vasilenko O.V., ²Voropay N.N.

¹ V.B. Sochava Institute of Geography SB RAS, Irkutsk, Russia

² Institute of Monitoring of Climatic and Ecological Systems SB RAS, Tomsk, Russia

E-mail: oksa_na85@mail.ru,voropay_nn@mail.ru

onitoring of air temperature at Tunkinskaya and Mondinskaya hollows is a part of integrated geographical studies of the Institute of Geography of the Russian Academy of Sciences (Irkutsk). Year-round observations of air temperatures are carried out with using of electronic temperature sensors (Thermochron I-Button DS1922L-F5, Dallas Semiconductors, USA). Sensors were mounted at 35 observation sites located at different altitude a.s.l. Each site has a specific landscape characteristics. 23 model sites are located in the Tunkinskaya hollow at altitudes from 718 to 2119 m a.s.l., 12 sites – in the Mondinskaya hollow at altitudes from 1274 to 2325 m a.s.l. The air temperature was recorded each 3 hours synchronously with standard measurements at weather stations. In this paper we study the inversion of air temperature on the mountain slopes of different exposures over a period from 2009 to 2013. The temperature gradient was determined as the difference between the air temperatures in the same time at different altitudes related to altitudes difference. There is an inversion when temperature gradient is negative.

Seven sites are located on the southern slope of the Tunkinskaya hollow (Tunkinskie bald mountains) at altitudes from 863 m to 1968 m a.s.l. The maximum temperature gradient (-13 °C/100 m) observed in the lower layer (863-946 m). The maximal duration of continuous inversion is 8.5 days. Maximal gradient and duration were observed in the cold season.

Five sites are located on the northern slope of the Tunkinskaya hollow (Khamar-Daban ridge). Altitude range of sites is 818-1405 m a.s.l. In contrast to the south slope temperature gradients at the northern slope reaches a maximum in the warm season. The maximum gradient is -5 °C/100 m (July) at altitudes from 980 to 1070 m. Maximal duration (7.5 days) of continuous inversion occur in spring.

Seven sites are located at altitudes from 1274 to 2325 m a.s.l. on the southern slope of the Mondinskaya hollow. The maximal duration of inversion (5 days), the maximum temperature gradient (-7° C/100 m) were observed in winter.

Five sites are located at altitudes from 1274 to 1996 m a.s.l. on the northern slope of the Mondinskaya hollow. The temperature gradient was several times smaller than the gradient at the southern slope. The maximum gradient was in winter. It was equal to 2.5 °C/100 m. Inversion duration was less then one day.

The obtained results demonstrated features of the distribution of temperature in a mountain-hollow land-scape. It can be extrapolated to a vast area and modeling of regional climate peculiarities. This is actual, due to difficulties with organization of long-term observations in remote areas.

Мониторинг изменения температурного режима горно-котловинных ландшафтов

¹Василенко О.В., ²Воропай Н.Н.

1 Институт географии им. В.Б.Сочавы СО РАН, Иркутск, Россия

² Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, Томск, Россия

E-mail: oksa_na85@mail.ru, voropay_nn@mail.ru

орные регионы юга Сибири отличаются высокой концентрацией разнообразных природных ресурсов на сравнительно небольшой территории, привлекая своими особенностями большое количество исследователей. На данный момент изучение климата горных районов затруднено некоторыми обстоятельствами. Многие горные области отдалены от основных центров человеческой деятельности, то есть являются труднодоступными, что обусловливает проблемы установки и обслуживания метеорологических станций. Природа горной территории порождает такое множество местных условий, что любая станция будет репрезентативной только для ограниченной площади. Метеорологические станции обычно располагаются на открытых местах, удаленных от зданий и других препятствий, оказывающих влияние на воздушный поток. При установке метеостанций в горных условиях приходится учитывать некоторые особенности местного рельефа, такие как, вершина, склон и днище долины. Кроме того на измерение климатических параметров оказывают влияние ориентация склона, угол его наклона, топографическая закрытость территории, а также неровности местности малого масштаба.

В настоящее время наиболее эффективным способом изучения горных территорий являются полевые исследования. Но и они не могут дать полного объема данных о микроклиматических особенностях горных районов, так как являются эпизодическими и ограниченными полевым сезоном.

В рамках комплексных работ Института географии им. В.Б.Сочавы СО РАН на территории котловин юго-западного Прибайкалья в 2007 г. организован мониторинг температурного режима. Наблюдения за температурой воздуха, проводятся круглогодично с помощью программируемых электронных датчиков – термохрон (DS1922L-F5). Температура воздуха фиксируется каждые 3 часа, синхронно со стандартными измерениями на метеостанциях. Датчики установлены на модельных площадках, расположенных на разных высотах и имеющих индивидуальные ландшафтные характеристики. Всего на территории выделено 35 площадок: 23 расположены в Тункинской котловине в интервале высот от 718 м до 2119 м, 12 - в Мондинской в интервале высот от 1274 м до 2325 м. Площадки расположены таким образом, что можно наблюдать изменение температуры воздуха по всему профилю котловин, охватывая северный и южный склоны, а также днище.

Распределению температуры воздуха в горно-котловинных ландшафтах присущи некоторые особенности, в частности инверсия, когда градиент температуры воздуха имеет отрицательное значение (температура воздуха повышается с высотой).

В данной работе нами рассматриваются инверсии температуры воздуха на склонах разной экспозиции в Тункинской и Мондинской котловинах. Использованы срочные данные за период с 2009 по 2013 гг. Градиент температуры определялся как разность температуры воздуха в одинаковые сроки на разных высотах, отнесенная к разности высот.

На южном макросклоне Тункинской котловины (Тункинские гольцы), расположено 7 модельных площадок в интервале высот от 863 м до 1968 м над уровнем моря (табл.1). Инверсии отмечаются по всей протяженности исследуемого склона и наблюдаются в течение всего года, достигая максимальных характеристик (вертикальный градиент -13 °C/100 м, продолжительность 8,5 суток) в холодное время года, в ночные часы. Также на зимний период приходятся максимальные показатели продолжительности инверсии. В слое от 946 до 1071 м над уровнем моря отмечаются непрерывные инверсии от 2 до 8,5 суток.

Таблица 1. Расположение площадок исследования

	Тункинская котловина											
Площадка	T2	T7	Т8	T 11	T 4	T10	Т9	T 26	T 15	T 14	T 13	T27
Экспозиция	Ю	Ю	Ю	Ю	Ю	Ю	Ю	С	С	С	С	C
Высота, м	863	946	1210	1071	1418	1735	1968	818	980	1070	1192	1405
	Мондинская котловина											
Площадка	M12	M10	M5	M4	M3	M2	M 1	M8	M 7	M 9	M 6	
Экспозиция	днище	Ю	Ю	Ю	Ю	Ю	Ю	C	C	C	C	
Высота, м	1274	1380	1695	1941	2105	2167	2325	1627	1887	1403	1996	

Чем выше исследуемый слой, тем меньше повторяемость случаев инверсии. С высотой суточный максимум температурного градиента смещается с утреннего на вечерне-ночное время.

На склоне северной экспозиции Тункинской котловины (хр. Хамар-Дабан) расположено 5 ключевых участков. Здесь также наблюдается увеличение температуры воздуха с высотой по всему исследуемому склону (датчики установлены в интервале высот 818-1405 м над уровнем моря). До высоты 1070 м над уровнем моря инверсии наблюдаются в утренне-дневное время суток (6:00–12:00) и имеют максимальный температурный градиент от -5 °C/100 м (июль) до -1,5 °C/100 м (январь). В отличие от склона южной ориентации, здесь градиенты достигают максимальных величин в теплое время года. Далее по склону, до высоты 1192 м отрицательный градиент отмечается в вечерне-ночное время суток (18:00–03:00), максимальное значение в теплый период года (-3 °C/100 м, июнь) минимум приходится на декабрь (-0,6 °C/100 м). Максимальные значения непрерывной инверсии на склоне северной экспозиции отмечаются в весенний период (до 7,5 суток).

Мондинская впадина — наиболее высокорасположенная и компактная, замыкает на западе Тункинскую ветвь котловин. По природным условиям она резко отличается от остальных. Но, не смотря на это, температурные инверсии здесь также явление повседневное и наблюдаются в течение всего года. На склоне южной экспозиции Мондинской котловины 7 модельных площадок, расположенных в интервале высот от 1274 м до 2325 м над уровнем моря. Инверсии здесь отмечаются с начальной точки наблюдения и по всему склону. Максимальная продолжительность (5 суток), максимальный температурный градиент (-7 °С/100 м), как и в Тункинской котловине, в холодный период года. Кроме того здесь наблюдаются те же закономерности роста температурного градиента с высотой.

Инверсионные процессы на северном склоне Мондинской котловины повторяют те же особенности распределения, что и на южном склоне. Но характеристики температурной инверсии на склонах

разной экспозиции Мондинской котловины имеют значительные количественные отличия. Так температурный градиент северном склоне в несколько раз меньше по сравнению со значениями градиента на склоне южной экспозиции. Максимальный градиент приходится на холодный период года и равен -2,5 °C/100 м. Также отличаются значения продолжительности инверсий. На склоне северной ориентации непрерывные инверсии наблюдаются не более суток.

Выше описано распределение инверсий температуры воздуха, их статистические характеристики на основе анализа срочных данных. Если же температуру воздуха усреднить до средних суточных, а тем более средних месячных значений, то картина будет более сглаженная. Так на склоне южной экспозиции Тункинской котловины согласно анализу средних месячных температур инверсии наблюдаются лишь до отметки 1200 м. Температурный градиент при этом не превышает -1,5 °C/100 м.

Для иллюстрации вышесказанного нами были выбраны сутки за холодный и теплый период года с наибольшим температурным градиентам. В данном случае это 30 января и 26 августа. На рисунке 1 наглядно видно как при последовательном сглаживании (осреднении) данных сглаживается ход температуры и соответственно высотного градиента.

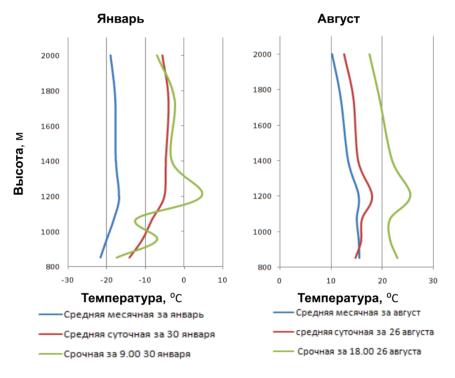


Рис.1

Таким образом, использование электронных датчиков на территории Юго-Западного Прибайкалья, позволило провести оценку температурного режима по данным срочных круглогодичных наблюдений. Полученные результаты дают представления об особенностях распределения температуры воздуха в горно-котловинных ландшафтах. Они могут быть использованы для экстраполяции точечных данных на обширную территорию и моделирования особенностей регионального климата, что имеет актуальное значение при невозможности проводить многолетние наблюдения в труднодоступных районах.

Spatiotemporal characteristics of extremely wet and drought episodes in Russian Federation

Utkuzova D.N., Khan V.M.

Hydrometeorological Centre of Russian Federation, Moscow, Russia E-mail: trini_di@mail.ru

ue to observed regional and global climate changes it is necessary to make further researches to overvalue the results of dynamic influence of large-scale circular processes on environment. Taking into consideration developed methods of analysis and interpretation and climatic data, statistical conclusions made earlier should be renovated and reconsidered with getting of new information and new technolo-

gies. Because of climate changing, we are interested in appreciation of hazards frequency and length, including drought and wetness.

The task of making quantitative and qualitative synoptical-statistical analysis of hazards is still actual. The changes of some separate units of hydrological cycle are considered to be consequences of climate changing. That is why the periods of droughts in some regions change and in future they are expected to be controversial. In some articles you can find the information about expected rising frequency of droughts in the world because of global climate changing and as the result of it - precipitation decreasing and evaporation increasing. The most convenient quantitative criteria for scientific and applied usage are droughts and wet specific indices.

In this paper synoptical-statistical characteristic analysis of extremely drought and wet are based on SPI. For the period of making statistical analysis there were calculated different parameters of SPI frequency distribution such as quintile, kurtosis, skewness, median, standard deviation, range, and were made draws of histograms.

The quantitative analysis of statistical characteristics helped to discover the following peculiarities:

- The tendency to left-sided asymmetry, and as the result predominance of wet situations over dry ones;
- During the last years of the period from 1966 to 2010 in summer there is a tendency to hazards range increasing;
- For the drought [-2 -1.5] is the most "severe drought" according to index terms. There is much drought in the southern, western, European north, southern Syberia, Primorsky Krai, Habarovsky region. There are fewer droughts in the northern regions. Hazard spreads on the territory and till the end of summer and it can occupy the whole territory of Russian Federation.
- For the cases of wetness [1.5 2] is the most "severe wet" according to index terms. Nearly all the territory is under mighty wetness is northern part of country comparing with drought. The most wet month is June, and the less is July;
- For the European territory of Russia the drought is less in June and August, and increasing of it in July. And it is vice versa for wetness. The statistical significance coefficient is not significant (95% of significant);
- For the Asian territory of Russia the drought increases and wet decreases, and in calculations the statistical significance coefficient is significant only in June (95%).

Пространственно-временные характеристики эпизодов экстремальной засушливости и увлажненности на территории РФ

Уткузова Д.Н., Хан В.М.

Гидрометцентр РФ, Москва, Россия E-mail: trini di@mail.ru

Всязи с наблюдаемыми изменениями регионального и глобального климата, необходимо проводить дальнейшие исследования по переоценкам последствий влияния динамики крупномасштабных циркуляционных процессов на окружающую среду. Статистические выводы, сделанные ранее, должны обновляться и пересматриваться при появлении новой информации с учетом усовершенствованных методик анализа и интерпретации климатических данных. На фоне меняющегося климата, повышенный интерес вызывают оценки по частоте и продолжительности экстремальных явлений, в том числе по засушливости и увлажнению. Задача проведения качественного и количественного синоптико-статистического анализа экстремальных явлений остается весьма актуальной. Изменения режима отдельных звеньев гидрологического цикла рассматриваются как следствие изменения климата. По этой причине периоды засушливости в отдельных регионах меняются, и ожидается, что в будущем засушливость будет проявляться не однозначно [1]. Например, в статье [2] говорится об ожидаемом росте частоты возникновения засушливых явлений в глобальных масштабах вследствие уменьшения выпадения осадков и увеличения испаряемости в связи с глобальным изменением климата.

Наиболее удобные количественные показатели, характеризующие степень засушливости, являются специализированные индексы, разработанные для научного и прикладного использования. В большинстве своем, индексы засушливости есть фактическая мера отклонения метеорологических величин от их среднего распределения для той или иной территории. В России, наиболее популярными являются: индекс Д.А. Педя [3], Гидротермический коэффициент Селянинова (ГТК) [3], коэффициент увлажненности

Н.Н. Иванова [3]. В прогностических центрах мира широко применяемыми являются индекс Палмера (PDSI) [4] и набирающий все большую популярность индекс стандартизированных осадков (SPI) [4].

В данной работе синоптико-статистический анализ характеристик экстремальной засушливости и избыточного увлажнения осуществлялся с использованием индекса SPI [5].

Для расчета индекса SPI использовались месячные суммы осадков за летний период с 1966 по 2010 гг., по 500 станциям расположенных на территории России. Архив получен из ВНИГМИ-МЦД. Для расчета и визуализации индекса SPI были разработаны коды в пакете прикладных программ MATLAB. Так как циркуляционные особенности для территории РФ не одинаковые, в некоторых случаях, было решено вести расчеты и проводить анализ для ETP и ATP по отдельности.

Проведенный расчет и дальнейшая визуализация индекса позволили выявить случаи с наибольшим территориальным охватом засухой или увлажнением (то есть индекс больше -2 для засухи и +2 для увлажнения) [6], с которыми впоследствии продолжилась дальнейшая работа.

Также для определения наибольшего пространственного охвата явлением был введен условный показатель под рабочим названием «площадная характеристика». Графики временной изменчивости экстремальной засухи и чрезмерного увлажнения позволили также выделить отдельные наиболее яркие эпизоды.

В ходе проведения статистического анализа были рассчитаны различные параметры частотного распределения индексов SPI такие квантиль, эксцесс, асимметрия, медиана, СКО, размах и построены гистограммы. Анализ количественных оценок статистических характеристик позволил выявить следующие особенности:

- Тенденция к левосторонней асимметрии, и как следствие преобладание увлажненных ситуаций над засушливыми. Однако при уровне значимости 95%, коэффициент Стьюдента статистически не значим;
- В последние годы имеется тенденция к увеличению амплитуды экстремальных явлений, причем для территории ATP, экстремальные явления в последние годы проявляются интенсивнее в июне.

Характеристикой пространственного распределения «хвостов» экстремальных явлений стал 95% процентиль, значения которого были нанесены на карту для летних месяцев для засушливости и увлажненности по отдельности.



Рис. 1 Пространственное распределение 95% процентиля засушливости по территории РФ. (фиолетовые маркеры – умеренная засуха, желтые – сильная засуха, зеленые – экстремальная засуха, градация использована в терминах индекса SPI)

Опираясь на рисунок 1 можно говорить, что в целом наиболее подверженными засушливым условиям являются южные, западные районы, европейский север, юг Сибири, Приморье, Хабаровский край; наименее подверженными являются северные области. Явление достаточно интересно распространяется по территории с течением времени, так в июне «экстремальная засушливость» (градация в терминах индекса SPI [4]) сконцентрирована преимущественно в юго-западных областях, в июле явлением охвачен весь юг, плюс Мурманская область, юг Дальнего Востока, а в августе «экстремальная засушливость» распространена почти по всей территории страны.



Рис. 2 Пространственное распределение 95% процентиля увлажненности по территории РФ. (фиолетовые маркеры – умеренная увлажненность, желтые – сильная увлажненность, зеленые – экстремальная увлажненность)

Для увлажненности, наиболее распространенным диапазоном хвостов также является градация «сильная» (рисунок 2). Наряду с этим, отмечается значительное количество случаев в диапазоне «умеренная» увлажненность. В диапазоне «экстремальная» увлажненность отмечаются единичные случаи. Однако, в сравнении с засухой, значительная увлажненность затрагивает почти всю территорию страны, к тому же охватывает больше северных регионов, а именно Якутию, Чукотку и Красноярский край. При этом наиболее увлажненным месяцем является июнь, а наименее увлажненным – июль.

Статистический анализ засушливости/увлажненности был дополнен графиками характеризующими долгопериодные тенденции изменений распространения засушливости и увлажненности для ЕТР и АТР по отдельности за каждый летний месяц. Таким образом, для ЕТР отмечается уменьшение засушливости в июне и в августе, и рост явления в июле. Для увлажнения результаты прямо противоположные, рост увлажнения в июне и в августе и уменьшение увлажнения в июле. При этом коэффициент линейного тренда для обоих явлений имеет наибольшее значение в июле. Но стоит отметить, что ни в один месяц статистическая значимость коэффициентов не подтверждается (при 95% уровне значимости).

Для ATP наблюдается увеличение засушливости и уменьшение увлажненности в каждый из летних месяцев. Более того, коэффициент Стьюдента значим только в июле, в остальные месяцы значимость не подтверждается, но значения коэффициента достаточно высоки.

Подводя итог вышеописанному, можно сделать следующие выводы:

- За летние месяцы с 1966 по 2010 гг. было выявлено, что в последние годы происходит преобладание увлажненных ситуаций над засушливыми;
- В последние годы имеется тенденция к увеличению амплитуды экстремальных явлений обеих градаций;
- Наиболее характерная градация засушливости соответствует диапазону [-2 -1,5], что в терминах индекса означает «сильная засушливость» [4]. Подвержены засушливым условиям южные, западные районы, европейский север, юг Сибири, Приморье, Хабаровский край; наименее подвержены северные области. Явление распространяется по территории с течением времени, и к концу лета может занимать почти всю территорию РФ;
- Для случаев повышенной увлажненности наиболее характерный диапазон SPI соответствует [1.5 2], что в терминах индекса означает «сильная увлажненность». Почти вся территория подвержена значительному увлажнению, в сравнении с засухой охвачено больше северных регионов. Наиболее увлажненным месяцем является июнь, а наименее увлажненным июль.
- Для ЕТР отмечается уменьшение засушливости в июне и в августе, и рост явления в июле. Для увлажнения наоборот. Коэффициент Стьюдента статистически не значим.
- Для АТР наблюдается увеличение засушливости и уменьшение увлажненности, при этом, коэффициент Стьюдента значим только в июле, в остальные месяцы значимость не подтверждается, но значения коэффициента достаточно высоки.

Литература:

- 1. Сиротенко О. Д., Клещенко А. Д., Павлова В. Н., Абашина Е. В., Семендяев А. К. Мониторинг изменений климата и оценка последствий глобального потепления для сельского хозяйства // Агрофизика. 2011., № 3. C. 31-39.
- 2. Justin Sheffield, Eric F. Wood & Michael L. Roderick Little change in global drought over the past 60 years // Nature. —2012 Vol. 491. P. 435-438.
- 3. Педь Д.А. О показателе влажности и избыточного увлажнения// Труды Гидрометцентра СССР. — 1975г., № 156. — С. 19-38.
- 4. Benjamin Lloyd-Hughes, Mark A. Saunders A drought climatology for Europe// International Journal of Climatology. 2002— Vol. 22. P. 1571–1592.
- 5. Nathaniel B. Guttman Accepting the standardized precipitation index: a calculation algorithm// Journal of the American Water Resources Association. -1999. Vol. 35, No. 2. P. 311-322.
- 6. Standardized Precipitation Index //User Guide, WMO. 2012— Vol. 1090. P. 18.
- 7. D.S. Wilks, edited by R. Dmowska, D. Hartmann, and H. Th. Rossby Statistical Methods in the Atmospheric Sciences // Department of Earth and Atmospheric Sciences Cornell University, second edition, 2006. P. 649.

Research of the dynamics of thermocarst lakes located in the central part of Chuya Basin

Korf E.D.

Institute of Monitoring of Climatic and Ecological Systems, Tomsk, Russia E-mail: korf-kat@mail.ru

hermocarst is a process of uneven subsidence caused by melting of subsurface ice. This process occurs in the widespread permafrost zone. Thus, the hollows are formed that often filled with water. Thermocarst lakes can form on flat area, where surface runoff is difficult. Also, necessary condition for the development of thermokarst is high ice content of rocks. If seasonal or long-term thaw depth more than depth of permafrost, the thermokarst will develop.

Chuya Basin is situated on the South-East Altay. Chuya Basin is the biggest Altay depression. Chuya Basin is a widespread permafrost zone, so there are many cryogenic landforms on the territory of Chuya Basin. There are talic layers in the rocks of Chuya Basin, so the permafrost is interrupted.

The aim of this work: to research the dynamics of thermocarst lakes located in the central part of Chuya Basin.

We researched thermocarst lakes in the central part of Chuya Basin. Thermocarst lakes usually have small size and elliptical shape. The square of the area where the lakes were studied is 135 km². Lakes are located at altitude from 1737 to 1850 m. The square of the lake water area is an index of dynamics of the lake. The method of the research is analyzing of satellite images dated in different years. We used satellite images dated in 1968 and 2013 years.

Geocorrection and referencing of material was made in software package MICRODEM/TERRABASE V12.0. Software package Global Mapper v12.00 was used for images binding to the geographic coordinate system.

Main interpretation evidences of lake are following: smooth tone, specific monotone or image structure, oval form of the lakes.

The total square of 75 mapped lakes dated in 1968 is 6.27 km², however, total square of mapped lakes dated in 2013 is 4.47 km². Thus, total square of thermocarst lakes of central part of Chuya Basin has decreased by 28.7%, but the number of thermocarst lakes has increased. So, there was mapped 94 thermocarst lakes in the image dated in 2013.

The main reason of decreasing of total square of lake water area is climate warming. According to data of Kosh-Agach weather station, average winter temperature has increased, but the total precipitation has decreased. According to, soil temperature increases too, so the depth of seasonal thawing enlarges. Thus, strength of permafrost decreases, therefore square of lake water area diminishes.

There is dependence between warming and cryogenic processes. Dynamics of thermocarst lakes of Chuya Basin shows the links between these processes.

Исследование динамики термокарстовых озер центральной части Чуйской котловины

Корф Е.Д.

Институт мониторинга климатических и экологических систем, Томск, Россия E-mail: korf-kat@mail.ru

ермокарст – процесс неравномерного проседания почв всдествие вытаивания подземного льда, образуется на территории с распространением вечной мерзлоты – в криолитозоне [3]. Таким образом, образуются котловины, которые, как правило, заполнены водой. Термокарстовые озера образуются только на равнинной территории, на которой сток поверхностных вод затруднен. Также, необходимым условием развития термокарста является высокая льдистость пород, которая превышает их влагоемкость. Когда глубина сезонного или многолетнего оттаивания пород превышает глубину залегания вечной мерзлоты, происходит развитие термокарста. Кроме того, для развития озерных ландшафтов необходимо отсутствие благоприятных условий для дренажа и выноса рыхлого материала.

Чуйская котловина расположена на территории Юго-Восточного Алтая и является территорией распространения вечной мерзлоты. Рельеф Чуйской впадины представлен блюдцевидной полого-вдав-

ленной равниной, разделенной ручьями и реками на водораздельные холмы с наличием озерных понижений. Чуйская котловина – самая большая депрессия Алтая.

Климат Чуйской котловины является экстремально-аридным, резко-континентальным и характеризуется малым количеством осадков и низкими температурами, по многим показателям климат Чуйской степи похож на экстраконтинентальный климат пустынно-степных котловин, расположенных в Северо-Западной Монголии.

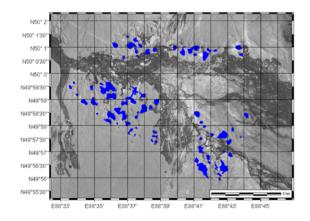
Чуйская впадина практически полностью перекрыта многолетнемерзлыми породами, соответственно криогенные формы рельефа широко распространены на территории котловины [1]. Сплошность многолетнемерзлых пород Чуйской впадины нарушается таликами. Вдоль долины Чуи расположены узкие вытянутые, как правило, сквозные талики. Существует талик у южного обрамления впадины в полосе, примыкающей к моренному валу, перекрывающему выход р. Тархаты в Чуйскую впадину. Крупные талики на северо-востоке Чуйской впадины связаны с повышенной промытостью залегающих здесь на поверхности гравийно-галечных пород, иногда прикрытых слоем карбонатных суглинков мощностью до 2 м, и поступлением сюда постоянных водотоков по долинам мелких, но бурных рек.

Нами, были исследованы термокарстовые озера центральной части Чуйской степи. Площадь исследуемой территории 135 км². Озера на данном участке располагаются на высоте от 1737 до 1850 м. Озерам свойственны небольшие размеры, тождественные морфологические показатели, эллипсовидная форма. Показатель исследования динамики термокарстовых озер – площадь их акватории, метод определения площади акватории термокарстовых озер – анализ разновременных космических снимков за 1968 и 2013 годы [4, 5].

Геокоррекция и реферирование материалов осуществлялось в среде ГИС-пакета MICRODEM/ TERRABASE V12.0. Привязка снимков к географической системе координат была выполнена в программном пакете Global Mapper v12.00. Привязка производилась по характерным точкам, за которые принимались пересечения ландшафтных контуров, мысы скальных пород, устья притоков, характерные изгибы русел и прочие объекты, отображенные на космических снимках. Количество жестких точек было не менее семи.

Распознавание открытых водных поверхностей на материалах космических. Главными дешифровочными признаками поверхностных вод являлись: ровный фототон и специфическая монотонная или выразительная структура изображения воды; извилистость непрерывно линейно вытянутого рисунка рек; овальная форма озер и приуроченность водотоков и водоемов к пониженным элементам рельефа. Озера дешифрировались, когда становилась различимой их форма. При большом скоплении озер удавалось опознать даже очень мелкие из них, которые изображаются на снимке в виде небольших точек.

Суммарная площадь 75 закартированных озер за 1968 год составляет 6,27 км² (рис.1), однако, за 2013 год суммарная площадь озер составляет 4,47 км² (рис.2). Таким образом, суммарная площадь термокарстовых озер центральной части Чуйской степи за 45 лет уменьшилась на 28,7 %, при этом отмечено как исчезновение некоторых небольших озер, так и образование новых озер и увеличение их общего количества. Так, на снимке за 2013 год дешифрировано 94 озера.



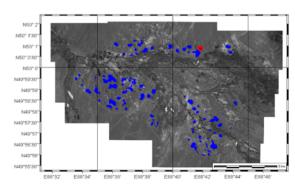


Рис 1. Исследуемые озера на снимке 1968 года

Рис. 2 Исследуемые озера на снимке 2013 года

Основная причина уменьшения суммарной площади термокарстовых озер в центральной части Чуйской котловины это потепление климата.

По данным Кош-Агачской метеостанции средняя температура в зимний период года за последние 40 лет выше средней многолетней на 3,3 °C, при этом общее количество осадков уменьшается. Отклонения средней сезонной температуры от средней многолетней положительны во все годы последнего десятилетия, но колеблется от 0,7 до 4,1°C [8]. В тоже время общее годовое количество осадков уменьшилось на 11 мм в среднем, при этом в июле количество осадков обычно превышает норму, а в зимние месяцы осадки нередко отсутствуют. Потепление климата способствует увеличению температуры по-

чвы и увеличению сезонного оттаивания. По данным [3], температура поверхности почвы, а также температура почвы на глубине 20–160 см и на глубине 320 см не имеет отрицательных трендов. В связи с этим, уменьшается прочность многолетнемерзлых пород, что и приводит к уменьшению площадей термокарстовых озер или к их полному исчезновению.

Другая возможная причина уменьшения озер, согласно исследованиям [7], это сейсмогенные факторы. Чуйское землетрясение, произошедшее в 2003 году, могло повлиять на режим подземных вод, и способствовать разжижению грунтов с массовыми извержениями водонасыщенных масс и воды. При прохождение сейсмических волн деформируются породы, увеличивается их проницаемость и фильтрационные свойства [6].

Повышение температур воздуха приводит к существенным изменениям температурного режима сезонно- и многолетнемерзлых пород, что в свою очередь приводит к активизации криогенных процессов. Это находит отражение в динамике термокарстовых озер, что и прослежено на примере термокарстовых озер центральной части Чуйской котловины.

Литература:

- 1. Бородавко П.С. Климатообусловленные изменения термокарстовых ландшафтов в горах Русского Алтая// Сборник материалов V международного научного конгресса ГЕО–Сибирь—2009. Новосибирск, 2009. т. 4. С.174 177.
- 2. Золотов С.Ю., Ипполитов И.И., Логинов С.В., Лучицкая И.О., Белая Н.И. Сравнение данных реанализа NCEP/NCAR профилей температуры почвы с данными измерения сети станций на территории Западной Сибири// Криосфера Земли. Новосибирск, 2011. т. XV. —№2. С. 14 20.
- 3. Конищев В.Н. Реакция вечной мерзлоты на потепление климата// Криосфера земли.— Новосибирск, 2011.-m. XV.-N24. C. 15-16.
- 4. Кравцова В.И. Изучение и картографирование термокарстовых озер на территории Западной Сибири по разновременным космическим снимкам// Динамика окружающей среды и глобальные изменения климата. -2010.-N21. -C.83-85.
- 5. Родионова Т.В. Исследование динамики термокарстовых озер в различных районах криолитозоны России по космическим снимкам – Москва, 2013 – С. 8 – 15.
- 6. Копылова Г.Н. Гидрогеосейсмические эффекты в режиме подземных вод/)// Петропавловск–Камчатский, 2009. [Электронный ресурс]// Режим доступа: http://www.emsd.ru/konf060117lib/pdf/20_kopylova.pdf. Дата обращения: 15.02.2014.
- 7. Копылова Г.Н. Оценка гидрогеологических последствий сильных землетрясений (на примере сейсмоактивных районов России)// Петропавловск—Камчатский, 2007. [Электронный ресурс]// Режим доступа: http://www.emsd.ru/konf091011/pdf/largesteqs/05.pdf. Дата обращения: 15 02 2014
- 8. Сухова М.Г. Региональный аспект потепления климата на примере Алтая// [Электронный ресурс]// Режим доступа: http://e-lib.gasu.ru/vmu/arhive/2007/01/25.pdf. Дата обращения: 10.02.2014.

СЕКЦИЯ 2

Моделирование регионального климата

Председатель В.Н. Крупчатников.

SESSION 2

Regional climate modeling

Chair Vladimir Krupchatnikov.

General Circulation of the Atmosphere and Climate Changes

- ^{1,2,3}Krupchatnikov V., ^{1,3}Martynova Yu., ¹Borovko I.
- ¹ Siberian Regional Hydrometeorological Research Institute, Novosibirsk, Russia
- ² Institute Computational Mathematics and Mathematical Geophysics SB RAS, Novosibirsk, Russia
- ³ Institute of Monitoring Climatic and Ecological Systems SB RAS, Tomsk, Russia

E-mail: vkrupchatnikov@yandex.ru

atmosphere and climate changes It would be especially useful to predict changes associated with global climate change Changes in the location, intensity or seasonality of major climatological features of the general circulation could be more important than average temperature changes, particularly where these changes might affect local hydrology, energy balances. We provide our study using the idealized climatic system model. This model consists of several modules: atmosphere, ocean, land surface module, module of soil, sea ice and biosphere. This report discusses the following topics/

Dynamics of General CurculationAtmosphere and climate. The Hadley Cell (HC) is the prominent tropical circulation feature. It extends through the entire depth of the troposphere from the equator to the subtropics (30° latitude) over both hemispheres. The cell develops in response to intense solar heating in the Inter Tropical Convergence Zone (ITCZ) near the equator.

The poleward of expansion of the tropical circulation (HC). This discussion will focus on the tropical widening phenomenon. We will present some of the mechanisms that have been put forward in the literature to explain the widening. In this report demonstrates that there exists considerable evidence that key-elements of the atmospheric circulation (Hadley Cell, storm tracks) have been moving poleward during the last few decades. Current theories as well as model experiments indicate that greenhouse gas increases and stratospheric ozone depletion is the most likely cause for the trends. However, there are many other aspects of these shifts that are not well understood.

The recent increase in global tropopause heights is closely associated with systematic temperature changes below and above the tropopause. Air temperature increases in the troposphere and decreases in the stratosphere. The pattern of warming

and cooling also affects the zonal wind structure in the region of the subtropical upper troposphere and lower stratosphere (UTLS). At intermediate heights of the UTLS region (12-16 km) the tropics warming and the extratropics cooling lead to increase of meridional temperature gradient and zonal wind speed.

The extratropical circulation is dominated by baroclinic turbulence, which are called eddies. These eddies are the product of baroclinic instability, which develops particularly strongly during winter as a consequence of the pole-to-equator temperature gradient during that season. The the western parts of the Pacific and Atlantic oceans are the preferred locations for the development of storm-tracks. Extratropical tropospheric eddies play a central role in extratropical circulation. The eddies tend to move eastward with the zonal ow and equator-ward toward the subtropics until they approach their critical latitudes, where their phase speed equals the speed of the background zonal flow. The question is whether climate change will significantly affect the location and intensity of midlatitude storm tracks and associated jets. Because of the wave, meanflow interaction in midlatitudes produces low-frequency variations in the latitude of the jets, it can be supposed that a modest climate change might significantly affect the position of jets and their associated storm tracks. The storm tracks are defined as the region of strong baroclinicity (maximum meridional temperature gradient), which are determined on the basis of eddy statistics like eddy uxes of angular momentum, energy, and water (with the use of high band-pass filter). Extratropical eddies are the product of baroclinic instability, which shows itself particularly strongly during winter as a consequence of the pole-to-equator temperature gradient during it. In the Northern Hemisphere, there are two major storms in the region Atlantic and Pacific.

The Role of SST Forcing. Surface temperatures over the tropical oceans undergo changes over time, which have been shown to have important consequences for the global atmospheric circulation. These SST changes are primarily related to the natural ENSO phenomenon and to anthropogenic climate change. ENSO related SST fluctuations are periodic in nature and mainly affect the equatorial Pacific. Besides, global SSTs exhibit significant long-term trends that are associated with anthropogenic climate change. Various studies have demonstrated that the tropics are contracting during the warm phase of ENSO (ElNino), as indicated by equator-ward displacements of the jet, storm track, eddy momentum divergence, and edge of the HC. One way to understand the contraction is the intensification of the thermally driven Hadley circulation as the equatorial SSTs become warmer. The stronger HC leads to a westerly acceleration in its upper, poleward moving branch and thus to a strengthening of the subtropical jet, this moves the critical latitude for extratropical wave propagation equator-ward, allowing the extratropical eddies to penetrate deeper into the tropics than during normal or cold ENSO conditions. As a result, elements of the circulation, including the tropical edge, shift equator-ward.

Sea ice extent. The Northern Hemisphere sea ice cover has decreased in recent years and is projected to continue to decrease in the future. The observed changes can be compared with the global warming projections from atmosphere—ocean general circulation models that were carried out for the Coupled Model Intercomparison Project phase 3 (CMIP3), the results of which were used for the IPCC AR4 (Solomon et al. 2007). GCM projections vary widely in terms of the rate of Arctic sea ice loss. We have discussed here some problems about that

Conclusion. In this report demonstrates that there exists considerable evidence that key-elements of the atmospheric circulation have been moving poleward during the last few decades. Current theories as well as model experiments indicate that greenhouse gas increases and stratospheric ozone depletion is the most likely cause for the trends. However, there are many other aspects of these shifts that are not well understood. We find that sea ice loss is reversible in climate system model over a range of CO₂ concentrations in RCP-8.5 scenario. We find no evidence of possibility sea ice hysteresis between difference states in climate regimes with ice cover.

Acknowledgments. This work is supported by RFBR grants 13-05-00480

Features of Turbulent Transport in Free Atmosphere

- ^{1,2}Kurbatskiy A.F., ³Kurbatskaya L.I.
- ¹ Khristianovich Institute of Theoretical and Applied Mechanics SB RAS, Novosibirsk, Russia
- ² Novosibirsk State University, Novosibirsk, Russia
- ³ Institute of Computational Mathematics and Mathematical Geophysics SB RAS, Novosibirsk, Russia E-mail: albert.kurbat@yandex.ru

iffusion processes in the free atmosphere play an important role in the transport of momentum, heat, and mass on global and regional scales, although the eddy diffusivity there is much smaller than that in the atmospheric boundary layer. In particular, diffusion processes of minor constituents in the upper troposphere and lower stratosphere are essential to global warming, stratospheric ozone depletion, and transboundary air pollution problems because they govern the exchange of mass between the troposphere and stratosphere. In the upper troposphere and lower stratosphere, air is the stably stratified usually, and internal gravity waves induced by boundary layer flow and geography are predominant. Turbulence eddies in these layers are

generated intermittently and sporadically when gravity wave breaking and shear instability occur. These turbulent eddies transport heat and mass, and then they are partly destructed by buoyancy and viscous forces. Thus, turbulent motions and diffusion processes in these layers are complicated and not yet well understood [1].

In this paper applicability of three turbulence models—the three-parameter RANS turbulence scheme [2], including the impact of the gravity waves on the momentum maintenance at the strong stratification [3], the $k-\varepsilon$ model modified for stratified flows, and the algebraic stress model – were examined. The vertical profiles the eddy diffusivities of momentum K_m and heat K_h are estimated, using the Doppler radar observation values of turbulent kinetic energy k and turbulent energy dissipation rate together with atmospheric stability observations from rawinsonde data [1]. It is concluded that the three-parameter RANS turbulence scheme shows the best fit with the direct measurement of K_m [1], even in the free atmosphere above the atmospheric boundary layer once k and ε values are obtained from observations or a model while the two other schemes agree with the observations only qualitatively. The eddy diffusivities of momentum and heat calculated by the three-order RANS turbulence scheme are shown that the K_h/K_m ratio is assumed to be almost equal to one; that is, K_h : K_m in the atmospheric layers of the upper troposphere and lower stratosphere (4-18 km). This is a remarkable contrast to in the outer region of the boundary layer where the K_h/K_m ratio is 0.1–0.02 in such strong stratification conditions [3].

References:

- 1. Ueda Y. et al., J. Atmos. Sci. 2012, Vol. 69, 323-337.
- 2. Kurbatskiy A.F., Kurbatskaya L.I. Meteorology Atmos. Physics (2009), 104, 63-81.
- 3. Kurbatskiy A.F., Kurbatskaya L.I. Izvestia, Atmospheric and Oceanic Physics. 2010. Vol. 46, No.2, 169-177.

Modeling of the Climatic River Runoff for the Siberian Region in the XX and XXI centuries

Kuzin V.I., Lapteva N.A.

Institute of Computational Mathematic and Mathematical Geophysics SB RAS, Novosibirsk, Russia E-mail: kuzin@sscc.ru

limatic model of the river runoff with 1/3 degree resolution is presented in the paper. The model is the linear reservoir model i.e., each cell in the model is the reservoir or the cascade of the reservoirs. The speed of the output from the cell is depended linearly of the input to the cell and the slope of the cell and verse proportional to distance between the cells. The flow is separated to the surface flow, river runoff and ground flow which is determined in accordance with the ground surface model. In the model the influence of the wetland and lakes is included.

Siberian region in the model is divided to twelve watersheds which include Ob— Irtysh, Yenisei, Lena, Kolyma, Amur, Pur, Sambur, Khatanga, Anabar, Olenyok, Yana, Indigirka. Data of the CNRM of the CMIP5 project for the XXI century as well as the ERA40 and MERRA reanalysis for the XX century was used for the numerical modeling of the river runoff for the Siberian rivers. For the comparison the control data of the river discharge in the XX century also was taken from the results of the measurements on the hydrological stations of Ob – Salechard, Yenisei – Igarka and Lena – Kyusur.

Моделирование климатического речного стока для Сибирского региона в XX - XXI веках

Кузин В.И., Лаптева Н.А.

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН, Новосибирск, Россия E-mail: kuzin@sscc.ru

ВВЕДЕНИЕ

Глобальный гидрологический цикл, играет важнейшую роль в определении климатического состояния на Земле. Для климата материков этот цикл имеет первостепенное значение, поскольку это связано с поступлением влаги на их поверхность и регулирует увлажненность почвы. Особый интерес в последнее время уделяется региональным характеристикам гидрологического цикла и, в частности, в

средних широтах. Для океана перенос пресной воды связан с включением ее в механизм глобального "конвеерного пояса". Наряду с анализом изменений гидрологической составляющей климатической системы в XX веке представляет интерес рассмотреть проекцию развития гидрологических характеристик и, в частности, речного стока в XXI веке на основе данных расчетов по моделям проекта СМІР5.

Настоящая статья посвящена рассмотрению отдельных аспектов этой проблемы. В ней обсуждаются результаты расчетов, проведенные по климатической модели речного стока на основе данных результатов модели CNRM (Франция) для XXI века и проводится сравнение с результатами, полученными на основе данных реанализов ERA 40 и MERRA для второй половины XX века.

1. РОЛЬ СИБИРСКИХ РЕК В ГИДРОЛОГИЧЕСКОМ ЦИКЛЕ

Северный Ледовитый океан привносит в Мировой океан 11 процентов объема всей пресной воды около 10 тыс. куб. км в год [1]. Существенным источником поступления пресной воды в верхний слой Северного Ледовитого океана является речной сток. В XX веке основной вклад здесь давали Сибирские реки, которые поставляли около 55% всего объема воды по сравнению с поступлением 40% притока тихоокеанской воды через Берингов пролив и 5% от реки Макензи [2].

В связи с этим, можно отметить, что роль Сибирских рек в формировании климатической системы Земли весьма велика и для адекватного воспроизведения как глобального, так и регионального климата необходима разработка совместной атмосферной и гидрологической региональной климатической модели и, в частности, гидрологии речных бассейнов и речного стока.

2. Климатическая модель речного стока.

Разработанная модель является линейной резервуарной моделью. Модель составлена из линейных резервуаров в ячейках сетки. Это означает, что скорость стока из ячейки линейно зависит от притока и пропорциональна наклону в ячейке и обратно пропорциональна расстоянию между центрами ячеек. Скорость изменения стока из ячейки или каскада ячеек в простейшем варианте модели Калинина-Милюкова [3, 4] определяется на основе последовательного решения обыкновенных дифференциальных уравнений, сведенных к интегралам свертки (Дюамеля).

В конкретной реализации модели поток воды на суше разделяется на три составляющие: поверхностный сток, грунтовый сток, речной сток.

Значения коэффициентов задержки для поверхностного и речного стоков определяются по формулам, зависящим от перепада высот между ячейкам, отнесенного к расстоянию между их центрами. Коэффициент задержки грунтового стока для ячейки принимается постоянным. Каждая элементарная ячейка модели имеет 8 возможных направлений стока в соседние ячейки - четыре покоординатных географических направления: N, E, S, W и четыре диагональных направления: NE, SE, SW, NW, определяемых наклоном рельефа однозначным образом. Рельеф был уточнен на основе дополнительного анализа графов стоков. Ячейки поверхностного и грунтового стока представляются в модели как отдельные резервуары, а ячейки речного стока задаются как каскад резервуаров. Количество каскадов определяется на основе полинома регрессии второго порядка. В каждой ячейке производится учет процентного содержания болот и озер.

3. РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ

При проведении численных экспериментов по климатической модели речного стока использовано разрешение составляющее 1/3 градуса по широте и долготе соответственно. Модель речного стока покрывает Сибирский регион по долготе от Урала до Дальнего Востока и по широте от Северного Казахстана до Северного Ледовитого океана. В модели учитывались бассейны рек: Обь-Иртыш, Пур, Ангара-Енисей, Лена, Индигирка, Колыма, Амур. Для выбранного варианта модели стока необходимо задание следующих входных параметров: осадки, испарение, переходы из жидкой в твердую фазы и обратно, инфильтрация в почву. Был проведен анализ данных по изменению климатических и гидрологических характеристик бассейнов на основе расчетов по модели CNRM проекта CMIP5 за период 2006 – 2100 гг. На их базе были проведены численные расчеты по моделированию межгодовой изменчивости стока Сибирских рек в XXI веке. Результаты сравнивались со стоками полученными ранее для XX века на основе данных реанализов ЕСМWF/ERA40 для периода 1958 – 2001 гг. и GMAO/MERRA для периода 1980 – 2011 гг. Контрольными являлись данные наблюдений на гидрологических постах Обь – Салехард, Енисей – Игарка, Лена – Кюсюр для периода 1936 – 1990 гг.

Результат расчетов среднеклиматического годового стока для XXI века в сравнении с гидрологическими данными на створах и расчетами для XX века (Рис. 1) дает увеличение годового стока, представленного в таблице. Рассчитанные климатические годовые гидрографы, представленные на Рис. 2, имеют достаточное совпадение в фазе для наступления максимальных значений стока. Амплитуда для рек Обь и Лена имеют достаточно хорошее совпадение в отличие от Енисея, для которого амплитуда весеннего паводка выше на 15% (см. таблица). Увеличение годового стока, как можно видеть из рисунков годовых гидрографов происходит за счет увеличения осадков в осенний период.

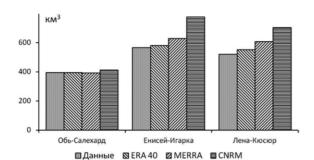


Рис. 1. Среднеклиматический годовой сток.

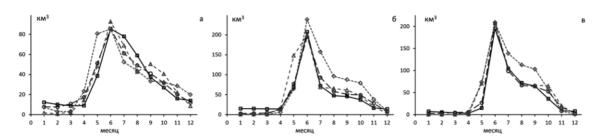


Рис. 2. Рассчитанные климатические годовые гидрографы: а — Обь — Салехард; б — Енисей — Игарка; в — Лена — Кюсюр.

Таблица.

D]	Полный сток, %)	Мах амплитуда, %				
Река	ERA 40	MERRA	CNRM	ERA 40	MERRA	CNRM		
Обь	-0,03	-0,5	4,35	0,09	4,2	-0,25		
Енисей	2,37	11,2	36,87	-6,1	-3,7	15,05		
Лена	5,8	16,5	35,17	6,7	6,4	7,1		

Работа поддержана ИП 109, ИП 69, программой ОМН РАН 1.3.3-6., Президиума РАН 23.3-1. и грантом РФФИ 14-05-00730.

Литература:

- 1. Иванов В.В. Водный баланс и водные ресурсы Арктического региона // Труды ААНИИ. 1976. -Т. 323. с. 4-24.
- 2. Shiklomanov I.A., Shiklomanov A.I., Lamers R.B., Peterson B.J., Vorosmarty C.J. The dynamics of river water inflow to the Arctic Ocean // Proc. NATO Advanced Research Workshop on the Freshwater Budget of the Arctic Ocean. Tallin, Estonia. 2000. P. 281-296.
- 3. Бураков Д.А. К оценке параметров линейных моделей стока // Метеорология и гидрология. 1989. № 10, с. 89-95.
- 4. Кучмент Л.С. Математическое моделирование речного стока. Л.: Гидрометеоиздат, 1972. 190 с.

Numerical simulation of the Arctic Ocean variability

^{1,2}Golubeva E.N., ¹Platov G.A., ¹Yakshina D.F.

E-mail: elen@ommfao.sscc.ru

he ability of the numerical model to simulate the past state of the Arctic sea ice-ocean system and it's variability is very important to identify the key processes in the complex climate system. To achieve this goal, a regional Arctic-North Atlantic coupled ice-ocean general circulation model was developed in the ICMMG SB RAS to be integrated for the period of several decades. It was derived from the ICMMG numerical ocean model and elastic-viscous-plastic ice model-CICE 3.14 (http://climate.lanl.gov/Models/CICE/). The model is driven with daily atmospheric forcing from 1948 to 2012 (CORE2 reanalysis (http://data1.gfdl.noaa.gov/nomads/forms/mom4/COREv2.html).

The numerical experiment based on the coupled ocean-ice model allowed us to reproduce the climate changes in the Arctic Ocean caused by variations in the atmospheric circulation during last decades. The nu-

¹ Institute of Computational Mathematics and Mathematical Geophysics SB RAS, Novosibirsk, Russia

² Novosibirsk State University, Novosibirsk, Russia

merical model reproduces the dramatic summer ice retreat in the Arctic well known from observational data. We present an analysis of Arctic Ocean climatology with a focus on the circulation of waters that originates in the Atlantic and Pacific oceans. The Atlantic and Pacific waters are the main source of heat in the Arctic Ocean. As the recent observations show dramatic changes of the Arctic atmosphere–ice–ocean system, the spatial and temporal variability of these water masses requires serious investigation. Despite a large increase in the observations in the last decades, it is still poorly known about water mass pathways, physical properties of these flows and exchange processes between the boundary currents and the deep ocean regions or the shallow arctic shelves. We simulated the spatiotemporal variability of the Atlantic and Summer Pacific waters which is in agreement with observational data. The numerical model reproduces some warming events in the Northern Seas which, as the warm signals entered the Arctic Ocean through the Barents Sea and the Fram Strait and propagated in the cyclonic sense downstream along Atlantic Water pathway.

Acknowledgments. This study was inspired by FAMOS international project discussions and supported by the RFBR, N213-05-00480,N214-05-00730 and SB RAS, IP N2109

Исследование изменчивости состояния Северного Ледовитого океана на основе численного моделирования

^{1,2}Голубева Е.Н., ¹Платов Г.А., ¹Якшина Д.Ф.

тремительно сокращающаяся в летний период площадь ледового покрова Северного Ледовитого океана (СЛО), таяние многолетней мерзлоты и разрушение берегов Восточно-Сибирского шельфа - процессы, свидетельствующие о том, что в климатической системе Земли происходят значительные изменения. В этих условиях задачи прогноза погоды, оценки состояния Северного морского пути, промышленной разработки нефтегазовых Арктических шельфовых месторождений требуют использования математических моделей, способных восстанавливать толщину и протяженность ледового покрова. За десятилетие работы международной программы сравнения численных моделей СЛО (AOMIP- Arctic Ocean Model Intercomparison Project) достигнут значительный прогресс в моделировании наблюдаемых особенностей состояния вод и морского льда СЛО. Этому способствовали серия координированных экспериментов и последующее использование моделей высокого пространственного разрешения. Несмотря на значительные достижения в математическом моделировании состояния морского льда, восстановление границы его летней протяженности остается нерешенной проблемой. Очевидно, что в летний период положение кромки льда может определяться не только непосредственно процессами в атмосфере, но и состоянием системы течений в поверхностном слое океана. Однако роль океана в процессе сокращения льда до сих пор не изучена. Прежде всего, это является следствием того, что динамика вод СЛО в значительной степени останется неисследованной. Являясь базовым инструментом для проверки научных гипотез, численные модели динамики СЛО требуют тщательного тестирования и верификации результатов с использованием длительных рядов данных наблюдений. Особенности гидрологии Северного Ледовитого океана: бароклинный радиус деформации Россби порядка 3-5 км, особенности стратификации вод, обусловленные распространением пресных речных вод и адвекцией водных масс из Северной Атлантики и Тихого океана, взаимодействие шельфовых и глубинных вод, процессы нарастания и таяния льда, перераспределение его системой меняющихся дрейфовых течений, приводят к тому, что эта область является чрезвычайно сложным объектом для численного моделирования. Суровые климатические условия не позволяют создать обширный банк данных для проверки модельных расчетов. Поэтому, несмотря на повышенный интерес к полярным районам и многочисленные международные программы, направленные на исследование состояния СЛО, в настоящее время отсутствует ясное понимание физических процессов, ответственных за изменчивость термохалинной структуры вод и потоков водных масс в СЛО. Программа FAMOS (http://www.whoi.edu/projects/famos/), являющаяся продолжением программы АОМІР, ставит своей целью использование координированного подхода на основе объединения численного моделирования, теоретических исследований и анализа данных наблюдений для описания климатических процессов, протекающих в Арктике. В центре внимания вопросы устойчивости траектории движения основных потоков атлантических и тихоокеанских вод, поступающих в СЛО, вопросы формирования уникальной стратификации вод моря Бофорта, проблемы воспроизведения летней протяженности льда СЛО и т.д.

¹ Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН, Новосибирск, Россия

² Новосибирский государственный научно-исследовательский университет, Новосибирск, Россия E-mail: elen@ommfao.sscc.ru

Для изучения обозначенных проблем в ИВМиМГ СО РАН используется совместная региональная модель СЛО и Северной Атлантики [1,2] и морского льда СІСЕЗ.14 (http://oceans11.lanl/gov/trac/CICE). Параметризация конвективного перемешивания проводится на основе привлечения дополнительной модели верхнего квазиоднородного слоя океана, реализующей процедуру мгновенного вертикального перемешивания, разработана параметризация конвективного перемешивания в условиях неполного ледового покрова; предложена параметризация процесса переноса аномалий плотной воды вдоль наклонного шельфа, основанная на вытеснении менее плотной воды [3], используется параметризация изопикнической диффузии и вихревого переноса скаляра [4]. Сеточное разрешение 10-25 км в полярных районах и 0.5° в Северной Атлантике. Вертикальное разрешение модели 38 горизонтов.

На основе региональной модели проведены численные эксперименты по воспроизведению климатического состояния системы СЛО - Северная Атлантика в период 1948 - 2012 гг с использованием данных реанализа атмосферы CORE2 (http://data1.gfdl.noaa.gov/nomads/forms/mom4/COREv2.html). Рассмотрены вопросы влияния вариаций атмосферной динамики на изменчивость состояния вод и морского льда. В ходе численного эксперимента модель воспроизводит значительное сокращение толщины льда и протяженности ледового покрова СЛО в последнее десятилетие. Остается проблема пространственного описания летнего распределения ледового покрова.

Основное внимание в анализе изменчивости СЛО обращается на изменчивость циркуляции тихоокеанских и атлантических вод, которые являются одним из основных источников тепла океана. В численном расчете вариации атмосферной динамики существенным образом меняют картину течений в верхнем слое океана, что, прежде всего, сказывается на циркуляции тихоокеанских вод в Канадском бассейне. В течение расчетного периода происходит периодическая смена направления движения вод, в частности, в последние два десятилетия наиболее выражены различия в направлении движения в 1990-х и 2000-х годах. На рис.1 показана концентрация трассера, непрерывно поступающего через Берингов пролив с тихоокеанскими водами.

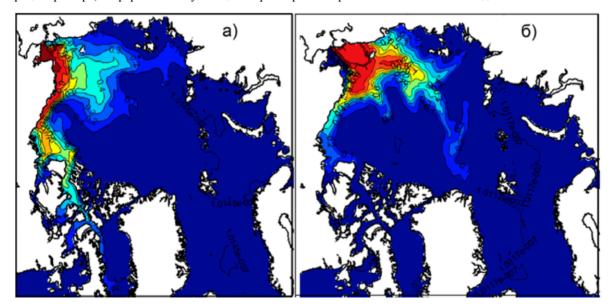
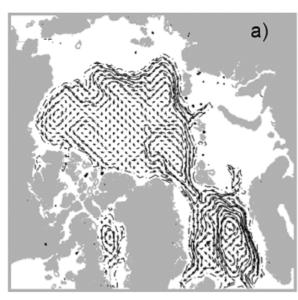


Рис.1. Средняя концентрация трассера, непрерывно поступающего через Берингов пролив в слое 0-50 м: а) период 1989-2001; б) период 2002-2012.

Траектория атлантических вод в СЛО по результатам расчетов также не является устойчивой (рис.2). Модель воспроизводит периоды потепления и охлаждения слоя атлантических вод, известные по данным наблюдений. Более интенсивный поток вод, как правило, следует в циклоническом направлении вдоль материкового склона. Такая картина наиболее характерна для 1990-х годов. При снижении интенсивности потока происходит смещение течения в центральную часть бассейна. Как и в случае тихоокеанских вод, изменчивость особенно проявляется в Канадском бассейне. Установившееся в численной модели в 2005 – 2007 гг. антициклоническое направление движения в атлантическом слое Канадского бассейна не соответствует общепринятой схеме [5], где считается, что циркуляция вод атлантического слоя является циклонической в каждом топографическом суббассейне СЛО. С другой стороны, схема [5] была восстановлена по результатам наблюдений в 1990-х годах. В работе [6] получена изменчивость атлантического слоя, аналогичная нашим результатам и показано, что полученная картина циркуляции соответствует данным наблюдений, собранным в последние годы. Поскольку считается, что движение атлантических вод в СЛО происходит вдоль материкового склона и значительным образом определяется топографическим взаимодействием, то вопрос изменчивости направления движения вод требует дополнительного исследования как на основе численной модели с более подробным разрешением, так и на основе анализа и сравнения с доступными океанографическими данными.



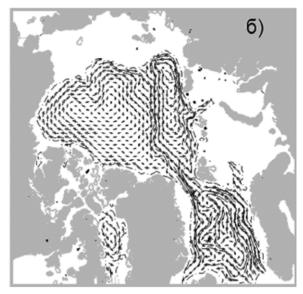


Рис.2. Циркуляция вод на уровне 400 м: a) период 1989-2001; б) период 2002-2012

Работа выполнена при поддержке ИП СО РАН №109, РФФИ 13-05-00480-А,14-05-00730

Литература:

- 1. Golubeva E.N., Platov G.A. On improving the simulation of Atlantic Water circulation in the Arctic Ocean // J. Geoph. Res. 2007. Vol. 112. C04S05
- 2. Голубева Е.Н. Численное моделирование динамики Атлантических вод в Арктическом бассейне с использованием схемы QUICKEST// Вычислительные технологии. 2008. Т.13. №5. С. 11-24.
- 3. Платов Г.А. Численное моделирование формирования глубинных вод Северного Ледовитого океана. Часть II: Результаты региональных и глобальных расчетов// Известия РАН, Серия ФАО, 2011, т. 47, № 3, с. 409–425.
- 4. Gent, P. R., J. Willebrand, T. McDougall, and J. McWilliams, 1995: Parameterizing eddy-induced tracer transports in ocean circulation models. J. Phys. Oceanogr., 25, 463–474.
- 5. Rudels,B., Jones,E.P.,Anderson,L.G. and Kattner,G. On the intermediate depth water of the Arctic Ocean// In: O.M. Johannessen, R.D.Muench and J.E.Overland (Editors), The Polar Oceans and their role in the shaping the global environment: The Nansen centennial volume. Geophysical Monograph 85. American Geophysical Union, Washington DC, USA, 1994. P.33-46.
- 6. Karcher, M. J., J. N. Smith, F. Kauker, R. Gerdes, and W. M. Smethie Jr: Recent changes of Arctic Ocean circulation revealed by 129 Iodine observations and modelling, J. Geophys. Res.: Oceans (1978-2012), 117.C8, doi: 10.1029/2011JC007513.

Numerical simulation of greenhouse gases transport in a system «lake – atmospheric boundary layer»

^{1,2}Stepanenko V.M., ^{1,3}Glazunov A.V., ²Guseva S.P., ^{1,3}Lykosov V.N., ⁴Shurpali N., ⁴Biasi C., ⁴Martikainen P.

akes occupy a significant part of land in many northern regions, e.g. in Northern Siberia, Karelia, Finland and Canada. The importance of thermodynamic interaction between lakes and the atmosphere in these regions led to inclusion of lake parameterizations into climate models and numerical weather prediction systems. However, these lake parameterizations are still confined to heat and momentum exchange at the lake-atmosphere interface, whereas observational evidence is growing on the importance of greenhouse gases emissions from lakes. In order to extend our current knowledge on the dynamics of these emissions and gain a capability of

¹ Lomonosov Moscow State University, Research Computing Center, Moscow, Russia

² Lomonosov Moscow State University, Geographical Faculty, Moscow, Russia

³ Institute for Numerical Mathematics RAS, Moscow, Russia

⁴ University of Eastern Finland, Department of Environmental Science, Biogeochemistry Research Group, Kuopio, Finland E-mail: stepanen@srcc.msu.ru

making future projections of climate taking into account lake carbon fluxes, suitable modelling framework is to be developed. However, the modelling task faces two kinds of problems here. First, a lake model involving explicit treatment of both key biotic and abiotic controls of methane and carbon dioxide emissions is to be developed. And second, air surface layer parameterizations are needed that are adequate to lake-adjacent typical landscapes met in high latitudes. From this point a special attention must be paid to a case of a lake, surrounded by bluff topography (a forest), that violates the hypotheses underlying Monin-Oboukhov similarity theory. Large Eddy Simulation (LES) occurs to be an only feasible tool to explicitly reproduce turbulent flow and fluxes over such a landscape. This abstract presents first results of a project, addressing the above issues.

We adopt the one-dimensional model LAKE (Stepanenko et al., 2011) containing a module of methane production, transport and sink processes in bottom sediments and in a water column to one of thermokarst lakes in Seida place, Komi Republic, Russia. The meteorological forcing and validation data on water temperature and methane fluxes were measured *in situ* by the University of Eastern Finland during the 2007-2008 seasons (Marushchak et al., 2013; Repo et al., 2009). Chamber method was used for measuring methane fluxes from the thermokarst lakes. The measurements missed atmospheric radiation and shortwave radiation extinction coefficient in the water column. Therefore, the sensitivity of the model to specification of these variables was studied. It is shown that the "optimal" choice of atmospheric radiation parameterization allows a good match of water surface temperature with observations. The surface temperature was found to be almost insensitive to extinction coefficient, due to intense vertical mixing down to the lake bottom (2 m depth). However, the sensitivity of methane fluxes to extinction coefficient was high, pointing at an exponential dependence of methane production on sediment temperature. The modelled methane fluxes agreed well with the available measured data by calibrating a parameter describing organic substrate amount and quality in methane production formula.

An LES study by INM RAS – RCC MSU LES model (Glazunov et al., 2010), has been performed for an idealized case of an elliptic lake surrounded by forest. The "forest" is represented by a regularly spaced set of vertically elongated blocks. The reference boundary layer stratification, wind speed and direction were varied. It is shown, that the statistics of the flow (including fluxes) are almost insensitive to stratification resulting from turbulent kinetic energy predominantly produced by shear generation at heights around the tree canopy. This strongly questions the applicability the Monin-Oboukhov similarity to this case. Another important conclusion derived is that the constant-flux layer does not exist in the first meters above the lake surface, i.e. the flux at 1.5 m height may differ from that at the surface by 1.6-1.7 times. This has a direct implication for eddy covariance measurements above lakes, that are typically performed at this height.

References:

- 1. Glazunov A.V., Dymnikov V.P., Lykossov V.N. Mathematical modelling of spatial spectra of atmospheric turbulence. Russ. J. Numer. Anal. Math. Modelling, 2010, v. 25, No. 5, p. 431 451.
- 2. Stepanenko, V. M., Machul'skaya, E. E., Glagolev, M. V. and Lykosov, V. N. 2011. Numerical modeling of methane emissions from lakes in the permafrost zone. Izv. AN. Fiz. Atmos. Ok+ 47, 275–288.
- 3. Marushchak, M.E., Kiepe, I., Biasi, C., Elsakov, V., Friborg, T., Johansson, T., Soegaard, H., Virtanen, T., Martikainen, P.J., 2013. Carbon dioxide balance of subarctic tundra from plot to regional scales. Biogeosciences 10 (1), 437–452.
- 4. Repo, M.E., Susiluoto, S., Lind, S.E., Jokinen, S., Elsakov, V., Biasi, C., Virtanen, T. & Martikainen, P.J. (2009). Large N2O emissions from cryoturbated peat soil in tundra. Nature Geoscience.

Численное моделирование переноса парниковых газов в системе «озеро-пограничный слой атмосферы»

- ^{1,2}Степаненко В.М., ^{1,3}Глазунов А.В., ²Гусева С.П., ^{1,3}Лыкосов В.Н., ⁴Shurpali N., ⁴Biasi С., ⁴Martikainen P.
- ¹ Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова, Научно-исследовательский вычислительный центр, Москва, Россия
- ² Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова, Географический факультет, Москва, Россия
- ³ Институт вычислительной математики РАН, Москва, Россия
- ⁴ University of Eastern Finland, Department of Environmental Science, Biogeochemistry Research Group, Kuopio, Finland E-mail: stepanen@srcc.msu.ru

ВВЕДЕНИЕ

Озера покрывают значительную часть площади суши во многих районах в выскоих широтах: в Канаде, Финляндии, Карелии, Западной Сибири, Северо-восточной Сибири и др. Для адекватного отражения специфики обмена теплом и импульсом между гидрологически неоднородными территориями и

атмосферой в последнее десятилетие во многих моделях системы Земля и опертивных схемах прогноза погоды были встроены одномерные модели водоема (Mironov et al., 2010; Dutra et al., 2010; Subin et al. 2012), что позволило получить заметный отклик в результатах атмосферных моделей. Кроме того, результаты моделей водоема были сопоставлены для озер умеренных (Stepanenko et al., 2013; Stepanenko et al., 2014) и тропических широт (Thiery et al., 2014), и показано, что большинство моделей успешно воспроизводит температуру поверхности водоемов.

Тем временем, накапливаются эмпирические данные о том, что озера являются существенным источником парниковых газов (Tranvik et al., 2009; Bastviken et al. 2004), в первую очередь, углекислого газа и метана. Также в литературе часто приводятся аргументы в пользу того, что биохимический цикл в озерах может образовывать положительную обратную связь с потеплением климата. Очевидно, что чисто эмпирический анализ не может дать количественной картины роли различных механизмов в образовании и эмиссии метана и углекислого газа в озерных экосистемах, и тем более количественно оценить возможные обратные связи с потеплением климата. Таким образом, назрела необходимость математического моделирования на основе явного воспроизведения гидротермодинамических и биохимических процессов (process-based modelling), контролирующих эмиссию метана и углекислого газа в атмосферу. Ввиду ограниченности объема статьи, в дальнейшем изложении мы будем рассматривать моделирование процессов, связанных с эмиссией в атмосферу метана, хотя многие аспекты будут касаться и углекислого газа.

Задача математического моделирования эмиссии парниковых газов из озер сталкивается с рядом существенных трудностей. Их можно разделить на две группы: моделирование биотических и абиотических процессов. К первым относится описание генерации и окисления метана соответствующими группами бактерий. Важнейшими абиотическими факторами являются температура и турбулентность. Так, для успешного воспроизведения потока метана в атмосферу необходим довольно точный расчет температуры донных отложений, поскольку производство метана экспоненциально зависит от температуры среды. В то же время, как раз температура дна может воспроизводиться моделями водоема с ошибкой в несколько градусов (Stepanenko et al., 2013). Это может быть связано как с недостаточно адекватным описанием турбулентного перемешивания в самом водоеме вследствие несовершенства соответствующего турбулентного замыкания, так и ошибками потоков тепла и импульса на границе с атмосферой. Заметим, что ошибка в расчете турбулентной диффузии приводит также к недостаточному или избыточному переносу метана с поверхности дна до поверхности озера.

Перемешивание в водоеме очень чувствительно к описанию потока импульса из атмосферы. Так, для малых водоемов значительная часть импульса из атмосферы может быть потрачена на развитие волнения (Lin et al., 2002), что уменьшает сдвиговую генерацию кинетической энергии турбулентности в водоеме (Stepanenko et al., 2014). Кроме того, небольшие водоемы часто окружены лесом (например, в Карелии и Финляндии), что ставит вопрос о степени применимости теории Монина-Обухова к приводному слою над такими объектами. И, наконец, структура и динамика пограничного слоя над такими озерами определяет интенсивность переноса парниковых газов, поступающих с озера, в вышележащие слои атмосферы.

Таким образом, при математическом моделировании эмиссии парниковых газов с гидрологически неоднородной территории необходимо учитывать совместную динамику процессов внутри водоема и в атмосферном пограничном слое (рис.1). В настоящей статье приводятся первые результаты проекта, в котором делаются необходимые шаги для такого сопряжения задач, которые ранее решались в разных научных сообществах практически изолированно.



Рис. 1. Схема процессов, контролирующих перенос метана из озера в атмосферу

ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭМИССИИ МЕТАНА ИЗ ОЗЕРА

Разработанная ранее одномерная модель водоема (Stepanenko et al., 2011) включает, помимо описания основных термодинамических процессов в теле водоема (включая турбулентное перемешивание по k-є модели), в ледовом и снежном покрове, в нижележащем слое грунта, также одномерную модель производства, переноса и стока метана. Подходы к описанию производства и окисления метана заимствованы из аналогичных работ по болотным экосистемам, за исключением случая термокарстовых озер (подробнее см. в Stepanenko et al., 2011). Вертикальный перенос метана осуществляется диффузией по k-є модели и пузырьками по адаптированной модели МакГинниса.

В настоящей работе, благодаря наличию данных наблюдений, любезно предоставленных коллегами из Университета Восточной Финляндии (Dr. N.Shurpali), была осуществлена оценка качества модели и ее калибровка. Данные наблюдений включают все основные метеорологические величины, суммарную солнечную радиацию, температуру воды и поток метана, измеренные на озере в местности Сейда (республика Коми) в 2007-2008 гг. Калибровка производилась по одному параметру в формуле для производства метана в донных отложениях для наилучшего соответствия рассчитанных потоков метана в атмосферу наблюденным.

На рисунке 2 изображен временной ход температуры и потока метана по результатам расчетов и данным наблюдений. По причине отсутствия натурных данных по излучению атмосферы, эта величина рассчитывалась различными формулами, и неопределенностью в значениях встречного излучения оказалось возможным в значительной степени объяснить занижение моделью температуры поверхности водоема. Чувствительность температуры водоема (температура дна и поверхности отличаются слабо из-за интенсивного перемешивания) к коэффициенту экстинкции коротковолновой радиации оказалась очень слабой. В то же время, поток метана в атмосферу варьировал в зависимости от этой величины в значительно больших пределах (рисунок 2), включая появление новых максимумов. Таким образом, мгновенный поток метана очень чувствителен к изменению метеорологического воздействия, и связан с ним существенно нелинейно из-за нелинейности турбулентного замыкания в модели водоема (турбулентного перемешивания в природе).

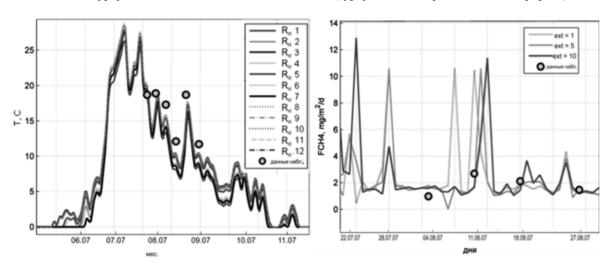


Рис. 2. Слева: температура поверхности озера Сейда при использовании различных параметризаций излучения атмосферы; справа: суммарный поток метана в атмосферу при различных значениях коэффициента экстинкции коротковолновой радиации. Кривые — результаты моделирования, кружки — данные наблюдений.

ВИХРЕРАЗРЕШАЮЩЕЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОГРАНИЧНОГО СЛОЯ НАД ОЗЕРОМ

При помощи вихреразрешающей модели ИВМ РАН – НИВЦ МГУ проведены расчеты стратифицированной турбулентности над объектом, имитирующим лесное озеро малого размера. Схематически моделируемый процесс изображен на рисунке 1.

Турбулентное течение над верхушками деревьев в случае нейтральной стратификации можно охарактеризовать тремя размерными параметрами — скоростью трения U_* , высотой вытеснения $D_{\rm w}$ и параметром шероховатости $Z_{\rm 0w}$. Основная особенность турбулентного натекания с леса на озеро заключается в существенных (на несколько порядков) различиях между значениями шероховатости растительного покрова и поверхности воды $Z_{\rm 0w} >> Z_{\rm 0l}$, а также в наличии над лесом слоя вытеснения значительной толщины $D_{\rm w} \sim h$. На высотах $z < D_{\rm w}$ внутри растительного покрова скорость ветра мала, поэтому в задаче расчета статистических характеристик турбулентности над озером в первом приближении можно пренебречь особенностями течения между деревьями.

Турбулентное течение с заданными параметрами U_* , D и z и можно сгенерировать при помощи LES-модели (Глазунов, 2014а; Глазунов, 2014б), располагая на поверхности массивы плохообтекаемых

объектов с высотой h > D. При этом, изменяя плотность заполнения поверхности объектами, можно подобрать такую конфигурацию, при которой соотношения z_{0w} / h и D_w / h близки к наблюдаемым значениям и над лесной растительностью.

Независимо от формы объектов, создающих трение на поверхности, над ними формируется логарифмический профиль средней скорости:

 $\langle U \rangle = \frac{U_*}{\kappa} \ln \left(\frac{z - D}{z_{ow}} \right) (1)$

В целом схема постановки численных расчетов выглядела так, как это представлено на рисунке 3. Турбулентный набегающий поток генерируется вспомогательной численной LES-моделью с двоякопериодическими граничными условиями. В модели (а) задается периодический массив объектов с большой аэродинамической шероховатостью. Это позволяет получить согласованное с модельной динамикой нестационарное граничное условие на левой границе модели (б) со статистическими характеристиками, приближенными к характеристикам турбулентного течения над лесной растительностью. Данные модели (а), взятые в одном из вертикальных сечений, передаются в модель (б) на каждом временном шаге и используются в качестве граничных условий на левой границе расчетной области (б).

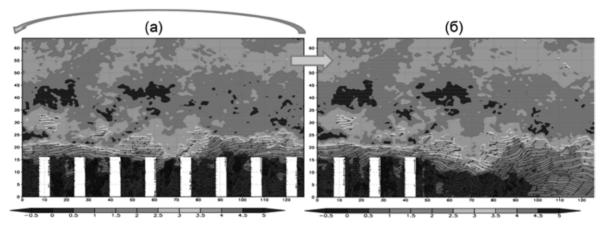


Рисунок 3. Схема расчета турбулентного течения при натекании с поверхности с большой шероховатостью, заданной явным образом, на поверхность с малой шероховатостью, заданной параметрически. Цветом нанесена величина продольной компоненты скорости ветра (мгновенные данные LES-модели в одном из вертикальных сечений). В нижней части рисунков нанесены линии тока. Белые прямоугольники – заданные объекты.

«Озеро» расположено в центре расчетной области (б) и представляет собой эллипс с полуосями а = 200 м и b = 60 м. «Озеро» окружено объектами той же формы и размера, что и объекты в области (а). Сеточный размер области (б) в основных расчетах составлял $1024\times512\times128$ или $512\times1024\times128$ узлов, шаг равномерной сетки $\Delta_g = 0.5$ м по всем трем пространственным направлениям. Вычисления проводились на суперкомпьютере МГУ «Ломоносов» с использованием до 2048-ми ядер в параллельном режиме (Воеводин и др., 2012). Интегрирование проводилось с шагом 0,025 секунды на 1 час модельного времени.

Были проведены расчеты при устойчивой, нейтральной и неустойчивой стратификации над озером. Наиболее важный эффект, обнаруженный на основе анализа модельных данных, заключается в слабой чувствительности статистических характеристик турбулентного течения над неоднородной поверхностью к плотностной стратификации. Это обусловлено тем, что значительная часть генерации кинетической энергии турбулентности над мелкомасштабными лесными озерами связана со сдвигом ветра, расположенным на высоте деревьев. Этот механизм обеспечивает гораздо более интенсивное турбулентное перемешивание над поверхностью озера, чем перемешивание над однородной поверхностью с теми же аэродинамическими характеристиками.

Еще один важный вывод, следующий из расчетов, касается интерпретации результатов натурных пульсационных измерений над поверхностью водоемов. Было обнаружено, что турбулентные потоки импульса, даже на сравнительно небольшом удалении от поверхности озера, существенно отличаются от потоков через поверхность озера. Применение стандартных методик измерения поверхностных потоков, подразумевающих расположение датчиков на высоте ~1,5 м, может привести, таким образом, к большому завышению их значений. Систематическая погрешность измерения (завышающая значение напряжения трения на поверхности в 1.6-1,7 раза) будет присутствовать даже на значительном расстоянии от берега, в 25-30 раз превышающем высоту деревьев.

Литература:

1. Воеводин Вл.В., Жуматий С.А., Соболев С.И., Антонов А.С., Брызгалов П.А., Никитенко Д.А., Стефанов К.С., Воеводин Вад.В. Практика суперкомпьютера "Ломоносов" // Открытые системы. - Москва: Издательский дом "Открытые системы", N 7, 2012. С. 36-39.

- 2. Глазунов А.В. Численное моделирование турбулентных течений над поверхностью городского типа. Расчеты при нейтральной стратификации.// ИЗВЕСТИЯ РАН. ФИЗИКА АТМОСФЕРЫ И ОКЕАНА, 2014а, том 50, № 1, с. 1–10
- 3. Глазунов А.В. Численное моделирование устойчиво стратифицированных турбулентных течений над плоской и городской поверхностями.// ИЗВЕСТИЯ РАН. ФИЗИКА АТМОСФЕРЫ И ОКЕАНА, 20146, том 50, № 3, с. 1–11
- 4. Bastviken D, Cole JJ, Pace ML, and Tranvik L. 2004. Methane emissions from lakes: Dependence of lake characteristics, two regional assessments, and a global estimate. Global Biogeochem. Cycles, Vol. 18, No. 4, GB4009.
- 5. Dutra, E., Stepanenko, V. M., Balsamo, G., Viterbo, P., Miranda, P. M. A. and co-authors. 2010. An offline study of the impact of lakes on the performance of the ECMWF surface scheme. Boreal Environ. Res. 15, 100–112.
- 6. Lin, W., Sanford, L. P., Suttles, S. E. and Valigura, R. 2002. Drag coefficients with fetch-limited wind waves. J. Phys. Oceanogr. 32, 3058–3074.
- 7. Mironov, D., Heise, E., Kourzeneva, E., Ritter, B., Schneider, N. and Terzhevik, A. 2010. Implementation of the lake parameterization scheme FLake into the numerical weather prediction model COSMO. Boreal Environ. Res. 15, 218–230.
- 8. Stepanenko, V. M., Machul'skaya, E. E., Glagolev, M. V. and Lykosov, V. N. 2011. Numerical modeling of methane emissions from lakes in the permafrost zone. Izv. AN. Fiz. Atmos. Ok+ 47, 275–288.
- 9. Stepanenko, V. M., Martynov, A., Jöhnk, K. D., Subin, Z. M., Perroud, M. and co-authors. 2013. A one-dimensional model intercomparison study of thermal regime of a shallow turbid midlatitude lake. Geosci. Model Dev. 6, 1337–1352. DOI: 10.5194/gmd-6-1337-2013.
- 10. Stepanenko, V., Jöhnk, K., Machulskaya, E., Perroud, M., Subin, Z., Nordbo, A., Mammarella, I., Mironov, D.. Simulation of surface energy fluxes and stratification of a small boreal lake by a set of one-dimensional models. Tellus A, North America, 66, jan. 2014.
- 11. Subin, Z. M., Riley, W. J. and Mironov, D. 2012. An improved lake model for climate simulations: model structure, evaluation, and sensitivity analyses in CESM1. J Adv Model Earth Syst. 4(1), Quarter 1. DOI: 10.1029/2011MS000072.
- 12. Thiery, W., Stepanenko, V., Fang, X., Jöhnk, K., Li, Z., Martynov, A., Perroud, M., Subin, Z., Darchambeau, F., Mironov, D., van Lipzig, N.. LakeMIP Kivu: evaluating the representation of a large, deep tropical lake by a set of one-dimensional lake models. Tellus A, North America, 66, feb. 2014.
- 13. Tranvik LJ, others Lakes and reservoirs as regulators of carbon cycling and climate. Limnol. Oceanogr. 2009;54:2283–2297.

Study of column-averaged CO₂ concentrations in the subarctic using GOSAT retrievals and NIES transport model simulations

^{1,2,3}Belikov D.A., ²Maksyutov S., ²Takagi H., ²Yoshida Y., ⁴Ganshin A., ⁴Zhuravlev R., ²Yokota T.

E-mail: dmitry.belikov@nies.go.jp

he distribution of atmospheric carbon dioxide (CO₂) in the subarctic was investigated using the National Institute for Environmental Studies (NIES) three-dimensional transport model (TM) and retrievals from the Greenhouse gases Observing SATellite (GOSAT).

The GOSAT satellite was launched on 23 January 2009 to monitor the global distributions of greenhouse gases (CO₂ and CH₄) from space. The satellite is in a sun-synchronous orbit with an equator crossing time of about 13:00 local time and an inclination angle of 98°. The satellite flies at an altitude of approximately 666 km, completes an orbit in about 100 min, and operates on a global basis with a 3-day repeat cycle. The design and functions of the instrument are described in detail by Kuze et al. (2009). Several retrieval algorithms have been developed by different research groups for routinely processing GOSAT observational data. In this study, we use the GOSAT Level 2 (L2) XCO₂ retrieval (version 02.00) dataset distributed to general users for comparisons with model results; this GOSAT dataset was also used in the inversion model to yield optimized fluxes (Maksyutov et al., 2013).

¹ Division for Polar Research, National Institute of Polar Research, Tokyo, Japan

² Center for Global Environmental Research, National Institute for Environmental Studies, Tsukuba, Japan

³ Tomsk State University, Tomsk, Russia

⁴ Central Aerological Observatory, Dolgoprudny, Russia

Column-averaged dry air mole fractions of subarctic atmospheric CO_2 (XCO_2) from the NIES TM for four flux combinations were analyzed. The NIES TM is designed to simulate natural and anthropogenic synoptic-scale variations in atmospheric constituents on diurnal, seasonal, and interannual timescales. The model uses a mass-conservative flux-form formulation that consists of a third-order van Leer advection scheme and a horizontal dry-air mass flux correction. The horizontal latitude–longitude grid is a reduced rectangular grid, with a spatial resolution of $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$ near the equator (Belikov et al., 2011). The model is off-line and is driven by a dataset that consists of both Japanese 25-yr Reanalysis (JRA-25) and Japan Meteorological Agency Climate Data Assimilation System (JCDAS) data. The JRA-25/JCDAS data are available on Gaussian horizontal grid T106 with 40 hybrid σ –p levels every 6 hours. Thus, the model integration time step is also 6 hours.

To simulate XCO₂, the NIES TM was run for the period from 1 January 2009 to 31 December 2011, employing the initial global XCO₂ distribution derived from GLOBALVIEW-CO₂ (2011). Four cases with different source components of CO₂ were considered in this study. Two flux sets were optimized without GOSAT data and two others were optimized with GOSAT Level 2 retrieval data:

- 1) Prior + GV: This flux set was obtained using the region-based inverse modeling scheme designed in the Transcom project (i.e., Gurney et al., 2002). The *a priori* fluxes were optimized with a 3-month window fixed-lag Kalman smoother inverse modeling system (Maksyutov et al., 2012). Monthly fluxes for 42 sub-continental terrestrial regions and 22 oceanic basins, were inferred for the 12 months from June 2009 to May 2010, using GLOBALVIEW (hereafter denoted as GV) observations collected from existing surface and aircraft CO₂-measurement networks (GLOBALVIEW-CO₂, 2011). The CO₂ fields used in the inversions were calculated using the NIES TM. The *a priori flux* dataset used as a first guess for the inverse modeling to drive the atmospheric transport model consists of four components (Maksyutov et al., 2013): (a) fossil fuel and cement manufacturing emissions from the high-resolution Open source Data Inventory of Anthropogenic CO₂ (ODI-AC) dataset, and the Carbon Dioxide Information Analysis Center's (CDIAC) dataset; (b) daily net ecosystem exchange (NEE) simulated by the Vegetation Integrative SImulator for Trace gases (VISIT) terrestrial biosphere model; (c) monthly air—sea CO₂ fluxes predicted by an ocean *p*CO₂ data assimilation system based on the Offline ocean Tracer Transport Model (OTTM); and (d) monthly CO₂ emissions due to biomass burning from the Global Fire Emissions Database (GFED) version 3.1.
- 2) Prior + GV + GOSAT: These fluxes were optimized using the same inverse modeling system as that used in the Prior + GV case, but both GLOBALVIEW observations and the GOSAT Level 2 XCO2 retrieval data (version 02.00) covering 14 months from June 2009 to July 2010 are used. In this setup, GOSAT XCO2 retrievals were aggregated over each $5^{\circ} \times 5^{\circ}$ grid cell and over each month. Details are given by Maksyutov et al. (2013). Presently Prior + GV + GOSAT data as well as Prior + GV fluxes are available for period June 2009 October 2010. To cover gaps in NIES TM simulation period (1 January 2009 to 31 December 2010) we used unoptimized *a priori* fluxes.
- **3) LMDZ:** The 3-hourly inverse-model-adjusted fluxes obtained by optimizing the surface fluxes of CO₂ using the LMDZ model for the period 2000–2010 on a 3.75° × 2.5° latitude–longitude grid. The fluxes comprise assimilated observations from 128 stations from three large datasets of measurements of the surface CO₂ mixing ratio. These data sources, representing cooperative efforts from many laboratories around the globe, are: the NOAA ESRL archive (ftp://ftp.cmdl.noaa.gov/ccg/co2/), the CarboEurope atmospheric archive (http://ceatmosphere.lsce.ipsl.fr/database/index_database.html), and the WDCGG archive (http://gaw.kishou.go.jp/cgi-bin/wdcgg/catalogue.cgi) (Chevallier et al., 2010).
- **4) GELCA-EOF:** These fluxes are obtained using a combination of Global Eulerian—Lagrangian Coupled Atmospheric (GELCA) model and an EOF-based method (Zhuravlev et al., 2013). An empirical orthogonal function (EOF)-based inverse modeling scheme relying on the derivation of a limited set of spatial functions that can represent major components of surface flux variability.

NIES TM with the described fluxes were applied to study XCO₂ seasonal variability over the period 2009–2010 in the Arctic and subarctic regions. The impact on CO₂ levels of emissions from enhancement of biospheric respiration induced by the high temperature and strong wildfires occurring in the summer of 2010 was analyzed. The massive CO₂ transport into subarctic and Arctic regions mainly caused by wildfires in central western Russia, the USA, and Canada was found. Using NIES TM with GELCA-EOF fluxes during the peak of the wildfire event in August 2010, we detected XCO2 enhancement of 2.5 ppm relative to 2009 over forest fire regions (50°–65° N), and of 2 ppm over 65°–70° N band, into which combustion products were transported. Use of GOSAT data has a substantial impact on estimates of the level of additional CO₂ emission due to forest fires between 50° N and 60° N in the Eastern Hemisphere, as fluxes estimated with the GOSAT data are higher by ~0.4–0.6 GtC/yr. However, CO₂ fluxes in the northern part of the Western Hemisphere are successfully constrained by observations from ground-based sites located in the temperate zone. Here, the difference in fluxes estimated with and without GOSAT data is less than 0.2 GtC/yr (Belikov et al., 2014).

The XCO₂ modeled with fluxes obtained without GOSAT data (Prior + GV and LMDZ) captures only a part of the IAV of CO₂ during summer 2010. As the GFED forest fire product used as a component of *a priori* fluxes adequately characterizes the location of burned areas, but it underestimates the emissions. Thus, we have shown the implementation of GOSAT data for studying the carbon cycle in the subarctic. The results reveal the

benefits of XCO₂ GOSAT data use to evaluate modeled results, and to provide an additional constraint during inverse model flux optimization. The GOSAT NIES Level 2 data products are under constant development. A longer retrieval period, an enhanced number of scenes, and reduced standard deviations and biases of the data due to the implementation of more sophisticated retrieval algorithms, as well as improvements in the inversion scheme, will allow us to address in more detail the problems identified in this study in future work.

References:

- 1. Belikov, D., Maksyutov, S., Miyasaka, T., Saeki, T., Zhuravlev, R., Kiryushov, B., 2011. Mass-conserving tracer transport modelling on a reduced latitude-longitude grid with NIES-TM. Geosci. Model Dev., 4, 207–222.
- 2. Belikov D.A., Bril, A., Maksyutov, S., Oshchepkov, S., Saeki, T., Takagi, H., Yoshida, Y., Aoki S., and Yokota, T., 2014. Column-averaged CO₂ concentrations in the subarctic from GOSAT retrievals and NIES transport model simulations, Polar Sci, 8 (2).
- 3. Chevallier, F., Ciais, P., Conway, T. J., Aalto, T., Anderson, B. E., Bousquet, P., Brunke, E. G., Ciattaglia, L., Esaki, Y., Frohlich, M., Gomez, A., Gomez-Pelaez, A. J., Haszpra, L., Krummel, P.B., Langenfelds, R. L., Leuenberger, M., Machida, T., Maignan, F., Matsueda, H., Morguí, J. A., Mukai, H., Nakazawa, T., Peylin, P., Ramonet, M., Rivier, L., Sawa, Y., Schmidt, M., Steele, L. P., Vay, S. A., Vermeulen, A. T., Wofsy, S., Worthy, D., 2010. CO₂ surface fluxes at grid point scale estimated from a global 21 year reanalysis of atmospheric measurements. J. Geophys. Res., 115, D21307, doi:10.1029/2010JD013887.
- 4. GLOBALVIEW-CO2, 2011. Cooperative Atmospheric Data Integration Project Carbon Dioxide. CD-ROM, NOAA ESRL, Boulder, Colorado [Also available on Internet via anonymous FTP to ftp.cmdl. noaa.gov, Path: ccg/co2/GLOBALVIEW].
- 5. Gurney, K. R., Law, R. M., Denning, A. S., Rayner, P. J., Baker, D., Bousquet, P., Bruhwiler, L., Chen, Y.-H., Ciais, P., Fan, S., Fung, I. Y., Gloor, M., Heimann, M., Higuchi, K., John, J., Maki, T., Maksyutov, S., Masarie, K., Peylin, P., Prather, M., Pak, B. C., Randerson, J., Sarmiento, J., Taguchi, S., Takahashi, T., Yuen, C.-W., 2002. Towards robust regional estimates of CO₂ sources and sinks using atmospheric transport models. Nature, 415, 626–630.
- 6. Kuze, A., Suto H., Nakajima M., Hamazaki T., 2009. Thermal and near infrared sensor for carbon observation Fourier-transform spectrometer on the Greenhouse Gases Observing Satellite for greenhouse gases monitoring. Appl. Opt., 48, 6716–6733, doi:10.1364/AO.48.006716.
- 7. Maksyutov, S., Takagi, H., Valsala, V. K., Saito, M., Oda, T., Saeki, T., Belikov, D. A., Saito, R., Ito, A., Yoshida, Y., Morino, I., Uchino, O., Andres, R. J., Yokota, T., 2013. Regional CO₂ flux estimates for 2009–2010 based on GOSAT and ground-based CO₂ observations. Atmos. Chem. Phys., 13, 9351–9373, doi:10.5194/acp-13-9351-2013.
- 8 Zhuravlev, R.V., Ganshin, A.V., Maksyutov, S. S., Oshchepkov, S. L., Khattatov, B.V., 2013. Estimation of global fluxes of CO_2 using ground-station and satellite (GOSAT) observation data with empirical orthogonal functions. Atmospheric and Oceanic Optics, 2013, 26, 388–397.

Investigation of jet streams and the tropopause folds in Western Siberia based on ECMWF ERA-Interim

¹Antokhina O.Yu., ¹Antokhin P.N., ¹Belan B.D., ²Kochetkova O.S.

E-mail: olgayumarchenko@gmail.com

he «tropopause folds» events (TF events) for 2012 over Western Siberia are investigated. The TF events and features of their location relative to the jet streams are considered with use ECMWF ERA-Interim data about potential vorticity and horizontal component of wind field on the pressure levels. For individual TF events the position of the high frontal zones (HFZ) are also investigated on the base of synoptical chart.

In general there is good agreement between the characteristics of the studied TF events and characteristics of TF events obtained by other authors. On the investigated longitude TF events were associated with the subtropical jet stream to the latitude 50N and with the polar jet at higher latitudes. At 50N often there was a convergence of jets. Amounts of TF events varies in different seasons on the different latitudes. In the latitude band 50-65N TF events repeated more often in the winter-spring period, in the band 65-85N — in the spring-summer period. These features are probably related to relief and seasonal HFZ movement in the study region.

¹ V.E. Zuev Institute of Atmospheric Optics SB RAS, Tomsk, Russia

² Institute of Solar-Terrestrial Physics SB RAS, Irkutsk, Russia

Исследование струйных течений и «складок» тропопаузы в районе Западной Сибири по данным ECMWF ERA-Interim

¹Антохина О.Ю., ¹Антохин П.Н., ¹Белан Б.Д., ²Кочеткова О. С.

- ¹ Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, Томск, Россия
- ² Институт солнечно-земной физики СО РАН, Иркутск, Россия

E-mail: olgayumarchenko@gmail.com

ВВЕДЕНИЕ

Одним из источников озона в тропосфере является стратосферный озон. Несмотря на то, что в нижней тропосфере количество озона, поступающего из стратосферы, гораздо меньше количества озона, образующегося в результате фотохимических реакций, исследование тропосферно-стратосферного обмена (СТО) необходимо с точки зрения климатологии и контроля общего содержания озона в тропосфере [1]. Доминирующей и наиболее эффективной формой СТО во внетропических широтах является проникновение озона в нижние слои в складках тропопаузы в районе бароклинных зон струйных течений [2]. В нисходящей области струйных течений за счет интрузии воздуха, обладающего высокой потенциальной завихренностью, тропопауза деформируется, образую вытянутую в нижние слои тропосферы складку в виде стримера или воронки. Использование в качестве индикатора границы раздела между стратосферой и тропосферой потенциального вихря Эртеля позволяет наглядно проследить глубину интрузии стратосферного воздуха [3,4].

Исследованию процесса образования складок тропопаузы (СТ), их связи со струйными течениями, а также количеством тропосферного озона, посвящено большое количество работ, например [1,2,3]. Особый интерес представляют процессы СТО, в частности влияние интрузии стратосферного воздуха на формирование тропосферного озона, в Западносибирском регионе в районах мониторинга вариаций тропосферного озона. В разное время подобные исследования в этом регионе уже приводились. Было показано, например, что над Западной Сибирью в области струйных течений происходит перераспределение озона, объясняемое существованием вокруг струйных течений систем кольцевых токов [5]. В [6] на основе лидарных профилей анализировались отдельные случаи стратосферных интрузий озона. Одной из проблем исследования СТО в регионе за длительный период является разработка методов диагностики и анализа отдельных событий СТ. Целью данного исследования является анализ отдельных событий СТ на основе данных о потенциальной завихренности (ПЗ), а также изучение их связи со струйными течениями в районе Западной Сибири.

Данные и методика. В качестве исходных данных использовались данные архива ECMWF ERA-Interim [7]. Для анализа деформаций тропопаузы были построены распределения потенциального вихря на уровнях от 1000 гПа до 1 гПа за 0, 6, 12 и 18 часов по Гринвичу с 1 января по 31 декабря 2012 г. вдоль меридиана 85° в.д. с дискретностью 5° от 50° до 85° с.ш. На карты наносились изолинии потенциальной завихренности в диапазоне 1-4 PVU. Согласно [4] 1 PVU соответствует верхней границе тропосферного воздуха, 2 PVU — примерно соответствует озонопаузе, поверхность 3-4 PVU — термической тропопаузе. На основании анализа диаграмм были выбраны события, во время которых изолинии достигали 500 гПа. Затем на диаграммы, построенные для выбранных дат, наносились распределения горизонтальной компоненты поля скорости выше 20 м/с. Это позволяло оценивать связь между вариациями потенциальной завихренности и струйными течениями. Кроме того по синоптическим картам анализировалось положение фронтальных разделов и высотной фронтальной зоны (ВФЗ).

РЕЗУЛЬТАТЫ

В работе проанализировано порядка 30-и событий. Иногда события СТО происходили сразу в нескольких широтах, в этом случае они анализировались как разные события. Независимо от того наблюдалось ли событие СТО все четыре срока, или же только за один, оно считалось одним событием. Если деформация тропопаузы сохранялась на протяжении нескольких дней, из них выбирался день с наибольшей деформацией.

Внутригодовая изменчивость ПЗ не на всех исследуемых широтах демонстрирует отчетливый сезонный ход высоты тропопаузы. Наиболее ярко выраженные изменения высоты тропопаузы от зимы к лету наблюдаются в зоне 50°-65° с.ш., в более высоких широтах сезонный ход не столь заметен. Эта же закономерность проявляется и в частоте формирования складок тропопаузы в различные сезоны. В зоне 50-65° с.ш. события СТ происходили в основном в зимне-весенний период, а в области 70-85° с.ш. – в весенне-летний. Особенно заметны эти особенности для поверхности 1 PVU. Вероятно, эта закономерность обусловлена сезонным смещением ВФЗ [4].

Следует заметить, что стратосферно-тропосферный обмен в районах субтропического и полярнофронтового струйных течений различен. Более глубокие интрузии стратосферного воздуха происходит в районе полярного фронта [2], именно эти события интересовали нас в первую очередь. На рис. 1 показаны некоторые типичные случаи СТ в разных широтных зонах. К югу от 50° с.ш. события СТ чаще связаны с субтропическим струйным течением, севернее СТ оказались связаны либо с полярным фронтом, либо имело место «сближение» двух струйных течений. Анализ СТ на различных широтах показал, что при смещении к северу глубина интрузий увеличивается. Одной из причин этой закономерности может быть не вполне корректная процедура «разреза» зоны СТО и струйных течений. Анализ ВФЗ в период событий СТ показал, что оси атмосферных ложбин, к циклонической части которых приурочены события СТ, зачастую сильно отклонены от меридионального направления. Это хорошо видно на рис. 2, на которых нанесены изолинии поверхности 500 гПа в разные периоды времени. В северных районах эти отклонения оказались не очень большими, поэтому форма складок тропопаузы была искажена в меньшей степени, чем в южных районах.

В целом, характеристики СТ и струйных течений в районах СТО совпадают с описанными ранее [2,4]. За рассматриваемый период практически все события СТ оказались приурочены к областям нисходящих движений вблизи струйных течений. Все СТ, связанные с полярнофронтовым струйным течениям, во все сезоны года были локализованы в областях тропосферных ложбин. Наибольшее количество событий СТ отмечено в период с апреля по май.

В заключении отметим, что использование данных о потенциальной завихренности, а также синоптических карт, позволяет получать исчерпывающие сведения относительно событий СТ. Для более детального анализ глубины интрузии в области СТ необходимо учитывать отклонение струйных течений от зонального направления. Характеристики исследованных за 2012 год событий СТ хорошо согласуются с данными полученными разными авторами.

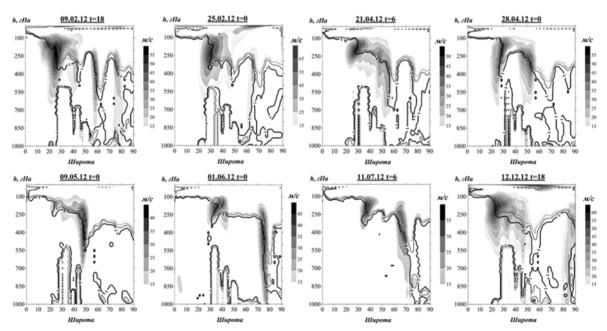


Рис. 1. События СТ. Фоном показано распределение горизонтальной компоненты поля скорости, изолинии — потенциальная завихренность от 1 до 4 PVU. Увеличение потенциальной завихренности в нижней атмосфере в области ~ 30-50° с.ш. соответствует горным системам в исследуемой долготной области

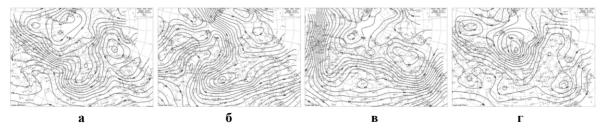


Рис. 2. Положение ВФЗ (АТ 500). а – 9 мая 2012, 6 – 12 декабря 2012 (случай сближения струйных течений); в – 25 февраля 2012 (СТ разной глубины наблюдающиеся отдельно в районе субтропического и полярнофронтового струйных течений); г – 11 июля 2012 (СТ в северных широтах в районе полярнофронтового струйного течения)

Литература:

- 1. Hocking W.K., et. al. Detection of stratospheric ozone intrusions by windprofiler radars // Nature (Gr. Brit.). 2007. V. 250. P. 281–284.
- 2. Моханокумар Д. Взаимодействие стратосферы и тропосферы / Москва, Физматлит, 2011
- 3. Шакина Н. П., Борисова В.В. Опыт использования потенциального вихря для расчета высоты тропопаузы // Метеорология и гидрология, 1992, №9, с. 57-65
- 4. Иванова А. Р. Динамика внетропической тропопаузы Северного полушария // Автореф. на соискание уч. степени д.ф.-м.н., Москва, 2011
- 5. Белан Б.Д. Влияние струйных течений на изменение озона в их зоне // Атмосферный озон. Л.: Гидрометеоиздат, 1987. С. 270-274.
- 6. Зуев В.В., Бурлаков В.Д., Долгий С.И., Невзоров А.В., Ельников А.В. Наблюдение прорыва стратосферных воздушных масс в верхнюю тропосферу по лидарным измерениям озона. // Оптика атмосферы и океана. 2008. Т. 21. № 07. С. 593-599.
- 7. Dee D. P. et. al. The ERA-Interim reanalysis: configuration and performance of the data assimilation system // Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society. 2011. Vol. 137. № 656. P. 553–597

Numerical modeling of polar lows using WRF model

¹Verezemskaya P.S., ^{1,2}Stepanenko V.M.

- ¹ Lomonosov Moscow State University, Geographical Faculty, Moscow, Russia
- ² Lomonosov Moscow State University, Research Computing Center, Moscow, Russia

E-mail: aves.indemicas@gmail.com

ncreased interest in natural resources extraction on the Arctic shelf causes the necessity of high-quality weather forecast in this region. The most jeopardizing weather phenomenon for oil production and shipping there are the polar lows, intensive mesoscale cyclones, appearing above the sea surface, usually behind the arctic front. [1]

Given that polar lows form over the sea, and surface observations on buoys or weather observing ships are sporadic there, the observational data for studying these vortices mostly come from satellites and targeted aircraft soundings. Unfortunately, these data have neither enough spatial and temporal resolution, nor provide complete set of meteorological variables, needed for thorough study of their dynamics and underlying physical mechanisms. Therefore, numerical simulations with mesoscale atmospheric models is a good alternative to investigate polar low phenomenon, because they produce temporally and spatially regular-spaced fields of atmospheric variables with high resolution. This facilitates visualization and analysis of polar lows' dynamics and structure.

This investigation is aimed at evaluation of the role of various mechanisms in the dynamics of a particular real case of polar low development by mesoscale numerical simulations.

We study a unique case of simultaneous development of three differently-typed polar lows over Norwegian and Barents seas at 29th – 31st March, 2013. As a mesoscale model we used WRF ARW [4] (Weather Research and Forecasting model with ARW dynamical core), version 3.5.1, which was installed on supercomputer "Lomonosov" of Moscow State University [2]. For initial conditions the reanalysis data of ERA-Interim provided by European Centre for Medium-Range Weather Forecasts, was utilized. Four numerical experiments were performed. The reference numerical experiment was set up with the following physical parameterizations: CAM for both longwave and shortwave radiation interactions, Monin-Obukhov for surface layer scheme, Noah for the land model, Mellor-Yamada-Janjic scheme for the planetary boundary layer turbulence. Grell-Devenyi scheme of shallow convection was used and microphysical processes were simulated by Lin scheme.

Other three experiments differed from the reference one by changing only one of parameterizations: Goddard parameterization for microphysics, microphysical parameterization switched off, convection adjustment switched off. All experiments were run with 10 km resolution.

Modeled fields were compared with satellite observations from MODIS [3] (cloud fields) and AMSR-2 (surface wind, integrated atmospheric water vapor) instruments. Model fields occurred to be adequate in capturing general spatial patterns of meteorological variables and basic circulation features. Fields from experiment with Goddard microphysical parameterization demonstrate the best correspondence with observational data.

Sensitivity tests show that neglecting phase transition of water in the model does not affect the vortex structure, but it is notable for water vapor, cloud and vorticity fields.

Three types of polar lows were distinguishable in our case study – two convective and one baroclinic vortex. It was shown that their dynamics is mostly determined by conditions of genesis. In particular, the dynamics

of cyclones with the convective mechanism of formation depends on the initial conditions in the area. As to baroclinic cyclone, it creates the conditions for changing the maintenance mechanism during it's development, becoming a convective vortex at the later stage.

References:

- 1. Polar lows, J. Turner, E.A. Rasmussen, 612, Cambridge University press, Cambridge, 2003.
- 2. V. Sadovnichy, A. Tikhonravov, Vl. Voevodin, and V. Opanasenko "Lomonosov": Supercomputing at Moscow State University. In Contemporary High Performance Computing: From Petascale toward Exascale (Chapman & Hall/CRC Computational Science), pp.283-307, Boca Raton, USA, CRC Press, 2013.
- 3. Zabolotskikh, E. V., L. M. Mitnik, and B. Chapron (2013), New approach for severe marine weather study using satellite passive microwave sensing, Geophys. Res. Lett., 40, 3347–3350, doi:10.1002/grl.50664.
- 4. Skamarock, W. C., J. B. Klemp, J. Dudhia, D. O. Gill, D. M. Barker, W. Wang, and J. G. Powers, 2008: A description of the Advanced Research WRF Version 3. NCAR Tech Notes-468+STR.

Численное моделирование интенсивных полярных мезомасштабных циклонов моделью WRF

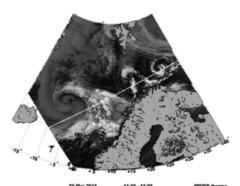
¹Вереземская П.С., ^{1,2}Степаненко В.М.

- ¹ Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова, Научно-исследовательский вычислительный центр, Москва. Россия
- ² Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова, Географический факультет, Москва, Россия E-mail: aves.indemicas@qmail.com

Ітенсивные полярные мезоциклоны (ИПМЦ, polar lows) - интенсивные короткоживущие вихри, образующиеся над поверхностью моря, свободной ото льда, преимущественно с октября по март (в северном полушарии), имеющие диаметр от 100 до 1000 км. Время жизни таких циклонов составляет от 6 до 48 часов, с ними связаны штормовые скорости ветра (от 15 м/с) и выпадение обильных осадков (до 40 мм/ч) при выходе на сушу [1]. Особенно часто в северном полушарии они наблюдаются в морях европейской Арктики и на Дальнем Востоке, где являются значительной угрозой для нефтедобывающей и судопромышленной отраслей. Это определяет потребность этих сфер в качественном прогнозе явления. Однако, прогноз ИПМЦ в настоящее время затруднен, ввиду недостаточности знаний о физике ключевых процессов, отсутствия данных наземных наблюдений над морем необходимого для этих вихрей пространственного разрешения. Единственный способ прогноза ИПМЦ заключается в использовании мезомасштабных численных моделей, обладающих высоким пространственным и временным разрешением и представляющих данные на регулярной сетке, что облегчает анализ и обработку результатов моделирования.

Цель данного исследования состоит в оценке роли различных физических механизмов в динамике ИПМЦ посредством численного расчета мезомасштабной моделью. Так, предполагается выяснить, каково влияние описания фазовых переходов влаги и явного воспроизведения конвекции в модели. Для оценки качества моделирования производится сравнение результатов моделирования с данными наблюдений.

Для численного исследования был выбран уникальный случай единовременного возникновения трех ИПМЦ в бассейне Баренцева и Норвежского морей 29-31 марта 2013 года (рис. 1). В качестве мезомасштабной модели использовалась модель WRF (Weather Research and Forecasting) с динамиче-



ским ядром ARW [4], установленная на суперкомпьютере «Ломоносов» МГУ [2]. Данные спутниковых наблюдений о приводном ветре и интегральном влагосодержании воздуха с приборов AMSR-2 (GCOM-W1) и MODIS (AQUA) были предоставлены лабораторией спутниковой океанографии РГГМУ [3].

Рисунок 1. Снимок MODIS в тепловом диапазоне в срок 11:00 30.03.13.

Было поставлено четыре численных эксперимента. В базовом эксперименте использовались следующие настройки: cxeмы CAM (Community atmospheric model) для параметризации коротковолновой и длинноволновой радиации, схема Монина-Обухова для приземного слоя, модель подстилающей поверхности Noah, параметризация турбулентности в планетарном пограничном слое Меллора-Ямады-Янича. Конвекция описывалась по схеме Грелля-Девеньи, микрофизические процессы параметризовывались по схеме Линя (LIN). В остальных экспериментах варьировались последние два блока, а именно: отключалось параметрическое описание конвекции (NOC), отключалось описание фазовых переходов влаги (NMP, т.е. без фазовых переходов) и использовалась схема микрофизики Годдарда (GDR). Пространственное разрешение составляло 10 км для всех экспериментов. Для начальных и граничных условий использовались данные реанализа ERA-Interim.

Осуществлялось визуальное и количественное сравнение с данными наблюдений о приводном ветре (на 10 м) и интегральном влагосодержании в столбе воздуха. Для этих характеристик в доступные сроки были построены карты и графики временного хода пространственной корреляции (1) и среднеквадратической разности (2).

$$C_{sm} = \frac{\overline{(g_G - \overline{g_G})(S_G - \overline{S_G})}}{\sigma_g \sigma_S}$$
 (1)
$$\sigma_{sm} = \sqrt{\overline{(S_G - g_G)^2}}$$
 (2)

$$\sigma_{sm} = \sqrt{\overline{(S_G - g_G)^2}} \ (2)$$

где g_G , S_G – поля спутниковых и модельных данных на широтно-долготной сетке, σ_g , σ_S – СКО соответствующих полей, верхней чертой обозначено осреднение величины по горизонтали в данном срезе по времени. Те же показатели рассчитывались для оценки чувствительности модели по показательным для циклонов динамическим параметрам - экстремальным значениям скорости ветра, давления и завихренности.

На качественном уровне сравнивая поля интегрального влагосодержания по данным наблюдений (рис. 2, слева) и моделирования (эксперимент LIN, рис. 2, справа) видим, что модель воспроизводит характер распределения величины в соответствии с циркуляцией и структурой вихрей, однако незначительно (на $1-1.5 \text{ кг/m}^2$) занижает значения. В эксперименте без описания микрофизических взаимодействий занижение отсутствует.

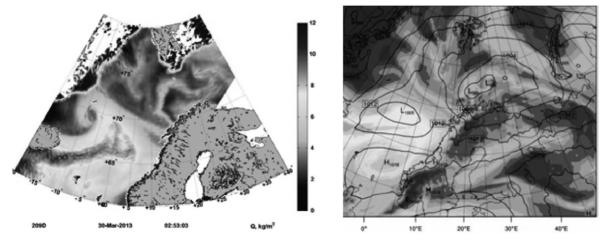


Рисунок 2. Карта распределения интегрального влагосодержания по данным AMSR-2 (слева) и данным моделирования WRF (справа). Шкала для обоих рисунков общая.

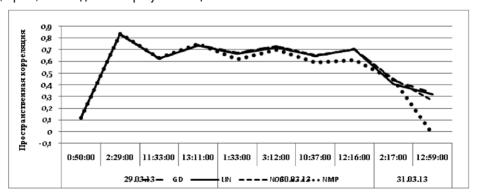


Рисунок 3. Пространственная корреляция между данными наблюдений AMSR-2 об интегральном влагосодержании и данными экспериментов моделирования WRF.

Пространственное распределение интегрального содержания водяного пара мало зависимо от локальных быстрых процессов, и корреляция по этому полю колеблется в пределах 0.63 - 0.83 в течение первых двух суток прогноза, с наибольшим разбросом между экспериментами 0.09. Тридцать первого марта происходит выход на сушу западного мезоциклона, с чем связано обильное выпадение осадков, и резкое ухудшение качества воспроизведения поля в эксперименте с отключенной параметризацией микрофизики (NMP – на рисунке 3).

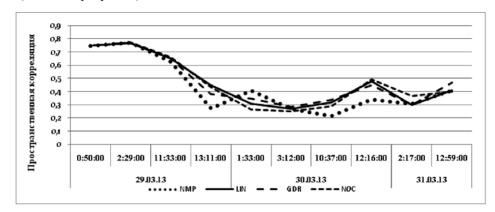


Рисунок 4. Пространственная корреляция между данными наблюдений AMSR-2 о ветре на высоте 10 м и данными моделирования WRF.

Пространственная корреляция между полями наблюдений за ветром и моделирования составляет для всех экспериментов от 0,66 до 0,77 в первые 12 часов прогноза, далее снижается до 0,21 – 0,33 и характеризуется разбросом между экспериментами до 0,2. Таким образом, поле приводного ветра оказалось хуже предсказуемым, чем поле интегрального влагосодержания.

Наилучшим образом поле облачности, в первую очередь конвективного происхождения, воспроизводится при явном описании конвекции. Поле балла облачности в слое 1200 – 1300 м отражает структуру двух восточных конвективных мезоциклонов, которые можно отнести к типам "запятая" и "спираль" (рис. 5), и описывает возникновение открытых ячеек мелкой конвекции в области адвекции холодного воздуха (рис. 6).

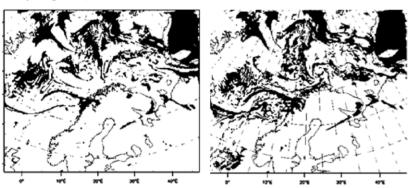
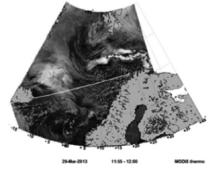
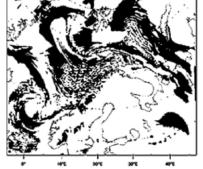


Рисунок 5. Карта распределения балла облачности в долях единицы по данным экспериментов LIN (справа) и NOC (слева) в срок 11:00 30.03. Белый цвет — 0 баллов, черный — 1.

Рисунок 6. Поле облачности на снимке в тепловом диапазоне MODIS (слева) и карта распределения балла облачности в долях единицы (справа) по данным моделирования NOC в срок 12:00 29.03. Белый цвет — 0 баллов, черный — 1.





Видно, что характеристики, наиболее тесно связанные с процессами, описываемыми схемами микрофизики и конвекции достаточно чувствительны к их изменениям. Однако динамические характеристики циклона, отвечающие за его интенсивность и развитие, мало чувствительны к ним. Так, пространственная корреляция полей ветра и давления между базовым и прочими экспериментами составляет более 0,99 во все сроки, и ход экстремальных значений этих величин единообразен для всех экспериментов (не показано). Отличие являет поле завихренности: здесь корреляция между составила 0,840,99, причем наименьшее значение соответствует сравнению экспериментов LIN и NMP. Это связано с изменением конфигурации и размещения областей максимальной завихренности относительно вихря, а также занижением и завышением значений относительно базового в экспериментах NMP и NOC, соответственно (рис. 7). Наблюдается значительный разброс между экспериментами в максимальных значениях поля завихренности – до 1^* 10^{-3} при абсолютных значениях $1,2-2,2^*$ 10^{-3} c^{-1} .

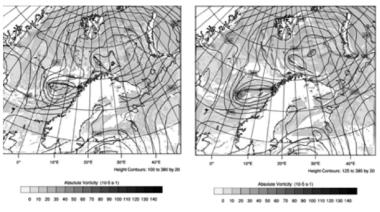


Рисунок 7. Карты распределения абсолютной завихренности на уровне 980 гПа по данным экспериментов NOC (слева) и NMP (справа) в срок 18:00 30.03.13.

Наблюдавшиеся циклоны в соответствии с синоптическими условиями их образования можно разделить на два типа: циклоны конвективной природы (два циклона в Баренцевом море, запятая и спираль, см. рис.1) и бароклинной-конвективной (западный циклон в Норвежском море). Конвективные образования в течение всей эволюции характеризовались значительными запасами энергии неустойчивости, температурной симметрией и были приурочены к области своего образования. Бароклинный циклон на начальной стадии развивался благодаря значительному (10° на 100 км) меридиональному температурному градиенту, наблюдавшемуся в локальной бароклинной зоне (рис. 8).

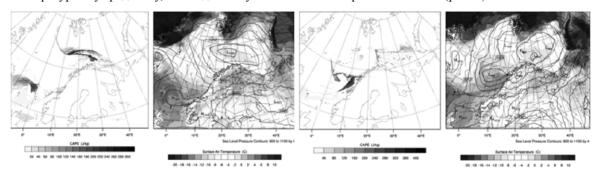


Рисунок 8. Карты распределения энергии неустойчивости и температуры, давления и модуля ветра у поверхности земли, в сроки 12:00 29.03 (слева) и 18:00 30.03 (справа), по данным эксперимента GDR (с схемой микрофизики Годдарда).

Вследствие дальнейшего развития и углубления западного циклона возникли условия для реализации механизма обмена теплом с поверхностью за счет обратной связи со скоростью ветра (WISHE — wind induced surface heat exchange). В зрелой стадии основным источником энергии, участвующим в динамике этого циклона, становятся потоки тепла и влаги с поверхности (рис. 9), а также вызванное их интенсификацией развитие конвекции.

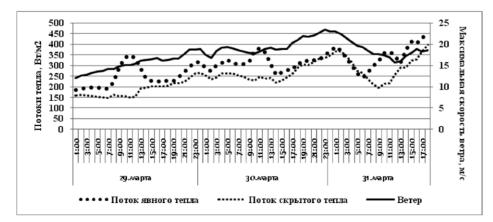


Рисунок 9. График хода максимальных значений ветра, потоков явного и скрытого тепла в области движения западного циклона в период интегрирования по данным эксперимента GDR.

Таким образом, исследование показало, что:

Модель показывает хорошее (по значениям пространственной корреляции и качественному характеру пространственного распределения) соответствие данным спутниковых наблюдений.

Наилучшее соответствие с данными наблюдений показал эксперимент с описанием микрофизики по схеме Годдарда

Отключение описания фазовых переходовв модели не сказывается на воспроизведении общей структуры вихря, но отражается в полях влажности, завихренности, облачности

Циклон бароклинной природы в процессе развития формирует условия для смены механизма, определяющего его динамику, на конвективный механизм.

Литература:

- 1. Polar lows, J. Turner, E.A. Rasmussen, 612, Cambridge University press, Cambridge, 2003.
- 2. V. Sadovnichy, A. Tikhonravov, Vl. Voevodin, and V. Opanasenko "Lomonosov": Supercomputing at Moscow State University. In Contemporary High Performance Computing: From Petascale toward Exascale (Chapman & Hall/CRC Computational Science), pp.283-307, Boca Raton, USA, CRC Press, 2013.
- 3. Zabolotskikh, E. V., L. M. Mitnik, and B. Chapron (2013), New approach for severe marine weather study using satellite passive microwave sensing, Geophys. Res. Lett., 40, 3347–3350, doi:10.1002/grl.50664.
- 4. Skamarock, W. C., J. B. Klemp, J. Dudhia, D. O. Gill, D. M. Barker, W. Wang, and J. G. Powers, 2008: A description of the Advanced Research WRF Version 3. NCAR Tech Notes-468+STR.

Динамика атмосферного фронта над крутой орографией: модель конечных элементов

М.С. Юдин

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН, Новосибирск, Россия E-mail: yudin@ommfao.sscc.ru

В настоящей работе обсуждаются результаты моделирования с двумерной моделью конечных элементов распространения сформировавшегося холодного атмосферного фронта, поверхность которого описывается отдельным уравнением со специальной конструкцией подавления нефизических осцилляций, над орографическими препятствиями различной формы. Расчеты проводились для типичных значений параметров орографических структур и температурной стратификации. Показано сильное замедление потока при крутой орографии, а также хорошо моделируется эффект блокирования воздушного потока вблизи поверхности. Приводятся значения наветренной и подветренной скоростей потока в зависимости от стратификации и формы препятствия.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант 14-01-00125-а), Президиума РАН (программа №4)и ОМН РАН (программа №3).

Atmospheric front dynamics over steep orography: finite element model

Yudin M.S.

Institute of Computational Mathematics and Mathematical Geophysics SB RAS, Novosibirsk, Russia E-mail: yudin@ommfao.sscc.ru

In this paper the propagation of a cold atmospheric front over orographic obstacles of various shapes is simulated with a 2D finite-element model. The front surface is explicitly described by a special equation. A time filter is used to suppress the non-physical oscillations. The effects of flow retardation and near surface blocking under steep orography are estimated. The upwind and downwind velocities calculated for typical values of the parameters of orography and stratification. are presented.

GOVERNING EQUATIONS AND DISCRETIZATION

The following equations for compressible flow are used to calculate the meteorological fields:

$$\frac{dU}{dt} + \frac{\partial P}{\partial x} = f_1(V - V_g) - f_2W + R_u,$$

$$\frac{dV}{dt} + \frac{\partial P}{\partial y} = -f_1(U - U_g) + R_u,$$

$$\frac{dW}{dt} + \frac{\partial P}{\partial z} + \frac{gP}{C_s^2} = f_2 U + g \frac{G^{1/2} \overline{\rho} \theta'}{\theta} + R_{\varpi}$$

$$\frac{d\theta}{dt} = R_{\theta},$$

$$\begin{split} &\frac{ds}{dt} = R_s, \\ &\frac{1}{C_s^2} \frac{\partial P}{\partial t} + \frac{\partial U}{\partial x} + \frac{\partial V}{\partial y} + \frac{\partial W}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial t} (\frac{\overline{\rho} \theta'}{\theta}) \end{split}$$

$$U = \overline{\rho}u, V = \overline{\rho}v, P = \overline{\rho}p', W = \overline{\rho}w$$

COLD FRONT PROPAGATION OVER STEEP OROGRAPHIC OBSTACLES

An example calculation is shown here for the propagation of an idealized cold atmospheric front over a valley with input parameters from [4]: The obstacle is a circular valley with an axially symmetric Gaussian height profile of 600 m. The computational domain is 25×2 km. The front surface is de-

where p', θ 'are deviations from a basic state for pressure \overline{p} and potential temperature $\overline{\theta}$, respectively, s is specific humidity, C_s is sound wave speed, u_g and v_g are geostrophic wind components representing the synoptic part of the pressure, f_1 and f_2 are Coriolis parameters, g is gravity constant. R_u , R_v , R_ω , R_θ , and R_s are terms for subgrid-scale processes in the K-theory.

A description of the model can be found ,e.g.,in [1,5].In the present paper, a 2D version of the model with a finite-element spatial discretization is used [2]. The equations are discretized in time as follows [3]:

$$\delta_t U + \frac{\partial}{\partial x} \overline{P}^t + \frac{\partial}{\partial \xi} (G^{13} \overline{P}^t) = -ADVU,$$

$$\delta_t W + \frac{1}{G^{1/2}} + \frac{\partial \overline{P}t}{\partial \xi} + \frac{g \overline{P}'}{Cs^2} = BUOY - ADVW,$$

$$\frac{1}{Cs^2}\delta_t P + \frac{\partial}{\partial x}\overline{U}^t + \frac{1}{G^{1/2}}\frac{\partial\overline{W}^t}{\partial \xi}$$

$$+\frac{\partial}{\partial \xi}(G^{13}\overline{U}^{t}) = PFT,$$

$$\overline{f}^{t} = \frac{1+\alpha}{2} f^{t+\Delta t} + \frac{1-\alpha}{2} f^{t-\Delta t},$$

$$\delta_t f = \frac{f^{t+\Delta t} - f^{t-\Delta t}}{2\Delta t}$$

scribed in the model by an equation for advection of a scalar substance. The equation is solved numerically by a third-order semi-Lagrangian procedure. The front surface was taken initially as a step-function. In Figure 1the front arrives at and in Figure it departs from the valley.

The results of a series of calculations with various input parameters of initial front height, obstacle height, and stratification are shown in Table 1. The calculated values of windward and leeward speeds are given in the last columns.

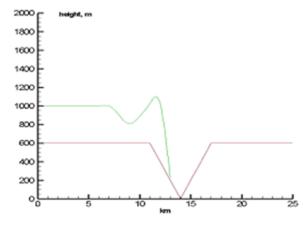


Fig. 1. Cold front propagation over valley: neutral stratification, arrival

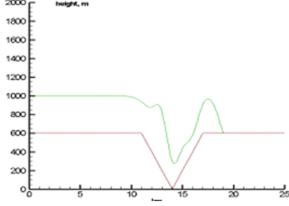


Fig.2. Cold front propagation over valley: neutral stratification, departure

A reasonable agreement is obtained between these data and results of paper [4] calculated with a different atmospheric model and numerical scheme for temperature advection. Some important physical phenomena, e.g., the formation of an upwind-propagating hydraulic jump, shown here in Figs. 1 and 2, is well reproduced by the present model. These tentative results show that the finite-element model can be used for the simulation of atmospheric front propagation over steep orographic obstacles.

Table 1. Cold front propagation over orographic obstacles of various shapes and stratifications

OBSTACLE HEIGHT (m)	INITIAL FRONT HEIGHT (M)	STRATIFICATION (K/100 m)	WINDWARD SPEED (m/sec)	LEEWARD SPEED (m/sec)
0	600	0.0	4.5	4.5
0	600	0.35	5.1	5.1
600	600	0.0	4.4	3.7
600	600	0.35	4.9	2.7
600	300	0.35	3.0	0.0
600	900	0.35	7.5	4.5
- 600	600	0.0	4.5	3.9

Acknowledgements. This work was supported by the RAS Presidium, under Program 4, the RAS Department of Mathematical Sciences, under Program 3, and the Russian Foundation for Basic Research, under Grant 14-01-00125-a.

References:

- 1. Yudin, M.S. Numerical simulation of orographic waves // Bull. Nov. Comp. Center, Num. Model. in Atmosph., -1995.-V.2.-P. 101-107.
- 2. Yudin M.S., Wilderotter K. Simulating atmospheric flows in the vicinity of a water basin. // Computational Technologies. V.11, No. 3,-P. 128-134.
- 3. Ikawa M. Comparison of some schemes for non-hydrostatic models with Orography //J. Meteor. Soc. Japan.-1988- V. 66,- No. 5,- P. 753-776.
- 4. Bischoff-Gauss I., Gross G., Wippermann F. Numerical studies on cold fronts. Part 2: Orographic effects on gravity flows // Meteorol. Atmos. Phys- 1989- V.40. P.159--169.
- 5. Yudin M.S. A splitting algorithm for a compressible atmospheric model. In: Penenko V.V. (ed.). Methods of Math. Modeling for Problems of Environmental Protection and Ecology, Novosibirsk, Comp. Center, 1991 (in Russian).

Comparison of the temperature fields obtained from satellite probing and ERA-Interim data for geopotential height 10 hPa in wintertime over Siberia

Kochetkova O.S., Devyatova E.V., Tatarnikov A.V., Mordvinov V.I., Shcheglova E.S.

Institute of Solar-Terrestrial Physics SB RAS, Irkutsk, Russia E-mail: meteorologist-ka@yandex.ru

Te compared the temperature fields obtained from satellite probing data and ERA-Interim re-analysis data for geopotential height 10 hPa in wintertime over Siberia. Comparison was made from November to March for two years – 2008/2009 and 2009/2010. Comparison showed good spatial and temporal agreement between observation and archival data. That allows us to use both databases for studies of the circulation processes in the stratosphere, and use satellite probing data at higher levels up to the heights of the ionosphere.

Сравнение полей температуры по данным спутникового зондирования и архива ERA-Interim на уровне 10 гПа в зимний период над Сибирью

Кочеткова О.С., Девятова Е.В., Татарников А.В., Мордвинов В.И., Щеглова Е.С.

Институт солнечно-земной физики СО РАН, Иркутск, Россия E-mail: meteorologist-ka@yandex.ru

В последнее десятилетие приобрели большую популярность и широко используются в исследованиях общей циркуляции атмосферы данные архивов реанализа – NCEP/NCAR Reanalysis, NCEP/DOE AMIP II [1, 2], ECMWF ERA-40 [3], ECMWF ERA-Interim [4], JRA [5], полученные с помощью комплексных систем усвоения многолетних инструментальных наблюдений. Так как данные реанализов отличаются от натурных измерений и различаются между собой из-за особенностей систем усвоения, главного достоинства архивов - глобального покрытия всего земного шара с равномерной горизонтальной сеткой и достаточно большой вертикальной протяженностью - может оказаться недостаточно для решения ряда специфических исследовательских задач. К таким задачам относятся, например, исследования метеоэффектов в ионосфере и связей циркуляционных процессов на высотах ионосферы с процессами на нижних уровнях атмосферы. Так как архивы реанализов не распространяются до таких высот, возникает задача поиска данных, а также вопрос о степени согласованности этих данных с архивами реанализов, используемыми для исследования циркуляционных процессов в нижней и средней атмосфере.

Со второй половины 70-х годов XX века исследование верхней атмосферы стало возможным благодаря спутниковому зондированию. Дистанционное зондирование позволяет определять вертикальные профили атмосферных параметров (температура, влажность и др.). Соответствующие исследования проведены во многих странах, в том числе и в России [6, 7]. В данной работе для исследования пространственно-временных изменений температуры и сравнения этих изменений с данными климатических архивов, мы использовали данные TOVS со спутников серии NOAA. Аппаратура TIROS Operational Vertical Sounder (TOVS) представляет собой комплекс из трех независимых систем, данные которых могут быть использованы для восстановления вертикальных профилей температуры, влажности воздуха, поля ветра, концентрации озона и других параметров.

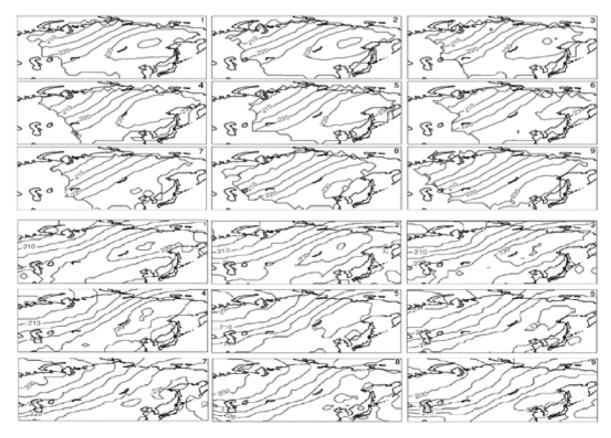


Рис. 1. Пространственные распределения температуры на уровне 10 гПа с 1 по 9 ноября 2009 г. Верхние девять панелей — данные спутникового зондирования, нижние девять панелей — данные архива ERA-Interim.

Мы провели сравнение данных TOVS о температуре на уровне $10 \, \text{гПа}$ в долготно-широтном секторе 40° в.д. -160° в.д. и 30° с.ш. -80° с.ш. с данными о температуре на этом же уровне в срок $00 \, \text{СГВ}$ из архива ERA-Interim. Оба набора данных представлены в узлах сетки $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$. Сравнение проведено для двух зимних периодов (ноябрь - март) 2008/2009 и 2009/2010гг.

Первым этапом сравнения был визуальный анализ пространственных распределений температуры за отдельные дни. На рис. 1 для примера приведены распределения температуры с 1 по 9 ноября 2009 г. по данные спутникового зондирования и по данным архива ERA-Interim

Визуальное сравнение распределений на рис.1 показало хорошее соответствие полей температуры над исследуемой территорией, построенных по двум наборам данных, за все дни использованных периодов. Но кроме сопоставления пространственных распределений важно также провести сравнение и выяснить степень согласованности временных вариаций температуры в двух наборах данных. Для этого нами были рассчитаны коэффициенты корреляции между вариациями температуры по данным спутникового зондирования и данным ERA-Interim отдельно за каждый из месяцев с ноября по март для двух зим — 2008/2009 и 2009/2010гг. Коэффициенты корреляции рассчитывались в 12 узлах сетки, показанных на рис.2, - 4 узла в Западной Сибири, 4 – в Прибайкалье и 4 – в Якутии.



Рис. 2. Узлы сетки, в которых рассчитывались коэффициенты корреляции между временными вариациями температуры из двух наборов данных. Буквами обозначены местоположения городов: Т — Томск, И — Иркутск, Я — Якутск.

Таблица 1. Значения коэффициентов корреляции для зимы 2009/2010:

Nº	координаты	Ноябрь	Декабрь	Январь	Февраль	Март
	Прі	ибайкалье:	•			
1	100° в.д. 50° с.ш.	0,93	0,94	0,81	0,83	0,96
2	100° в.д. 55° с.ш.	0,92	0,93	0,87	0,87	0,96
3	105° в.д. 50° с.ш.	0,90	0,95	0,80	0,86	0,94
4	105° в.д. 55° с.ш.	0,92	0,92	0,89	0,89	0,96
	Запад	ная Сибирь:				
5	85° в.д. 60° с.ш.	0,94	0,89	0,94	0,92	0,95
6	85° в.д. 65° с.ш.	0,94	0,92	0,93	0,93	0,93
7	90° в.д. 60° с.ш.	0,94	0,88	0,94	0,93	0,94
8	90° в.д. 65° с.ш.	0,94	0,90	0,95	0,92	0,93
		Якутия:				
9	130° в.д. 60° с.ш.	0,81	0,98	0,93	0,86	0,86
10	130° в.д. 65° с.ш.	0,91	0,94	0,96	0,91	0,71
11	135° в.д. 60° с.ш.	0,73	0,98	0,92	0,84	0,78
12	135° в.д. 65° с.ш.	0,90	0,96	0,95	0,92	0,70

Расчеты коэффициентов корреляции показали хорошее соответствие данных спутникового зондирования и архива ERA-Interim. Минимальные значения коэффициентов корреляции отмечаются в Якутии, но даже в этом случае они принимают значения не менее 0,70.

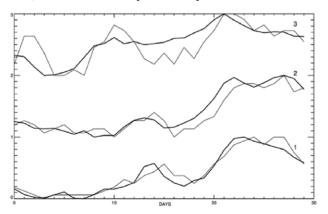


Рис. 3. Графики температуры на уровне 10 гПа в марте 2010 г. в точках с координатами 100° в.д. 50° с.ш. (1), 90° в.д. 60° с.ш. (2), 135° в.д. 65° с.ш. (3). Толстые линии — графики, построенные по данным спутникового зондирования; тонкие линии — по данным архива ERA-Interim. По оси абсцисс отложены номера дней.

Для того, чтобы более наглядно проиллюстрировать временную динамику температуры и визуально оценить степень согласованности данных были выбраны три узла сетки, по одному для каждого из исследуемых регионов, и построены графики изменений температуры в этих узлах в марте 2010 г (рис.3). Март месяц был выбран потому, что для него характерен наибольший разброс значений коэффициентов корреляции, от 0,96 в Прибайкалье до 0,70 в Якутии. Вариации температуры приведены в относительных единицах и смещены по вертикальной оси для удобства сопоставления.

Анализ графиков показывает достаточно хорошее соответствие между двумя исследуемыми наборами данных. Однако, есть и отличия. В узлах сетки 1 и 2 (коэффициенты корреляции между двумя наборами данных 0,96 и 0,94 соответственно) различия вариаций проявляются, в основном, в форме сдвига в отдельные моменты времени между графиками на интервал времени порядка 1 – 2 суток. В точке 3 (коэффициент корреляции 0,70) различия в вариациях температуры обусловлены более сглаженным характером графика, построенного по спутниковым данным, вследствие чего согласие на коротких интервалах времени хуже, чем на более длительных интервалах.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ.

Проведенное в работе сравнение пространственного распределения и динамики температуры на уровне 10 гПа в зимний период над Сибирью по данным спутникового зондирования и архива ERA-Interim показало хорошее соответствие между ними. Это позволяет использовать одновременно оба набора данных для исследования процессов в верхней, средней и нижней атмосфере, а также в изучении взаимосвязей между ними.

Работа выполнена в рамках программы №OH3-8.3 "Экспериментальные исследования ионосферно-атмосферно-литосферных процессов в зонах высокой сейсмической активности".

Литература:

- 1. Kalnay E., Kanamitsu M., Kistler R. et al. The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project // Bull. Amer. Meteor. Soc. 1996. V. 77. № 3. P. 437–471.
- 2. Kanamitsu M., Ebisuzaki W., Woollen J. et al. NCEP DOE AMIP-II Reanalysis (R-2) // Bull. Amer. Meteor. Soc. 2002. Nov. № 11. P. 1631–1643.
- 3. Uppala S.M., Kallberg P.W., Simmons A.J. The ERA-40 re-analysis // Q. J. R. Meteorol. Soc. 2005. V. 131. № 612. pp. 2961–3012.
- 4. Dee D.P., Uppala S.M., Simmons A.J. The ERA-Interim reanalysis: configuration and performance of the data assimilation system // Q. J. R. Meteorol. Soc. 2011 A. № 137. pp. 553–597.
- 5. Onogi, K., J. Tsutsui, H. Koide, M. Sakamoto, S. Kobayashi, H. Hatsushika, T. Matsumoto, N. Yamazaki, H. Kamahori, K. Takahashi, S. Kadokura, K. Wada, K. Kato, R. Oyama, T. Ose, N. Mannoji and R. Taira. The JRA-25 Reanalysis. // J. Meteor. Soc. Japan. 2007. 85. pp. 369-432.
- 6. Кондратьев К. Я., Тимофеев Ю. М. Метеорологическое зондирование атмосферы из космоса. Л. Гидрометеоиздат, 1978. 279 с.
- 7. Герман М. А. Метеорологическое зондирование атмосферы из космоса. Л. Гидрометеоиздат, 1985. 260 с.

Mathematical modeling and spatial analysis of GHG emissions processes from Agriculture sector of Poland

¹Charkovska N.V., ^{1,2}Bun R.A.

- ¹ Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine
- ² Academy of Business in Dąbrowa Górnicza, Poland

E-mail: nadiya.fedyshyn@gmail.com, rost.bun@gmail.com

The last twenty years humanity thinks more and more about climate changes. Scientists argue that one of the main reasons of climate changes is a high level of the concentrations of greenhouse gases (GHG) in the atmosphere, because of the various types of human activity. On the purpose to prevent these changes, on the international level the obligations have been accepted on performance of national GHG inventories for major sectors of the economy by all countries which have accepted and ratified Kyoto protocol to the United Nations

Framework Convention on Climate Change. In this regard, assessment of GHG emissions is an urgent problem in checking of the compliance of the international obligations on the GHG emissions reduction. The share of the agricultural sector of Poland in total GHG emissions is ponderable. The assessment of GHG emissions from this sector is extremely important to find out the structure of total national GHG emissions. Therefore, the aim of this work is the development of mathematical models of GHG emission processes from the different categories of the agricultural sector. These models reflect the dependence of emissions from results of the economic activity and specific regional emission factors. With the usage of such mathematical models and the created geoinformation technology we have carried out the spatially distributed GHG inventory and have obtained the estimates of GHG emissions at elementary areas 2 km per 2 km for each category of agriculture sector. Using the tools of geoinformation system we have built the spatial cadastre of CO₂-eqv. emissions. The results of spatial GHG inventory show that the territorial distribution of emission sources is extremely uneven. The results of modeling, displayed on the built digital map, present the regional specificity of GHG emission processes in Poland and are important for authorities in making strategic decisions on how to reduce emissions in the respective territories.

The study was conducted within the European Union 7FP Marie Curie Actions IRSES project No. 247645, acronym GESAPU.

Математическое моделирование и пространственный анализ процессов эмиссии парниковых газов в сельскохозяйственном секторе Польши

¹Чарковская Н.В., ^{1,2}Бунь Р.А.

- 1 Национальный университет "Львовская политехника", Львов, Украина
- ² Академия бизнеса в Домброве Гурничей, Польша

E-mail: nadiya.fedyshyn@gmail.com, rost.bun@gmail.com

1. ВСТУПЛЕНИЕ

Проблема климатических изменений очень активно обсуждается в научных кругах. Доля влияния антропогенного фактора на изменения климата очень высокая, как результат сейчас в атмосфере нашей планеты наблюдается повышение уровня концентраций парниковых газов, напрямую связанное с глобальным потеплением. С целью сокращения уровня эмиссий установлено ряд международных обязательств, а также подкреплено их соответствующими документами. Среди них основное место принадлежит Киотскому протоколу, который установил ограничения на эмиссии парниковых газов для индустриальных стран. В связи с этим, оценивание эмиссий парниковых газов является актуальной научной задачей по проверке выполнений принятых обязательств всеми странами, в том числе Польшей. Проанализированы основные методы и подходы к математическому моделированию процессов эмиссии парниковых газов на уровне страны, регионов и элементарных участков территории с целью осуществления инвентаризации парниковых газов в сельском хозяйстве Польши. Методики инвентаризации парниковых газов на национальном уровне (т.е. на уровне страны), разработанные международной группой экспертов по изменению климата, благодаря своей универсальности могут использоваться для разных стран, несмотря на существенные различия между ними в различных аспектах. Эти методики охватывают основные сектора хозяйственной деятельности: энергетика, промышленность, сельское и лесное хозяйство, изменения в землепользовании, оперирование с отходами. Значительная часть в общих эмиссиях принадлежит сельскому хозяйству. Инвентаризация парниковых газов на уровне страны осуществляется каждый год и ее результаты предоставляются в национальных отчетах. Преимуществом пространственной инвентаризации перед традиционной является возможность моделирования эмиссионных процессов на очень маленьких участках территории и построение пространственных кадастров этих эмиссий. Пространственно распределенная инвентаризация парниковых газов, в частности в сельскохозяйственном секторе, не осуществлялась для Польши.

2. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Цель этих исследований — разработка математических моделей для оценивания эмиссий парниковых газов в различных категориях сельскохозяйственного сектора Польши и их пространственный анализ. Рассмотрены основные источники эмиссий парниковых газов в секторе "Сельское хозяйство" Польши согласно методик МГЭИК [6], которые условно можно поделить на животноводство и растениеводство.

К животноводству относится:

- энтеральная ферментация домашнего скота (большого рогатого скота, коров, овец, коз, лошадей, свиней);
 - уборка, хранение, разложение и использование навоза домашнего скота.

Растениеводство подразделяется на категории:

- почвы сельскохозяйственного назначения, которые в свою очередь делятся на: а) прямые эмиссии парниковых газов от почв (как результат выращивания сельскохозяйственных культур на пахотных почвах; внесение в эти почвы минеральных, органических удобрений, навоза скота; биологическая фиксация азота с/х культурами); б) непрямые эмиссии от почв (выпадение атмосферных осадков; выщелачивание и сток азота из почв); в) выпас домашнего скота на пастбищах;
- сжигание сельскохозяйственных отходов (остатков сельскохозяйственных культур после сбора урожая).

В сельском хозяйстве имеют место значительные эмиссии метана ($\mathrm{CH_4}$) и закиси азота ($\mathrm{N_2O}$). Например, части сельскохозяйственного сектора в общих эмиссиях в 2010 году для метана составляли 35,06%, а для закиси азота -83,02% [7]. В публикациях [1-5] осуществлена пространственная инвентаризация для отдельных категорий сельскохозяйственного сектора.

3. МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ЭМИССИОННЫХ ПРОЦЕССОВ

Для осуществления пространственной инвентаризации в сельскохозяйственном секторе Польши был использован геоинформационный подход, который основывается на разделении исследуемой территории на элементарные участки и последовательном моделировании эмиссионных процессов на каждом из них. Средствами геоинформационной системы сформировано множество таких элементарных участков исследуемой территории размером 2 км х2 км в пределах гмин – административных единиц Польши третьего уровня (аналог сельсоветов).

Оценивание эмиссий парниковых газов от сельскохозяйственной деятельности в Польше на уровне элементарных участков осуществляется с помощью обобщенной математической модели:

$$E_{Agr}^{g}(\delta_{n}) = \sum_{t=1}^{T} \left[D_{t}(\delta_{n}) \cdot K_{t}^{g}(\delta_{n}) \right]$$
(1)

где E^{g}_{Agr} — годичные эмиссии g-го парникового газа в δ_n -м элементарном участке от всех источников эмиссий в сельскохозяйственном секторе ("Agr" означает сектор "Сельское хозяйство"); $D_t(\delta_n)$ — статистическая информация о с/х деятельности для t-го источника эмиссии в δ_n -м элементарном участке; $K^g_{\ t}$ (δ_n) — коэффициент эмиссии для g-го парникового газа от t-го источника в пределах δ_n -го элементарного участка; T — количество категорий источников эмиссии парниковых газов в с/х секторе.

Для оценивания эмиссий парниковых газов в животноводстве использована статистическая информация о поголовье различных видов домашнего скота на уровне гмин отдельно для разных типов собственности (в собственности населения и фермерских предприятий). В растениеводстве использованы статистические данные об объемах использованных минеральных азотных удобрений; осадке сточных вод; поголовье скота и птицы; площади под различными культурами (зерновыми, бобовыми, корнеплодами, овощами и фруктами) и показатели их урожайности. В сельскохозяйственном секторе эмиссии от поголовья скота и почв с/х назначения можно считать плоскостными источниками эмиссии парниковых газов. Например, при моделирование эмиссионных процессов в животноводстве предполагаем, что поголовье домашнего скота в собственности сельского населения распределено пропорционально части населения сел в элементарном участке, а поголовье скота в собственности с/х предприятий – пропорционально площади с/х земель, на которых может вестись фермерская деятельность (пахотные почвы, пастбища и другие с/х территории).

Статистическая информация относительно сельскохозяйственной деятельности использована из локальной базы данных Польши (в виде таблиц Excel по административным единицам Польши – гминам, поветам или воєводствам) [8], а коэффициенты и другие необходимые параметры – из польского национального отчета по инвентаризации парниковых газов за 2012 год [7]. В роботе также использован статистический ежегодник по сельскому хозяйству за 2011 год [9].

С целью моделирования эмиссий парниковых газов на уровне элементарных участков создана геоинформационная технология, которая использует статистические данные о сельскохозяйственной деятельности на уровне гмин, коэффициенты эмиссии, цифровую карту гмин и на их основе формирует геораспределеную базу входных данных. Карта землепользования Польши создана средствами геоинформационной системы с помощью операций вырезания из карты землепользования территорий лесов, промышленных объектов и т.п., оставив лишь пахотные почвы и пастбища. Разработанная система дает возможность строить пространственные кадастры эмиссий парниковых газов и осуществлять их пространственный анализ. При этом каждая категория источников эмиссий в секторе "Сельское хозяйство" имеет отдельный шар цифровой карты.

4. РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ ЭМИССИОННЫХ ПРОЦЕССОВ

В результате численных экспериментов получены оценки эмиссий парниковых газов от всех категорий сельскохозяйственного сектора на уровне элементарных участков размером 2 км \times 2 км в пределах гмин Польши. Как пример, на рис. 1 проиллюстрировано территориальное распределение суммарных эмиссий в CO_2 -эквиваленте, то есть эмиссии метана и закиси азота умножено на их коэффициенты глобального потепления (25 — для метана и 298 — для закиси азота).

Суммарные эмиссии метана ($\mathrm{CH_4}$) в сельскохозяйственном секторе в 2010 году по результатам оценивания составили 580,43 тыс. тонн. Самая большая часть в эмиссиях метана принадлежит категории "Энтеральная ферментация домашнего скота" (74,91% или 434,81 тыс. тонн). При этом на кишечную ферментацию всего домашнего скота в собственности сельского населения приходится 411,56 тыс. тонн, а в собственности с/х предприятий – лишь 23,25 тыс. тонн. Наибольшая часть эмиссий метана в анализируемой категории происходит от энтеральной ферментации коров (59,33%) за счет большого значения коэффициента эмиссии и значительного поголовья, а наименьшая часть – от коз (0,006%).

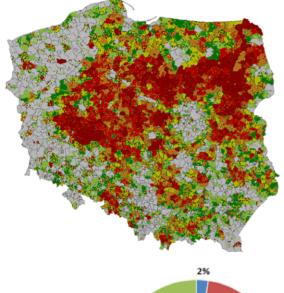
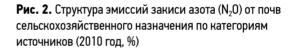
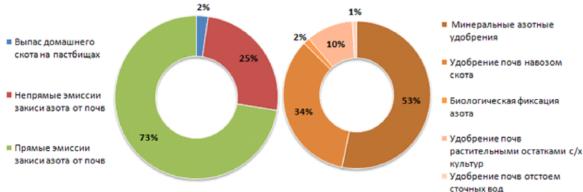


Рис. 1. Пространственная инвентаризация годичных суммарных эмиссий от сельскохозяйственного сектора на уровне элементарных участков территории 2 км х 2 км в Польше (2010 год, тыс. тонн, CO_2 -эквивалент)





Разложение отходов жизнедеятельности скота (навоза) сопровождается значительными эмиссиями метана и занимает второе место в сельскохозяйственном секторе с долей 24,98% и эмиссиями 145,01 тыс. тонн. В анализируемой категории на разложение навоза свиней приходится 59,95% всех эмиссий метана или 86,92 тыс. тонн.

Часть категории "Сжигание остатков сельскохозяйственных культур на полях" в суммарных эмиссиях метана от сельскохозяйственного сектора очень низкая и составляет лишь 0,001%, соответственно 0,6 тыс. тонн, она, тем не менее, очень важна для получения объективной структуры эмиссий в анализируемом секторе.

Суммарные эмиссии закиси азота (N_2O) в секторе "Сельское хозяйство" составили 57,84 тыс. тонн. Лидером в плане эмиссий в сельскохозяйственном секторе являются почвы сельскохозяйственного назначения с долей 78,76% или 45,56 тыс. тон. Эмиссии закиси азота также имели место при уборке, хранении и использовании навоза скота в различных системах хранения (твердых и жидкостных) и составили 12,28 тыс. тонн в 2010 году (21,24%). Структура источников эмиссий закиси азота от почв представлена на рис. 2. Значительная часть (73%) в суммарных эмиссиях от почв (см. рис.2) принадлежит прямым эмиссиям (диаграмма слева). Разбиение прямых эмиссий на подкатегории с долей влияния каждой из них отображена на рис. 2 (диаграмма справа).

4. ВЫВОДЫ

Разработанные математические модели и геоинформационная технология их реализации дают возможность осуществить пространственную инвентаризацию эмиссий парниковых газов от домашнего скота (энтеральная ферментация и разложение навоза), а также от сельскохозяйственных почв (внесение различных удобрений, выпас домашнего скота, сжигание сельскохозяйственных остатков и другие) для каждого элементарного объекта в пределах гмин Польши. Осуществлено оценивание эмиссий парниковых газов для каждой категории на уровне элементарных участков 2 км × 2 км для Польши. Результаты пространственной инвентаризации суммарных эмиссий парниковых газов представлены на рис. 1. Значения эмиссий просуммированы до уровня воеводств. Полученные результаты свидетельствуют о том, что территориальное распределение источников эмиссии парниковых газов является очень неравномерным. Например, наибольшие эмиссии имели место в Мазовецком воеводстве (4999,51 тыс. тон СО₂-эквивалент), что составляет около 15,6% суммарных эмиссий в стране, а наименьше – у Любуском воеводстве (728,29 тыс. тонн). Результаты инвентаризации, представленные в виде пространственных кадастров, крайне важны для властных структур при принятии стратегических решений относительно путей сокращения эмиссий парниковых газов на соответствующих территориях. Осуществлен сравнительный анализ полученных результатов с теми, которые представлены на уровне страны в отчете [2]. Работы выполнены в рамках проекта 7FP Marie Curie Actions IRSES project No. 247645.

Литература:

- 1. Чарковская Н. В. Геоинформационная технология моделирования и пространственного анализа прямых эмиссий закиси азота от сельскохозяйственных почв / Н. В. Чарковская, Р. А. Бунь // Искусственный интеллект. Донецк, 2013. Вып. 62. С. 235-243.
- 2. Чарковская Н. В. Моделирование и пространственный анализ эмиссионных процессов от внесения навоза в сельскохозяйственные почвы / Н. В. Чарковская // Материалы III-й Всеукраинской научно-практической конференции "Современные технологии в экономике, менеджменте и образовании". Львов: Львовский филиал ПВНЗ "Европейский университет", 2012. С. 84-89.
- 3. Чарковская Н. В. Математическое моделирование и пространственный анализ процессов эмиссии закиси азота от внесения растительных остатков в пахотные земли Польши / Н.В. Чарковская, Р.А. Бунь // Материалы ІІ-й Всеукраинской научно-практической конференции молодых ученых и студентов "Интеллектуальные технологии в системном программировании". Хмельницкий: Триада-М, 2013. С. 259-262.
- 4. Чарковская Н. В., Математическое моделирование процессов эмиссии парниковых газов при выращивании азот-фиксирующих культур / Н. В. Чарковская // Материалы ІІ-й Международной научно-технической конференции "Вычислительный интеллект". Черкассы: Маклаут, 2013. С. 443-444.
- 5. Чарковская Н. В. Моделирование процессов эмиссии закиси азота от выпаса сельскохозяйственных животных в Польше / Н. В. Чарковская, О. С. Стрямец // Материалы 11-й Открытой научной конференции ИМФН. Львов: НУ "ЛП", 2013. С. 159-160.
- 6. 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories / H.S.Eggleston, L.Buendia, K.Miwa, T.Ngara, K.Tanabe, eds., IPCC, Institute for Global Environmental Strategies, Hayama, Kanagawa, Japan, 2006, 5 volumes.
- 7. Poland's National Inventory report 2012: Greenhouse Gas Inventory for 1988-2010. National Centre for Emission Management at the Institute of Environmental Protection. National Research Institute, Warszawa, May 2012.
- 8. Local Data Bank Central Statistical Office. Available online at: http://www.stat.gov.pl/bdlen/app/strona.html?p name=indeks
- 9. Statistical Yearbook of Agriculture 2011 Central Statistical Office. Available online at: http://stat.gov.pl/cps/rde/xbcr/gus/sy statistical yearbook agriculture 2011.pdf

Dynamic-statistical model of the troposphere for Western Siberia

¹Chavro A.I., ²Dementev A.O., ³Stepanenko V.M.

- ¹ Institute of Numerical Mathematic RAS, Moscow, Russia
- ² Moscow Physics and Techniques Institute (state university), Moscow region, Dolgoprudny, Russia
- ³ Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

E-mail: chavro@inm.ras.ru

or a number of tasks of climatology are necessary to know the detailed spatial structure of geophysical fields, such as temperature, precipitation, wind speed, humidity, etc. Modern models of general circulation of the atmosphere and ocean are able to probable reproduce meteorological fields on spatial scales of ~ 200 km. When scales <200 km climatic fields are reproduced with insufficient accuracy, especially in areas with complicated topography. For such regions could be used regional hydrodynamic model of high spatial resolution. However, it is required a huge amount of computation in solving climate problems for decades and centuries. In addition, when using empirical-statistical methods in some regions, there is no a priori statistical information of the desired spatial resolution (for example: in the Siberian region). In connection with the situation has recently begun to develop rapidly so-called dynamical and statistical methods.

The essence of these methods is that using cluster analysis selected only the most probable situation coarse spatial resolution which the boundary conditions was set for regional hydrodynamic models of high spatial resolution. Such a model is creating now for the region of Western Siberia.

Динамико-статистическая модель тропосферы для территории Западной Сибири

¹Чавро А.И., ²Дементьев А.О., ³Степаненко В.М.

- 1 Институт вычислительной математики РАН, Москва, Россия
- ² Московский физико-технический институт (государственный университет), Москва, Россия
- ³ Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова, Москва, Россия

E-mail: chavro@inm.ras.ru

ля ряда задач климатологии необходимо знать детальную пространственную структуру геофизических полей таких, например, как температура, осадки, скорость ветра, влажность и т.д. Современные модели общей циркуляции атмосферы и океана в состоянии правдоподобно воспроизводить метеорологические поля на пространственных масштабах ~200 км. При масштабах <200 км климатические поля воспроизводятся с недостаточной точностью, особенно в районах со сложной орографией. Для таких регионов можно было бы использовать региональные гидродинамические модели высокого пространственного разрешения. Однако при решении климатических задач на десятилетия и столетия требуется огромное количество вычислений. Кроме того, при применении эмпирико-статистических методов в некоторых регионах отсутствует априорная статистическая информация нужного пространственного разрешения (например, в Сибирском регионе). В связи со сложившейся ситуацией в последнее время начали интенсивно развиваться так называемые динамико-статистические методы [3]. Такая модель создается в настоящее время для региона Западной Сибири.

1. МЕТОДИКА

В этой модели используется динамико-статистический метод регуляризации. Он связывает данные глобальной и региональной моделей с помощью статистики, полученной из крупномасштабных погодных типов. Преимущества этого метода над динамическим таковы:

- 1) региональная модель запускается один раз для каждого типа погоды, поэтому он менее дорог в вычислительном плане;
- 2) нет необходимости считать, что статистические зависимости, полученные из наблюдаемого климата, сохраняются в измененном климате.
 - Однако метод также имеет два недостатка:
 - 1) из-за конечного числа погодных типов уменьшаются вариации мелкомасштабного поля;
 - 2) ограничение разрешения региональной модели.

Динамико-статистический метод разбивается на два блока: статистический и динамический. Статистический блок служит для выделения наиболее характерных крупномасштабных реализаций. Затем, на основе этих данных запускается динамический блок. Для выделения крупномасштабных погодных классов применялись методы кластерного анализа (метод иерархической кластеризации и метод Ксредних)

1.1. Иерархическая кластеризация.

Основная идея иерархической кластеризации состоит в последовательном объединении наиболее схожих данных. В итоге образуется древовидная структура, в которой содержится полная информация в различиях между всеми полученными группами. Эта древовидная структура используется на последнем этапе для разбиения исходного множества на кластеры. Возможны два различных подхода:

- поиск заданного числа кластеров;
- поиск наиболее различающихся кластеров.

В первом случае, задается требуемое число кластеров. Далее дерево связей сечется горизонтальной линией, высота которой изменяется до тех пор, пока она не будет пересекать заданное максимальное количество кластеров.

Во втором случае, необходимо определить меру "различимости" или "несовместности" кластеров. Такая мера может быть построена на основе сравнения высоты родительской ветви (расстояние между рассматриваемыми кластерами) с высотами дочерних ветвей (расстояния между дочерними кластерами). Тогда, можно построить формальное правило – если мера несовместности достаточно большая, например, превышает установленный порог, то соответствующая пара кластеров считается различимой. Это позволяет получить набор наиболее различающихся кластеров.

1.2 Метод кластеризации "К-средних".

Данный метод представляет собой итерационную процедуру разбиения множества измерений на заданное число кластеров k. Классический алгоритм (batch algorithm) состоит в следующем:

- 1. Задается k точек $c \in R^n$, которые мы будем называть центрами кластеров или центроидами.
- 2. Выбирается мера близости (расстояние) $\rho(x, c)$ между векторами измерений x и центроидами c.
- 3. Для каждого из центроидов определяются наиболее близкие в заданном смысле значения исходных измерений. Полученные подмножества составят текущее (промежуточное) разбиение P (partition) исходного множества на k кластеров P_i .
- 4. Далее для промежуточных кластеров рассчитываются новые положения центроидов. Для расчета производится покоординатное осреднение измерений, принадлежащих каждому из промежуточных кластеров

Для новых центроидов снова определяются наиболее близкие значения исходных измерений. Таким образом, этапы 3 и 4 повторяются до тех пор, пока полученные кластеры не останутся без изменений.

1.3. Гидродинамическая модель.

Многие регионы земного шара (например, Западная Сибирь, Карелия, Канада и др.) покрыты густой сетью водоемов и водотоков. Если они достаточно велики, то, как показывают теоретические исследования и наблюдения [3], над ними могут развиваться бризы — местные ветры, циркуляции, возникающие над термически неоднородной поверхностью. Бризы значительно влияют на пространственное распространение таких атмосферных метеопараметров, как температура, влажность. Поэтому в качестве динамического блока используется гидродинамическая модель высокого пространственного разрешения, разработанная на основе мезомасштабной трехмерной негидростатической модели Nh3d [4], реализованная на Суперкомпьютерном комплексе МГУ под руководством В.М. Степаненко [5]. Эта модель обладает нужными нам свойствами: воспроизводит основные характеристики бризовых циркуляций над гидрологически неоднородной поверхностью и обладает возможностью получения данных с пространственным разрешением менее 5 км.

Гидродинамическая модель высокого пространственного разрешения реализованная на Суперкомпьютерном комплексе МГУ под руководством В.М. Степаненко [5] состоит из мезомасштабной трехмерной негидростатической модели Nh3d, в которой применяется σ-декартова система координат с управлением записанным в дивергентном виде; блок ISBA [3], отвечающим за процессы тепловлагообмена в почве и растительности; блоки Clirad-LW и Clirad-SW [1], рассчитывающие параметры переноса длинноволнового и коротковолнового излучения в атмосфере; модель гидродинамики водоема [6]. Турбулентная диффузия скаляров и диссипация импульса представлены замыканием первого порядка. Дискретизация системы уравнений модели проведена на С-сетке Аракавы, так что пространственные производные аппроксимируются центральными разностями второго порядка точности. Интегрирование по времени проводится по схеме "чехарда" второго порядка.

2.ЧИСЛЕННЫЕ ЭКСПЕРИМЕНТЫ.

Для численного эксперимента использовались данные реанализа модели ECMWF, представленные в свободном доступе на сайте http://www.ecmwf.int, (район Западной Сибири (широта: 50° - 68° , долгота 60° - 90°) с 1979 года по 2011 год, долготное разрешение 2° , широтное 2° , временное 6 часов). Для удоб-

ства работы с данными в Matlab данные были представлены виде массивов векторов, каждый из которых имел следующие метеопараметры: сумма осадков и профили температуры, влажности и скорости ветра по четырем высотам.

После применения кластерного анализа были выделены характерные эпизоды для различных погодных ситуаций. Для каждой реализации этого массива с помощью модели Nh3d рассчитывались метеорологические поля с высоким пространственным разрешением.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной работе получены следующие результаты:

- проведена первичная обработка результатов реанализа для выбранной территории в рассматриваемый временной период (с 1979 по 2011 гг.);
 - был построен базис естественных ортогональных функций и проведена фильтрация по нему;
- посредством процедур иерархической кластеризации и кластеризация методом "k-средних" получено разбиение на классы и в каждом классе был выделен характерные эпизоды;
- для массива характерных эпизодов проведены расчеты мелкоструктурных метеорологических полей.

Литература:

- 1. Chou M.-D., Suarez M.J., Liang X.Z., Yan M.M.-H. F Thermal Infrared Radiation Parametrization for Atmospheric Studies: Technical Report Series on Global Modeling and Data Assimilation, NASA/TM-2001-104606. 2003. Vol. 19. 55 p.
- 2. Fuentes U. and Heimann D. An Improved Statistical-Dynamical Downscaling Scheme and its Application to the Alpine Precipitation Climatology // Theor. Appl. Climatol. Vol. 65. p. 119-135 (2000).
- 3. Mahfouf J. F., Richsrd E., Mascart P. The influence of soil and vegetation on the development of mesoscale circulation // J. Appl. Meteor. 1987. Vol. 26. P. 1483-1495
- 4. Miranda P. M. A., James I. N. Non-linear three-dimensional effects on gravity wave drag: Splitting flow and breaking waves // Quart. J. R. Met. Soc. 1992. Vol. 118. P. 1057-1082.
- 5. Степаненко В.М., Микушин Д.Н. Численное моделирование мезомасштабной динамики атмосферы и переноса примеси над гидрологически неоднородной территорией. // Вычислительные технологии. Том 13, специальный выпуск 3, 2008, с. 104-110
- 6. Струнин М. А., Хияма Т. Самолетные исследования атмосферного пограничного слоя над долиной реки Лены // Изв. РАН. Физика етмосферы и океана. 2005. Т. 41, №2. С. 178-200.

Seasonal growth and structure of the tree rings

Popkova M.

Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia E-mail: popkova.marg@gmail.com

To describe the mechanism of tree-ring formation in woody plants influencing by the leading environmental factors is one of the most urgent problems of modern dendroecology. Changing of the tree-ring growth rate at selected intervals in the growing season is determined by the complex influence of climatic factors (e.g. temperature and soil moisture). Using the modified algorithm of the simulation model of growth Vaganova-Shashkina - VS-oscilloscope seasonal growth of cells in tree ring is simulated in the work. New mathematical approach is developed to estimate a cambial activity and seasonal cell production of conifer species. The approach is tested on tree-ring samples of Pinus sylvestris for Khakassian region over 1969-2008. The obtained approach allows to separate a tree-ring growth signal on two components caused by climatic and non-climatic factors.

Сезонный рост и структура годичных колец

Попкова М.И.

Сибирский федеральный университет, Красноярск, Россия E-mail: popkova.marg@gmail.com

ВВЕДЕНИЕ

На сезонный рост дерева и формирование годичных колец существенное влияние оказываю такие физические факторы среды как температура и влажность. Возможность их реконструкции по динамике роста и структуре годичных колец позволяет оценить изменчивость среды обитания и восстановить изменения погодных и климатических условий. Т.к. древесные растения не изменяют своего пространственного положения, то число факторов, оказывающих влияние на рост и структуру годичных колец, ограничено.

Клеточная структура годичного кольца является экологической характеристикой роста дерева. [1] На рис.1 представлен фрагмент среза формирующегося годичного кольца сосны конца июня.

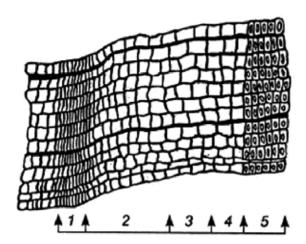


Рис.1. Формирующееся годичное кольцо: 1 - камбиальная зона; 2 – зона растяжения; 3 – зона утолщения вторичной клеточной стенки; 4, 5 – зрелые трахеиды текущего года.

МОДЕЛЬ РАДИАЛЬНОГО СЕЗОННОГО РОСТА ДЕРЕВА

В рассмотренной ниже модели радиального сезонного роста дерева предполагается, что конечных радиальный размер трахеид полностью детерминируется на уровне камбиальных клеток. А изменение относительной скорости роста определяется факторами внешней среды и не зависит от энергии роста дерева. [2]

Кратко опишем этапы построения модели. N(T) – кол-во трахеид в сформировавшемся годичном кольце, где Т - продолжительность сезона роста. Согласно введенным обозначениям расчет относительной скорости роста числа клеток v(j,t) осуществляется по следующей формуле:

$$v(j,t)=rac{1}{N(T)ig(t_j-t_{j-1}ig)}$$
Для начала определим момент образования новой клетки t_j :

$$t_j = \frac{\beta}{N(T)} \sum_{k=1}^{j} \frac{1}{\hat{d}_i} = T \sum_{k=1}^{j} \frac{1}{\hat{d}_i} / \sum_{k=1}^{N(T)} \frac{1}{\hat{d}_i}$$

Новая j-я клетка, появляющаяся в радиальном ряду в момент времени t в результате деления материнской клетки, вступает в фазу радиального растяжения спустя некоторое время τ (данное запаздывание принято считать за 10 суток). Размер этой клетки в момент времени t можно задать уравнением:

$$d_j(t) = \alpha[k\hat{d}_j - d_j(t)], \ t \ge t_j + \tau,$$

где k, α — постоянные коэффициенты, \hat{d}_i — конечный размер i-й клетки. При начальном условии d_i $(t_i+\tau)=d_0$ решение для $t \ge t_i+\tau$ будет

$$d_i(t) = k\hat{d}_i - (k\hat{d}_i - d_0) \exp[-\alpha(t - t_i - \tau)]$$

Формула для размера j-й клетки в любой момент времени t:

$$\begin{cases} d_j(t) = d_0 & npu \ t_j \le t \le t_j + \tau \\ d_j(t) = k\hat{d}_j - \left(k\hat{d}_j - d_0\right) \exp\left[-\alpha\left(t - t_j - \tau\right)\right] & npu \ t_j + \tau \le t \le t_j + \tau + \Delta_j \\ d_j(t) = \hat{d}_j & npu \ t_j + \tau + \Delta_j \le t \end{cases}$$

При изменении в расчетах параметров k и α в некоторых случаях можно добиться наибольшего совпадения с экспериментальными данными.

Расчеты производились по двум образцам сосны за период с 1969 по 2008 годы для того, чтобы посмотреть, как работает модель с различными массивами данных, и сравнить величину каждой клетки с экспериментальными данными.

Чтобы наглядно представить полученные результаты, были построены графики динамики роста клеток в годичном кольце. Показатель невязки позволил определить периоды с наибольшим и наименьшим совпадением.

VS-МОДЕЛЬ

Модель Ваганова-Шашкина формирования годичных колец древесных растений (далее VS-модель) описывает влияние климатических условий на клеточную структуру годичных колец [3].

В модели рост годичного кольца рассматривается как увеличение численности клеток в одном клеточном ряду в результате делений клеток камбиальной зоны. Клетки растут и делятся, если их размер достигает величины d_j . Следовательно, скорость роста годичного кольца определяется числом способных к делению клеток и их скоростью роста. Скорость роста клеток зависит от расположения клетки в камбиальной зоне относительно инициали (позиции клетки j), от фазы клеточного цикла и от совокупного действия внешних по отношению к камбию факторов, определяющих и регулирующих рост дерева, которое описано в модели через функцию Gr или интегральную скорость роста [4].

Предполагается, что скорость рост дерева зависит от трех основных факторов внешней среды: солнечной радиации, определяющей интенсивность фотосинтеза, температуры воздуха и влагообеспечения. Значение скорости роста G_r является функцией трех переменных: текущих значений температуры, содержания влаги в почве и солнечной радиации и на каждый день:

$$G_r(t) = G_I(t) * \min(G_T(t), G_W(t)),$$

где $G_r(t)$, $G_T(t)$, $G_W(t)$ – скорости роста, зависящие от падающей радиации I, температуры T и влажности почвы W.[5]

ПРЕОБРАЗОВАНИЕ И АНАЛИЗ ДАННЫХ, ПОЛУЧЕННЫЙ В РЕЗУЛЬТАТЕ РАБОТЫ ДВУХ МОДЕЛЕЙ

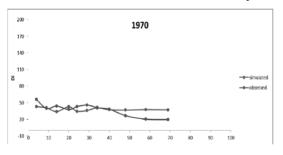
Каждая клетка камбиальной зоны в радиальном ряде характеризуется величинами: позицией j в радиальном ряде относительно инициали, радиальным размером — d(j,t) и фазой клеточного цикла, в которой она находится в момент t. Скорость роста v(j,t) клетки определяется двумя функциями:

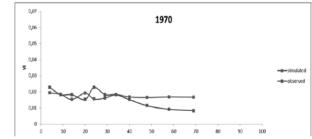
$$v(j,t) = v_0(j) * \tilde{G}(t),$$

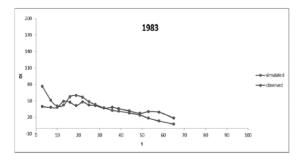
где $v_0(j) = \alpha + \beta * j$, $\tilde{G}(t)$ – средняя интегральная скорость роста клетки.

$$\frac{v(j,t)}{\tilde{G}(t)} = v_0(j) = \hat{y} = \alpha + \beta j$$

С помощью метода наименьших квадратов осуществляется следующее преобразование:







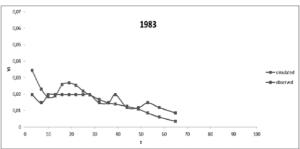
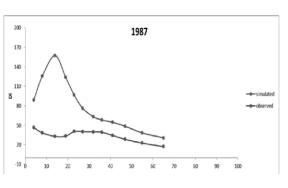
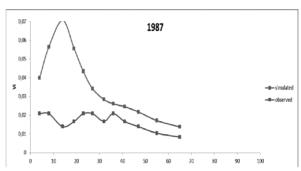
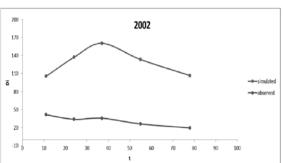


Рис.2. Примеры незначительного расхождения. В левом столбце - динамика размеров клеток в годичном кольце, в правом - изменения относительной скорости роста на протяжении всего периода.







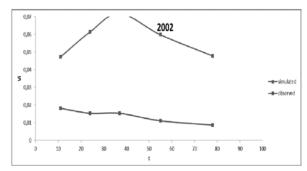


Рис.3. Примеры значительного расхождения кривых. Причиной такого существенного различия между графиками может быть влияние ещё одного фактора, ограничивающего рост годичных колец.

$$F = \sum (y - \hat{y})^2 \to \min_{\alpha, \beta}$$
$$\begin{cases} \frac{\partial F}{\partial \alpha} = 0\\ \frac{\partial F}{\partial \beta} = 0 \end{cases}$$

Результаты представлены на графиках зависимости размера клеток и их относительной скорости роста. Были проанализированы все сезоны с 1969 по 2008 год. Незначительные расхождения между кривыми наблюдаются в 74% случаев (рис. 2).

Существенные расхождения соответственно составляют 26% (рис.3).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На примере образца Pinus sylvestris Хакасии рассмотрена модель радиального сезонного роста дерева за период с 1969 по 2008. Используя данные, полученные в результате работы модели Ваганова-Шашкина, разработан новый подход к моделированию оценки камбиальной активности, который позволяет разделить климатические и неклиматические факторы в процессе формирования клеток.

Литература:

- 1. Ваганов Е.А., Круглов В.Б., Васильев В.Г. Дендрохронология. Красноярск: Изд-во СФУ, 2008. $120\ c.$
- 2. Ваганов Е.А., Шашкин А.В., Свидерская И.В., Высоцкая Л.Г. Гистометрический анализ роста древесных растений. Новосибирск: Наука, 1985. 104 с.
- 3. Vaganov E.A., Hughes M.K., Shashkin A.V. Growth Dynamics of Conifer Tree Rings Images of Past and Future Environments. Berlin; Heidelberg: Springer-Verlag, 2006. 367 p.
- 4. Touchan R. Process based model sheds light on climate sensitivity of Mediterranean tree-ring width. Biogeosciences. 2012. Vol. 9. p. 965–972.
- 5. Тычков И.И., Леонтьев А.С., Шишов В.В. Новый алгоритм параметризации модели роста годичных колец деревьев: VS-осциллограф и его применение в дендроэкологии. Системы. Методы. Технологии. 2012, № 4 (16), с. 45-51

VS-oscilloscope – new algorithm of parameterization of process-based tree-ring model

Tychkov I.I.

Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia E-mail: ivan.tvchkov@gmail.com

S-oscilloscope is a new parameterization algorithm for Vaganov-Shashkin process-based tree-ring model (VS-model) designed to identify and analyze tree-ring growth patterns caused by the climate leading factors (temperature and precipitation).

VS-oscilloscope algorithm is divided into three parts:

• Based on the input data (daily average temperature, precipitation and solar irradiation) an Integral treering growth rate G(t) is estimated (Vaganov Shashkin, 2000, Vaganov et al., 2005) by equation:

$$G(t) = g_E(t) \cdot \min g_T(t), g_W(t)$$

where $g_E(t)$ is partial tree-ring growth rate depending on solar irradiation E, $g_T(t)$ is partial tree-ring growth rate based on daily temperature T, $g_W(t)$ is partial tree-ring growth rate depending on soil moisture W.

- Based on simulated integral tree-ring growth rate a number of cells formed during the growing season and their cell sizes are estimated.
 - Parameterization procedure allows to obtain optimal results.

Calibration and verification of the VS-oscilloscope were done on dendroclimatic data from different regions of Siberia, Central Asia, and the Mediterranean. For all regions the optimal parameters of tree-ring growth are obtained which provides a highly significant positive correlation (p<0.001) between the original data and simulated results.

VS-осциллограф – новый алгоритм параметризации имитационной модели роста древесных растений

Тычков И.И.

Сибирский федеральный университет, Торгово-экономический институт, Красноярск, Россия E-mail: ivan.tychkov@gmail.com

S-осциллограф - новый алгоритм параметризации модели Ваганова-Шашкина (VS-model), имитационной модели роста колец древесных растений, предназначенный для выявления и анализа закономерностей в приросте древесных растений в связи с изменениями ведущих климатических факторов (температуры и осадков).



Рис. 1. Блок-схема алгоритма модели.

Алгоритм модели можно разделить на 3 важных блока:

• на основе входных данных (суточные средняя температура, накопленные осадки и освещенность) рассчитывается интегральная скорость роста годичного кольца [4,5] (Рис. 1).

$$G(t) = g_E(t) \cdot \min g_T(t), g_W(t),$$

где $g_E(t)$ – интегральная скорость роста, $g_E(t)$, E, $g_T(t)$, $g_W(t)$ являются частными скорости роста, зависящие от приходящей иррадиации E, температуры T и содержания воды в почве W.

- на основе полученных данных по интегральной скорости роста вычисляются количество клеток сформировавшихся за год и их размеры.
 - нахождение оптимальных параметров модели.

Vs-осциллограф создан на основе языка Lazarus из двух основных блоков: блока управления и виртуального дисплея. Блок управления содержит 2 вкладки: Open Data - отвечающая за ввод файлов с исходными данными (Puc. 2A), Model Parameterization - панель для настройки и поиска оптимальных параметров (Puc. 2Б). Для достоверных результатов VS-осциллографа необходимо оценить 25 параметров, отвечающих за интегральную скорость роста древесных колец и 17 - для определения камбиальной активности [1,2,3,5,6].

По завершению расчетов открывается новое Windows-окно с графиками: красный - построенный на начальных данных (исходная древесно-кольцевая хронология); синий – график, построенный на данных, смоделированных программой; а также указывается коэффициент корреляции между исходными хронологиями и моделируемыми (Рис. 3).

В том случае если коэффициент корреляции оказывается незначимым, пользователь изменяя положения бегунков на вкладке Model Parameterization может подобрать оптимальные значения так, что, при новых параметрах, коэффициент корреляции будут больше.





Рис. 2 А. Блок управления VS-осциллографа, содержащий вкладку Open Data.

Puc. 2 Б. Блок управления VS-осциллографа, содержащий вкладку Model Parameterization.

На первом этапе, пользователь загружает все необходимые данные: через кнопку Browse указывается путь и имя файла с основными 42 параметрами (grrt50.par) в поле File of Parameters, в поле File of Cambium Data - путь и имя файла с данными необходимыми для вычисления камбиальной активности (CAMB50.par), File of Cell Size and Data for Calculation - путь и имя файла с данными для вычисления размеров клетки (CSC50.PAR). В поле Latitude указывается широта выбранного дендроклиматологического участка в формате "градусы минуты", например 70°62′ с. ш. (широта для метереологической станции) будут заданы в модель как 70.62. First File of Climatic Data вводится путь и имя первого файла с климатическими данными за год "Name****.CLI" (****-год), и именно с указанного года начинается вычисления; Year of Ending of Calculation - год окончания расчетов. Например, если нужно произвести вычисления с 1975 по 1989 годы, необходимо выбрать файлом с расширением .CLI и годом 1975, и в поле последнего года вычислений ввести 1989 (Рис. 2 A) [7].

После окончания работы модели полученные результаты сохраняются в новой папке Result, в поддиректории с основным файлом параметров.

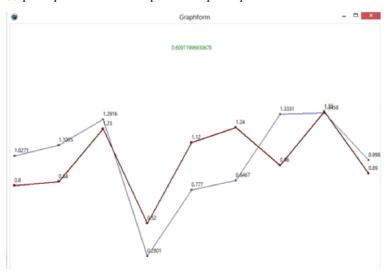


Рис. 3. Виртуальный дисплей VSосциллографа с графиками исходной древесно-кольцевой хронологии и смоделированной кривой, коэффициентом корреляции между ними.

По завершению расчетов создаются несколько отдельных файлов с полученными результатами:

• файл хронологий (например, tura 1971-1977.dat) - в таблице представлены исходные хронологии для исследуемого участка, смоделированный индекс прироста, номер дня начала и окончания сезона роста для каждого года (Табл. 1).

Табл. 1. Результат работы модели сохраненный в файл tura 1971-1977.dat.

Calculation from 1971 to 2005					
year	indc	crn	BG1	EG1	
1971	1,12	0,93	150	248	
1972	1,11	0,94	152	235	
1976	0,9	0,99	159	229	
1977	0,63	1,03	163	219	

• файл скоростей (например, tura rate 1971-1977.dat) - в таблице первый столбец год (year), номер дня (t), следующие - температура T (°C), осадки P (мм), влажность почвы w (v/v, глубина оттаявшей почвы I (mm), величину снежного покрова (динамика не включена в данную версию программы), интегральная скорость роста Gr(t), скорость роста в зависимости от температуры $g_T(t)$, скорость в зависимости от влажности почвы gw(t) и величина суточной транспирации Solar (mm) (Табл. 2).

Табл. 2. Результат работы модели сохраненный в файл tura rate 1971-1977.dat.

Year	t	Tem	Prec	sm	Dep	snow	Gr	Grw	GrT	Tran
1971	1	-31,38	0	0,01	500	0	0	0	0	0,02
1971	2	-32,6	0	0,01	500	0	0	0	0	0,02
1971	364	-40,14	0	0,01	500	0	0	0	0	0,02
1971	365	-34,48	11	0,09	500	0	0	0	0	0,02

- файл динамики камбиальной деятельности год (year), время t (номер дня), число клеток камбиальной зоны Nc и общее число клеток в годичном кольце N (Табл. 3).
- файл содержащий информацию о размерах трахеид в годичном кольце номер клетки, третьей радиальные размеры (мкм), измеренные и расчетные, соответственно (Табл. 4).

Табл. 3. Результат работы модели сохраненный в файл Tura c.dat.

t	Nc	Nr
1.00	2	0
153.00	2	0

Табл. 4. Результат работы модели сохраненный в файл Tura s.dat.

COX	сохранстиви в фаил тага э.аас.					
i	rd	cd				
1	47.60	47.60				
2	42.40	41.80				

Апробация VS-осциллографа проводилась на дендроклиматических данных различных регионов Сибири, Центральной Азии, и Средиземноморья. Для всех регионов получены оптимальные параметры роста древесных растений, обеспечивающих высокозначимую положительную корреляцию между исходными данными и модельными результатами.

Литература:

- 1. Anchukaitis K. J., Evans M. N., Kaplan A., Vaganov E. A., Hughes M. K., Grissino-Mayer H. D., Cane M. A. Forward modeling of regional scale tree-ring patterns in the southeastern United States and the recent influence of summer drought // Geophys. Res. Lett. 2006. Vol. 33, Issue #L04705, P. 1140-1144
- 2. Evans M. N., Reichert K., Kaplan A., Anchukaitis K. J., Vaganov E. A., Hughes M. K., Cane M. A. A forward modeling approach to paleoclimatic interpretation of tree-ring data // Journal of geophysical research. 2006. Vol. 111. P. 980-989.
- 3. Touchan R. Process based model sheds light on climate sensitivity of Mediterranean tree-ring width // Biogeosciences, 2012. Vol. 9. P.965–972.
- 4. Vaganov E.A., Hughes M.K., Shashkin A.V. Growth Dynamics of Conifer Tree Rings: Images of Past and Future Environmens. Berlin; Heidelberg: Springer-Verlag, 2005. 343 p.
- 5. Vaganov E.A., Shashkin A. V. (2000) Growth and structure of tree-rings. Nauka, Novosibirsk, 232 p.
- 6. Ивановский А.Б., Шишов В.В. Алгоритм параметризации для модели Ваганова-Шашкина формирования годичных колец древесных растений // Вестн. СибГАУ. 2010. Вып. 2(28). С. 83-88.
- 7. Тычков И.И., Леонтьев А.С., Шишов В.В. Новый алгоритм параметризации модели роста годичных колец деревьев: VS- осциллограф и его применение в дендроэкологии. Системы Методы Технологии №4 (16), 2012

Impact of climate change on the mass balance of glaciers in the Caucasus . Mass-balance model of mountain glaciers

Morozova P.A.

Institute of Geography RAS, Moscow, Russia E-mail: morozova_polina@mail.ru

In this paper studies the reaction of mountain glaciers to climate change. In the framework of this research was created mass-balance model of the glacier. The model contains the basic equations of the radiation balance, turbulent heat fluxes (sensible and latent). The modeling data or the measurement data may be used as the input data. Spatial resolution is 25 m (the glacier surface data obtained by radiolocation and DGPS of glaciers and built on it DEM with a resolution 25 m), time resolution is 1 hour. The total energy balance, the melting layer and the amount of solid precipitation are calculated for annual mass balance. Then glacier mass balance is used in the ice flow model. The mass-balance model can be useful for evaluation of the glacier sensitivity to changes in certain meteorological parameters, for determine the representativeness of a particular glacier as an indicator of climate change, or for different hydrological calculations.

This work was supported by RFBR 14-05-31466 and RFBR-RGS 13-05-41058.

Оценка влияния климатических изменений на баланс массы ледников Кавказа. Масс-балансовая модель горных ледников

Морозова П.А.

Институт географии РАН, Москва, Россия E-mail: morozova_polina@mail.ru

Работа посвящена изучению реакции горных ледников на климатические изменения. В рамках данной работы была создана масс-балансовая модель ледника. Модель содержит уравнения расчета основных составляющих радиационного баланса, турбулентных потоков тепла (явного и скрытого). В качестве исходных данных могут быть использованы как данные моделирования, так и данные измерений. Пространственное разрешение 25 м (данные о поверхности ледника получены при помощи данных радиозондирования и DGPS-метрии ледников и построенных на их основе цифровых моделей рельефа с разрешением 25 м [2]), разрешение по времени - 1 час. Для каждого часа производится расчет высоты и азимута Солнца (стандартные астрономические формулы). При расчете приходящей прямой и рассеянной радиации учитывается влияние облачности, затенения, ориентации и угла наклона склона, прозрачности атмосферы. Представлены несколько схем параметризации альбедо [7]. Эффективное излучение рассчитывается по модернизированной формуле Ангстрема [5]. Все коэффициенты подобраны с использованием данных наблюдений на ледниках Кавказа[1,3,4,5]. Потоки явного и скрытого тепла рассчитываются по bulk-формулам [8].

Производится расчет суммарной энергии, затрачиваемой на таянье и суммы выпавших и стаявших твердых осадков. Итоговое значение баланса массы рассчитывается на конец гидрологического года. Сопоставление с данными наблюдений показало хорошее соответствие рассчитанных и измеренных значений баланса массы.

Баланс массы ледника затем используется в модели течения льда [6,9], в т.ч. для расчета конфигурации ледника при различных климатических сценариях.

Использование масс-балансовой модели позволяет оценить чувствительность ледника к изменению метеопараметров, определить репрезентативность конкретного ледника как индикатора изменения климата. Подобная масс-балансовая модель ледника может быть использована в различных схемах: от расчета гидрологического стока до климатических оценок.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 14-05-31466 и РФФИ-РГО 13-05-41058

Литература:

- 1. Волошина А.П. Тепловой баланс поверхности высокогорных ледников в летний период. М., "Наука", 1966
- 2. Кутузов С.С., Лаврентьев И.И., Мачерет Ю.Я., Петраков Д.А. Изменения ледника Марух с 1945 по 2011 гг. // Лед и Снег. 2012. №1. С. 123-127

- 3. Ледник Джанкуат Л., ГИМИЗ, 1978, 184 с.
- 4. Ледник Марух (Западный Кавказ). Ленинград, Гидрометеоиздат, 1988, 255 с.
- 5. Оледенение Эльбруса. Под ред.Г.К.Тушинского. М.: Издательство Московского университета. 1969. 345 с.
- 6. Fürst J.J., Rybak O., Goelzer H. et al. Improved convergence and stability properties in a three-dimensional higher-order ice sheet model // Geoscientific Model Development. 2011. V. 4. P. 1133–1149.
- 7. J. Oerlemans The microclimate of valley glaciers Utrecht Publishing & Archiving Services, Universiteitsbibliotheek Utrecht, ISBN 987-90-393-5305-5 2010, p. 138
- 8. Oerlemans J., Klok E. J. Energy Balance of a Glacier Surface: Analysis of Automatic Weather Station Data from the Morteratschgletscher, Switzerland. Arctic, Antarctic, and Alpine Research, Vol. 34, No. 4, 2002
- 9. Zekollari H., Huybrechts P., Fürst J.J., Rybak O., Eisen O. Calibration of a higher-order 3-D ice flow model of the Morteratsch glacier complex, Engadin, Switzerland // Annals of Glaciology. 2013. V. 54. P. 343-351.

Relationship between sudden stratospheric warming and disturbances propagating from the tropics

Rudneva M.A., Mordvinov V.I., Kochetkova O.S.

Institute of Solar-Terrestrial Physics SB RAS, Irkutsk, Russia E-mail: rudneva@mail.iszf.irk.ru

It was found that one of the factors that determine the occurrence of sudden stratospheric warming is the spread of disturbances from the tropical stratosphere. At least in some years, the source of such disturbances can be the Madden-Julian Oscillation (MJO). Besides the generation of Rossby waves powerful convective cells during periods of MJO can change the secondary structure of currents, resulting advection transport of heat into the high latitudes stratosphere.

Связь внезапных стратосферных потеплений с возмущениями, распространяющимися из тропиков

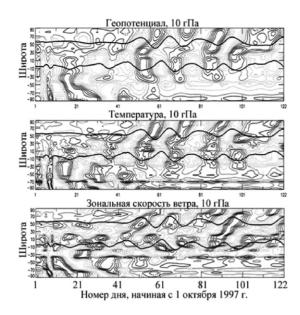
Руднева М.А., Кочеткова О.С., Мордвинов В.И.

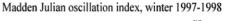
Институт солнечно-земной физики СО РАН, Иркутск, Россия E-mail: rudneva@mail.iszf.irk.ru

становлено, что одним из факторов, определяющих возникновение внезапных стратосферных потеплений, является распространение возмущений из тропической стратосферы. По крайней мере, в отдельные годы источником таких возмущений может быть Madden–Julian Oscillation (MJO). Кроме генерации волн Россби мощные конвективные ячейки в периоды МЈО могут изменять среднюю структуру течения, обуславливая адвективный перенос тепла в стратосферу умеренных и высоких широт.

Наиболее значимые крупномасштабные вариации метеорологических характеристик стратосферы происходят во время внезапных стратосферных потеплений (ВСП). Традиционно ВСП объясняют вертикальным распространением стационарных и бегущих планетарных волн [1]. Наши исследования показали, что не менее важным фактором возникновения ВСП является горизонтальное распространение возмущений из тропической стратосферы, или даже из стратосферы противоположного полушария [2]. На рис.1 приведен пример диаграмм, показывающих в координатах широта-время изменения различных метеорологических характеристик стратосферы на уровне 10 гПа, усредненных вдоль широтных кругов в диапазоне долгот 60-150° в.д. На диаграммы нанесены вариации температуры в полярной области 60-75° с.ш., а также в тропической области 15°ю.ш.-15°с.ш.. Ряды данных предварительно отфильтрованы в диапазоне 5-20 суток.

Так как вариации температуры зимой в полярной области происходят на временных масштабах порядка месяца и более, наиболее вероятным «кандидатом» на роль источника возмущений в тропиках





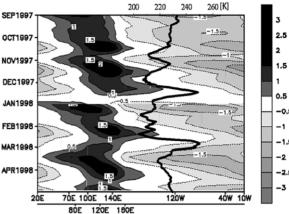


Рис. 1 Изменения со временем метеорологических характеристик стратосферы, усредненных в диапазоне долгот 60-150° в.д.. На диаграммы нанесены вариации температуры в полярной области и тропиках в широтных интервалах 60-75° с.ш. и 15°ю.ш.-15°с.ш..

Рис.2. Изменение со временем индекса МЈО и температуры в полярной области стратосферы.

является Madden-Julian Oscillation, имеющая характерный временной масштаб порядка 30-90 суток [3]. МЈО представляет собой мощные конвективные ячейки, дрейфующие на восток со скоростью 4-8 м/сек. Конвективные ячейки наиболее интенсивны в районе Индийского океана, Индонезии, западной части Тихого океана. Анализ карт барических аномалий при различных фазах МЈО показывает, что конвективные ячейки являются источником квазистационарных волн Россби, распространяющихся на большие расстояния в северном и южном полушариях Земли. Возникновение МЈО приводит и к изменению структуры средних потоков на разных уровнях атмосферы.

Рисунок 2 иллюстрирует связь между МЈО и внезапными стратосферными потеплениями зимой 1997/1998гг. Графики температуры в полярной области на уровне 10 гПа приведены в левой части диаграмм, справа нанесены изменения со временем индексов МЈО [4].

Видно, что каждому импульсу МЈО соответствует потепление в полярной стратосфере. Видимо, наибольшее значение имеет МЈО в интервале долгот 60-150° в.д., т.к. примерно в этом интервале долгот развивается потепление и в полярной области.

Кроме волнового механизма влияния МЈО на внетропическую циркуляцию в стратосфере (промежуточным звеном подобного влияния могут быть блокинги в тропосфере) на наш взгляд следует обратить внимание и на изменение структуры среднего течения в стратосфере во время МЈО. В совокупности с появлением в верхних слоя тропосферы и в стратосфере термических аномалий возможен чисто

During SSW 01/01/1998-05/01/1998 Witho

Without SSW 10/02/1998-15/02/1998

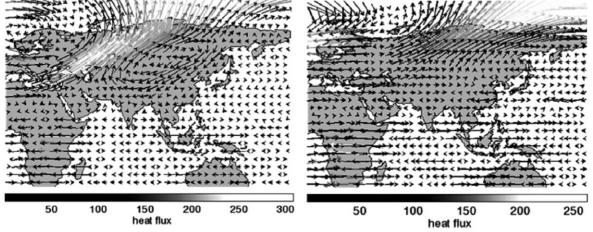


Рис.3. Средние потоки тепла на уровне 10 гПа. во время ВСП с 1 по 5 января 1998 года и в спокойный период с 10 по 15 февраля 1998 года.

адвективный перенос тепла из низких широт стратосферы в высокие, способствующий развитию ВСП. Чтобы проиллюстрировать эту возможность, мы сопоставили распределения потоков тепла (vT') во время ВСП с распределениями потоков тепла в спокойные периоды (рис.3). Хорошо видно формирование тепловых потоков из низких широт над северной Африкой в направлении на северо-восток – в область наиболее частых возникновений ВСП.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ внезапных стратосферных потеплений показал, что ВСП чаще всего являются частью глобальных колебаний, включающих возмущения, распространяющихся из тропиков, а иногда и из противоположного полушария. Наиболее вероятным кандидатом на роль источника возмущений в тропиках является Madden-Julian Oscillation. МЈО развивается на масштабах времени, характерных для ВСП, и сопровождается генерацией квазистационарных волн Россби, а также формированием хорошо выраженных потоков тепла в высокие широты на уровнях стратосферы. Волновые и адвективные переносы энергии могут играть роль спусковых механизмов при развитии внезапных стратосферных потеплений.

Литература:

- 1. Matsumo T. A dynamical model of the Stratosphere sudden warming // J. Atmos. Sci. 1971. V. 28. P. 1479–1494.
- 2. Руднева М.А., Кочеткова О.С., Мордвинов В.И. Исследование долговременных параметров внезапных стратосферных потеплений в Северном полушарии за период 1975–2013 гг. // Труды XIII Конференции молодых ученых «Физические процессы в космосе и околоземной среде», БШФФ-2013. Иркутск, 2013. С. 324 326.
- 3. Waliser D. E. Predictability and forecasting. In: W. K. M. Lau and D. E. Waliser (Eds.), Intraseasonal Variability in the Atmosphere–Ocean Climate System. Springer/Praxis, Heidelberg, Germany/Chichester. U.K. 2005. pp. 389–423.
- 4. http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/precip/CWlink/daily_mjo_index/pentad.shtm

СЕКЦИЯ 3

Биосферноклиматические взаимодействия в Северной Евразии

Председатель Е.А. Дюкарев.

SESSION 3

Northern Eurasia climate and biosphere interrelations

Chair Egor Dyukarev.

Определение дыхания почвы и фотосинтетической ассимиляции CO_2 из данных автоматических камерных измерений

Дюкарев Е.А.

Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, Томск, Россия E-mail: egor@imces.ru

Вдокладе представлены результаты мониторинга потоков углекислого газа в луговой экосистеме и рассмотрена модель, позволяющая оценить отдельно экосистемное дыхание и фотосинтетическую ассимиляцию СО₂ растительностью по данных автоматических камерных измерений. Измерения потоков СО₂ проводились на наблюдательной площадке ИМКЭС СО РАН в г. Томске в 2013 году с помощью автоматической системы почвенного дыхания Li- 8100A (Li-Cor, США) с прозрачной камерой.

Получено, что поток CO_2 имеет четкий суточный ход с максимумом в ночное время и минимумом в дневное время. Дневные средние потоки достигают -18,8 μ moль/ μ c в июне и -10.1 μ moль/ μ c в июле. Максимальные средние потоки в ночное характерны для июля (25 μ moль/ μ c).

Для описания наблюдаемых закономерностей изменения потоков СО2 была предложена простая модель, в которой суммарный экосистемный обмен (NEE) складывался из дыхания почвы (R), дыхания растений (H) за вычетом ассимиляции углекислого газа в процессе фотосинтеза. NEE = (R+H)-Ph. Основным определяющими факторам в модели были температура почвы и суммарная солнечная радиация. (R+H) = R_0 exp(kT), Ph = α I $P_{\rm m}$ / (α I + $P_{\rm m}$). Дыхание почвы и растений объединены в один поток и зависят от температуры поверхности почвы (Т). Фотосинтез определяется суммарной солнечной радиацией (I). Эмпирические коэффициенты модели (R₀, k, α, Р_m) оценивалась для каждого периода измерений (май, июнь, июль) с минимизацией расхождения между результатами моделировании и наблюдений.

На рисунке 1 приведен временной ход модельных значений потоков фотосинтетической ассимиляции и дыхания почвы, а так же сравнительный ход суммарных потоков (NEE) расчетного и наблюдаемого. Сравнение значений потоков для каждого периода показывает хорошее согласие данных измерений и моделирования.

Separating soil respiration and photosynthetic assimilation components in CO₂ flux automatic chamber measurements

Dyukarev E.A.

Institute of Monitoring of Climatic and Ecological System SB RAS, Tomsk, Russia E-mail: egor@imces.ru

lobal carbon dioxide concentration in atmosphere has been growing since preindustrial time due to anthropogenic forcing, land use changes and disturbances in functioning of natural ecosystems. The net ecosystem exchange (NEE) of CO₂ between the land surface and atmosphere is commonly partitioned between gross primary productivity (GPP) and ecosystem respiration (ER). Accurate prediction of ER, GPP, NEE, and their changes under future climatic conditions requires a clear understanding of the processes involved. Chamber measurements are an important tool for investigation of small-scale flux variations in the ecosystem and revealing flux relations with the environmental parameters.

The measurements of NEE efflux were made at the observation point of the Institute of Monitoring of Climatic and Ecological Systems SB RAS in Tomsk city, Russia in 2013. Fluxes were measured using automatic soil flux system Li-8100A (Li-Cor, USA) with attached transparent chamber. The chamber was installed at plastic cylindrical basement deepened to the soil to 15 cm. The vegetation cover under the chamber consists of herbs and green mosses. Exposition time for CO₂ accumulation within the chamber was 5 minutes. Measurements were automatically repeated each 20 minutes during 14 days in May, June and July. Simultaneous observations of air, surface and soil temperatures, incoming solar radiation, air pressure, air water content were made using automatic weather system AMIS (IMCES SB RAS).

NEE flux calculation was made from linear regression curve fitted water-vapor corrected CO₂ data for first 120 seconds after chamber closure. The increasing CO₂ concentration in the chamber headspace (positive NEE) occurs at nights in June/July and a round day in May when release of CO₂ from soil respiration prevails photosynthetic assimilation. Decrease of CO₂ (negative NEE) within transparent chamber observes in day time in the beginning and middle of summer when growing green vegetation assimilates CO₂ from the atmosphere with rate higher than soil respiration. NEE fluxes have clear diurnal variations with maximum at night time and minimum at day time.

Day-time average fluxes reach -18.8 μ mol/m²/s in June -10.1 μ mol/m²/s in July. Maximal average nightime fluxes (soil respiration plus plant dark respiration) are typical for July and exceed 25 μ mol/m²/s. Analysis of diurnal course of net CO_2 exchange have shown that negative flux (plant assimilation prevails soil emission) observed from 7:30 to 18:30 in average. Diurnal amplitude of NEE are 4.2, 24.3 and 9.2 μ mol/m²/s for May, June and July.

Simple flux model were suggested for description of the observed NEE fluxes. The main controlling factor, in this study was soil temperature and incoming solar radiation.

NEE =
$$(R + H) - Ph$$
, $(R+H)=R_0 \exp(k_R T)$, $Ph=(\alpha I \cdot P_m)/(\alpha I + P_m)$

NEE – the net ecosystem exchange, R – soil respiration, H – plant respiration, Ph – assimilation of CO_2 during photosynthesis. Soil and plant respiration was combined into one flux depended on surface temperature (T). Photosynthesis was depended on incoming solar radiation (I). R0 is the respiration rate at 0 °C, k_R is the coefficient of temperature response, α is the apparent quantum yield of photosynthesis, P_m is the asymptotic value of photosynthesis at high solar radiation. Empirical coefficients of the model (R_0 , k_R , α , P_m) was estimated using the observations of CO_2 fluxes for May, June and July 2014.

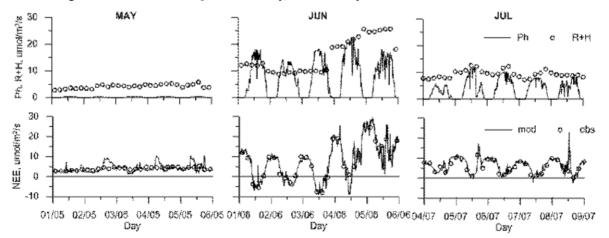


Figure 1. Top panel: Plant and soil respiration (R+H) and photosynthesis rate (Ph) modeled for May, June and July 2013. Low panel: Observed (obs) and modeled (mod) NEE fluxes of CO₂.

There is good agreement between the model output and the observations for all study periods (Fig. 1). May fluxes were small and there is no any CO_2 assimilation. High variations of respiration rates are related with rain events. Maximal day time assimilation of CO_2 occurs in June around the local noon and its rate is about 10-20 μ mol/m²/s. Low values in July photosynthesis rates are connected with small amount of green leaves within chamber basement, because all green plants were cut in the end of June for grass mass accounting. Peaks in observed NEE fluxes observed after heavy rains and were not caught in the temperature response model for respiration.

Using the suggested model, we were able to partition ecosystem CO₂ fluxes between their upward and downward components. Further development of the model will result in adequate estimation of total NEE for growing season.

Siberian larch in high elevation forests and on moraine in the Yuzhno-Chuisky Range (the Central Altai Mountains)

Bocharov A., Savchuk D., Dirks M.

Institute of Monitoring of Climatic and Ecological Systems SB RAS, Tomsk, Russia E-mail: bochar74@mail.ru

Mountains, Russia. The right northwestern slope of the Akkol headwater, Yuzhno-Chuisky Range, the Altai Mountains, Russia. The right northwestern slope of the Akkol river valley is more forested than opposite. The individual trees and tree groups up to 150 years old begin to locate at 2250 m a.s.l. on 15 km distance from the present edge of the Sofiysky (Akkol) Glacier. Than the sparse larch woodlands are situated. After that the tree groups with 2 generations up to 100 and 150 years old begin to locate again, transforming into the small groups (2-3 individuals) and the individual trees up to 100 years old near the glacier moraine of the mid-XIX (1.5-2.5 km from the glacier). No trees in close (500 m, 2450 m a.s.l.) proximity to the glacier. The larch trees growing on the moraine are down to 50 years old.

The woodlands consist of 3 larch generations: the first is about 700 years old isolated trees, the second (main) is up to 500 years old trees, and the third is down to 100 years old trees. The larch undergrowth is individual

A 612-year (1400–2012) tree ring width chronology was built. The radial increments of the older and younger trees in the and young trees on the moraine are synchronous. The value and amplitude of tree ring width are higher in the younger trees and lower in the older trees in the woodlands and intermediate in young trees on the moraine.

The crown of young trees on the moraine are specific: the lower branches are longer and the middle section of the stem is without branches or with dry or undeveloped branches. In the trees the ring widths from the glacier and to the glacier were similar till 1985. In this period of time the trees grew in low grounds of microrelief or near big stones where snow could accumulate. Since 1986 the rings were as 33% (up to 44% and 71% in several years) from the glacier as to the glacier. Some individuals start to bear seed cones.

The radial growth correlates positively with spring-summer air temperatures. In the older trees the coefficient of correlation is higher (for example, is 0.45 for the temperatures in May-June and 0.47 in May-July) as compared to the younger trees (coefficient of correlation is 0.32 for the temperatures in May and 0.38 in May-June). The younger trees response on air temperature in October in previous year (0.34) but the older trees do not.

Environmental assessment of the larch sites indicates that the conditions of humidity and nutrient requirement are close to optimal (step of humidity is 65 and step of soil richness is 8) on the moraine (undeveloped shrub cover and colonization of the area by larch). On the other hand, in the woodlands and the tree groups the conditions are worse (step of humidity is 63 and step of soil richness is 9) where developed shrub cover and turf plants limit the larch regeneration.

The study was supported by the Russian Foundation of Basic Research (grant 13-05-00762.

Лиственница сибирская в высокогорных лесах и на постгляциальных поверхностях Южно-Чуйского хребта (Центральный Алтай)

Бочаров А.Ю., Савчук Д.А., Диркс М.Н.

Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, Томск, Россия E-mail: bochar74@mail.ru

зучение радиального роста деревьев, экологических условий их местообитаний и таксационной структуры лесов позволяет охарактеризовать особенности пространственно-временных закономерностей их развития, судить об изменениях климатического режима и лесорастительных условий, оценить их состояние в настоящем и прогнозировать развитие в будущем.

Задача исследований заключалась в определении возрастной структуры лиственничных лесов, радиального роста деревьев лиственницы и оценке экологических условий ее местообитаний в сопряженной системе высокогорные авангардные леса—молодые постгляциальные поверхности в верховьях р. Аккол (Южно-Чуйский хребет, Центральный Алтай).

Южно-Чуйский хребет расположен в непосредственной близости от засушливых полупустынь Монголии, что сказывается на характере растительности этого района. Вследствие гораздо меньшего количества осадков на его склонах, чем на Северо-Чуйском или Катунском хребтах (Русанов, 1961), характерной особенностью верховьев р. Аккол Южно-Чуйского хребта является почти полное отсутствие лесов. Небольшие участки леса расположены здесь в основном вблизи горно-ледниковых бассейнов.

Основная лесообразующая порода в верховьях р. Аккол – лиственница сибирская, единично присутствует ель. Лиственничные леса представлены редколесьями – участками леса, разделенными выходами скальными пород, осыпями. Древостои в основном расположены на склонах северо-западной и юго-восточной экспозиций. Прочая древесная растительность представлена зарослями березы круглолистной по сухим понижениям на склонах и зарослями ив (ива ложнопятитычинковая и др.) у подножия склонов и вдоль стекающих по склонам ручьев. На каменистых склонах и скальных выходах бортов долины реки произрастают разнообразные петрофитные степные сообщества. Пологие участки флювиогляциальных отложений на днище долины зарастают заболоченными мохово-разнотравными тундрами, осоковыми и пушицево-осоковыми болотами. Растительность постгляциальных поверхностей представлена в виде ряда формирующихся растительных группировок от несомкнутой травянистой растительности, образованной психрофитами и петрофитами, около ледника Софийский до разнотравно-злаковых сообществ, сходных с криофитными степями, на конечно-моренном валу XIX в. (Тимошок и др., 2008).

Правый борт долины р. Аккол (северо-западный склон) более облесен по сравнению с левым (юговосточный склон) вследствие экспозиционных различий. Отдельные деревья и биогруппы лиственницы в долине р. Аккол начинают появляться с абсолютной высоты 2250 м на расстоянии 15 км от современного языка ледника Софийский. По мере продвижения к леднику на правом борту долины биогруппы переходят в участки лиственничных редколесий, приуроченных к понижениям мезорельефа и естественным водотокам. В то же время по левому борту биогруппы отмечаются до впадения крупного руч. Тура-Оюк в р. Аккол (2350 м над уровнем моря, 7 км от ледника). Здесь расположен достаточно крупный участок разреженного лиственничного леса, типичный для долины. Далее, по мере продвижения к леднику, на обоих бортах долины лиственница представлена лишь биогруппами. Выше конечной морены середины XIX в. в 2,5 км от ледника (Нарожный, Никитин, 2003) количество деревьев в биогруппах по обоим берегам реки снижается, постепенно переходя в единично стоящие деревья или небольшие биогруппы, состоящие из двух-трех особей (1,5 км от ледника). Единичные деревья встречаются вплоть до абсолютных высот 2450 м на расстоянии до 0,5 км от современного языка ледника.

Проведенные маршрутные исследования показали, что основные таксационные показатели редколесий и биогрупп обоих бортов долины близки. Выделяется два поколения: основное с возрастом деревьев более 250 лет, диаметром до 40 см, высотой до 12 м, и второе поколение деревьев, находящихся во втором ярусе, с возрастом до 100-150 лет, диаметром до 20 см и высотой до 10 м.

В первых биогруппах лиственницы, наиболее удаленных от ледника Софийский (15 км), преобладают деревья с возрастом до 150 лет. По мере продвижения по долине вверх к леднику в редколесьях и биогруппах увеличивается количество деревьев 250-летнего возраста. Наиболее старые экземпляры лиственницы встречены в месте впадения руч. Тура-Оюк в р. Аккол, где возраст единичных деревьев составляет 700 лет. При дальнейшем приближении к леднику максимальный возраст деревьев лиственницы в биогруппах не превышает 150 лет, диаметр – 20 см, высота – 7 м. Биогруппы состоят, как правило, из двух поколений с возрастом до 150 и 100 лет. Деревья второго поколения имеют несколько меньшие диаметры и высоты. На расстоянии от ледника чуть менее 2 км, в районе конечно-моренного ком-

плекса середины XIX века, возраст деревьев лиственницы не превышает 100 лет, средний диаметр 15 см, высота 5-6 м. Расположение деревьев единичное или биогруппами, состоящими из двух, реже трех одновозрастных особей, или одного лидера и до пяти более молодых особей. Ближе к леднику на молодых постгляциальных поверхностях деревья встречаются единично, возрастом до 50 лет, их высота не превышает 2,5 м. На расстоянии от ледника менее 500 м деревья отсутствуют.

Для более детального анализа структуры лесов долины была заложена пробная площадь в месте произрастания типичного древостоя в месте впадения руч. Тура-Оюк в р. Аккол. Лиственничник злаково-кобрезиево-ерниковый расположен на юго-восточном склоне на абсолютной высоте 2350 м. В довольно сомкнутом кустарниковом ярусе абсолютно доминирует береза круглолистная (60-65 %), травяной покров сложен в основном дерновинными растениями: *Kobresia myosuroides* (2-3 %), *Festuca altaica, Poa sibirica, Carex macroura subsp. kirilovii* (по 1-2 %). Состав древостоя $25\Pi_171\Pi_14\Pi_{III}$. Бонитет Vб. Относительная полнота 0,29, абсолютная – 7,7 м²/га, запас до 40 м³/га. Средний диаметр 53,6 см, высота 9,4 м, возраст 415 лет. Количество деревьев около 200 шт./га.

Возрастная структура ступенчато-разновозрастная. Основное поколение представлено деревьями лиственницы 500-летнего возраста. Имеются единичные деревья материнского полога возрастом около 700 лет. Третье поколение представлено редкостоящими лиственницами возрастом менее 100 лет. Основными по запасу являются остатки деревьев первого поколения и второе основное поколение.

Диаметры и высоты основного яруса древостоя (первого и второго поколений) близки. Основное второе поколение деревьев имеет меньший средний диаметр, чем первое поколение, но средняя высота его выше, чем у древостоя первого поколения. Средняя высота древостоя третьего поколения близка к основному древостою, средний же диаметр имеет значительно меньшие значения. Подрост единичный, представлен лиственницей.

Для анализа динамики радиального прироста деревьев лиственницы была получена обобщенная древесно-кольцевая хронология длительностью 612 лет (1400–2012 гг.). Индивидуальные серии хронологий показали достаточно высокую согласованность. Наибольшая синхронность изменений ширины годичных колец выявлена у старых деревьев лиственницы. Абсолютная величина и амплитуда колебаний прироста у молодых экземпляров лиственницы в высокогорных лесах выше, чем у старовозрастных (рис. 1); деревья, произрастающие на постгляциальных поверхностях, занимают промежуточное положение по этим показателям.



III возрастные поколения) и на молодых постгляциальных поверхностях в верховьях р. Аккол (Южно-Чуйский хребет)

Деревья лиственницы, произрастающие на постгляциальных поверхностях, сформировавшихся вследствие интенсивного отступания ледника Софийский с середины XIX в., характеризуются рядом особенностей. Деревья в основном приурочены к микропонижениям рельефа или к крупным валунам. Форма кроны «юбочная» (сильно развиты ветви нижней части кроны, над ними участок ствола без боковых ветвей), часты перевершинивания ствола. До 1985 г. (возраст деревьев не превышал 15 лет) приросты по радиусам, направленным к леднику и от ледника, не отличались друг от друга. В это время эти деревья росли в условиях естественной защиты микро- и нанорельефа и, вероятно, снежного покрова, который сохраняется около его неровностей и сдувается на открытых участках. При дальнейшем росте ствола его прирост по направлению от ледника начинает отличаться от прироста к леднику. Такие различия составили до 44%, в отдельные годы до 71% (в среднем 33%). Отдельные деревья лиственницы начали плодоносить.

Согласованность в динамике изменений ширины годичных колец деревьев лиственницы, общие периоды понижений и повышений их радиального прироста предполагает достаточно сильное общее воздействие внешнего фактора на рост деревьев. Полученная обобщенная хронология по лиственнице с верховьев р. Аккол сравнивалась с ежегодными среднемесячными климатическими показателями высокогорной метеостанции Актру (Северо-Чуйский хребет). Наибольшую положительную связь с приростом имеют весенне-летние температуры, причем коэффициенты корреляция для хронологии, построенной по старовозрастным экземплярам лиственницы, выше. Коэффициенты корреляции с температурой мая-июня $\pm 0,45$, мая-июля $\pm 0,47$. Реакция молодых деревьев лиственницы на изменения средних температур мая $\pm 0,32$, а со средней температурой мая-июня $\pm 0,38$. В хронологии по молодым деревьям лиственницы прослеживается связь со средней температурой октября прошлого года $\pm 0,34$, что объясняется подготовкой деревьев к зиме.

Нами была проведена экологическая оценка местообитаний лиственницы в верховьях р. Аккол с использованием стандартных экологических шкал (Цаценкин, 1967) на основе геоботанических описаний сообществ. Расчеты показали, что условия увлажнения и трофности более близки к оптимальным (65 ступень увлажнения, 8 ступень богатства и засоленности почвы) для лиственницы на поверхности конечно-моренного вала ледника, что способствует, наряду с несформированным растительным покровом, появлению деревьев и их биогрупп на освободившихся от ледника территориях. Редколесья и крупные биогруппы лиственницы ниже конечно-моренного вала ледника занимают более сухие местообитания с более богатыми почвами (63 ступень увлажнения, 9 ступень богатства и засоленности почвы), что создает благоприятные условия для развития густого кустарникового яруса и преобладания дерновинных растений в травяном ярусе, которые препятствуют появлению и выживанию подроста.

В результате исследований выявлено, что возрастная структура лиственничных редколесий в верховьях р. Аккол ступенчато разновозрастная, представлена тремя поколениями. Средний возраст деревьев первого поколения 500 лет, второго – 250 лет, возраст наиболее молодого поколения не превышает 150 лет. Наибольший возраст имеют деревья, растущие на расстоянии 7 км от ледника в месте впадения руч. Тура-Оюк в р. Аккол (2350 м), где имеются остатки материнского поколения с возрастом деревьев 700 лет. Наименьший возраст (менее 50 лет) – у деревьев, произрастающих на постгляциальных поверхностях середины XIX в. На них выявлены более оптимальные условия увлажнения и трофности. Обнаружены различия в приросте деревьев в направлении к леднику Софийский и от ледника. Древесно-кольцевые хронологии показали достаточно высокую согласованность между собой. Радиальный прирост положительно связан с весенне-летними температурами.

Работа выполнена при поддержке РФФИ № 13-05-00762.

Литература:

- 1. Нарожный Ю.К., Никитин С.А. Современное оледенение Алтая на рубеже XXI века // Материалы гляциологических исследований. 2003. Вып. 95. С. 93-102.
- 2. Русанов В.И. Распределение среднегодового количества осадков в Центральном Алтае // Известия ВГО. 1961. Т. 93. С. 41-43.
- 3. Тимошок Е.Е., Нарожный Ю.К., Диркс М.Н., Скороходов С.Н., Березов А.А. Динамика ледников и формирование растительности на молодых моренах Центрального Алтая. Томск: Изд-во НТЛ, 2008. 208 с.
- 4. Цаценкин И.А. Экологические шкалы для растений пастбищ и сенокосов горных и равнинных районов Средней Азии, Алтая и Урала. Душанбе: Дониш, 1967. 223 с.

Seed cone production in Siberian stone pine in high elevation forests and forest-tundra ecotone in Severo-Chuisky Range (the Central Altai Mountains)

Filimonova E., Savchuk D.

Institute of Monitoring of Climatic and Ecological Systems SB RAS, Tomsk, Russia E-mail: smelena82@mail.ru

eed cone production in Siberian stone pine was studied in high elevation larch-pine forests (2150-2300 m a.s.l.) and forest-tundra ecotone (2235-2390 m a.s.l.) in the Aktru headwater, Severo-Chuisky Range, the Altai Mountains, Russia by direct observations during 2004-2013 and by the scars and traces of the cones on the annual shoots on the sample cone-bearing branches (Vorobjev et al., 1994).

We noted the seed cone production in Siberian stone pine trees on the eastern slope of the Aktru river valley as high as 2350 m a.s.l. and on western slope as high as 2390 m a.s.l. "Reproductive line" in Siberian stone pine locates at 2350-2390 m.

Tree began to bear the cones in 60-70 years age in the ecotone and in 90-130 years in the forests.

The trees initiated the seed cones every year: 1.5 (range is from 0.5 to 2.0) cones per shoot on the eastern slope and 1.6 (range is from 0.9 to 2.4) cones per shoot on the western slope in the ecotone but significantly higher (2.0 cones per shoot and range is from 0.9 to 2.7) in the forest. The initiated cone production was synchronous but not absolutely. For example, it was higher every year since 2000 till 2004 on the eastern slope but not every year on the opposite slope.

The initiated seed cones can abort and fall down: 28.4% on the eastern slope and 19.7% on the western slope in the ecotone.

Next season Siberian stone pine pollinates. In the Aktru headwater such pollination begins about one month later than in the West Siberian Plain. During pollination year the 1-year seed cones can abort and fall down too: 6,9% on the eastern slope and 15,1% on the western slope in the ecotone.

Next season again the 2-year cones fertilizer and mature: 6.2% of the immature cones abort on the eastern slope and 2,3% on the western slope in the ecotone.

The average total abortion of all seed cones is 41.5% on the eastern slope and 37.0% on the western slope in the ecotone. The total cone crop is 0.9 (range is from 0 to 1.9) cones per shoot on the eastern slope and 1.0 (range is from 0.2 to 2.2) cones per shoot on the western slope in the ecotone but significantly lower (0.6 cones per shoot and range is from 0.1 to 1.5) in the forest. The cone crop production was almost synchronous in the ecotone and the forest.

We found the positive correlation between the initiated seed cone production and the temperature of the growing season (0.45-0.68) in the eastern slope of the ecotone and the forest. But the summer temperature is not a limiting factor for the seed cone initiation in the western slope of the ecotone. But here the initiated seed cone production negative responds on the temperature in previous December (-0.47-0.60). The precipitation in May-August limits seed cone crop (-0.42-0.70) in the both slopes in the ecotone.

The study was supported by the Russian Foundation of Basic Research (grant 13-05-00762.

Динамика семеношения кедра сибирского в системе высокогорные леса–лесотундровый экотон Северо-Чуйского хребта (Центральный Алтай)

Филимонова Е.О., Савчук Д.А.

Институт мониторинга климатических и экологических систем CO PAH, Томск, Россия E-mail: smelena82@mail.ru

а Северо-Чуйском хребте, как и на многих других хребтах Центрального Алтая, кедр сибирский образует верхнюю границу леса (Куминова, 1960; Тимошок, 2001) и является доминирующей породой в древесном ярусе высокогорных авангардных сомкнутых кедровых лесов на высотах 2150-2300 м и ландшафтном экотоне «лес-тундра» на высотах 2235-2390 м над ур. моря.

Известно, что наиболее характерной чертой семеношения кедра сибирского является неравномерность урожаев по величине и качеству, по годам и этапам онтогенеза в разных экологических условиях его произрастания (Крылов и др., 1983).

Задача работы – описать динамику семеношения от заложения шишек до их полного созревания у кедра сибирского из сопряженной системы: высокогорные авангардные сомкнутые леса – ландшафтные экотоны «лес-тундра» в верховьях р. Актру (Северо-Чуйский хребет, Центральный Алтай).

Для решения поставленной задачи заложили 9 пробных площадей в экотоне на восточно-юго-восточном и западно-северо-западном склонах долины р. Актру на высотах 2235-2480 м над ур. м. и 4 – в лиственнично-кедровых лесах на высотах 2150-2300 м, где у деревьев кедра отбирали плодоносящие ветви для реконструкции динамики семеношения по следам от шишек на коре и поперечных спилах годичных побегов (Воробьев и др., 1990).

При изучении семеношения деревьев кедра установлено, что в годы наблюдений (2004-2013 гг.) оно отмечено у деревьев, произрастающих в группах на восточно-юго-восточном склоне на высотах до 2350 м, на западно-северо-западном – до 2390 м. Выше групп деревьев (до 2480 м) были обнаружены стерильные особи кедра. Таким образом, «репродуктивная граница» у кедра сибирского в экотоне «лестундра» долины р. Актру проходит на высотах 2350-2390 м над ур. м.

В этих условиях семеношение кедра в экотоне начинается примерно с 60-70 лет (Филимонова, 2012), в сомкнутых лесах – с 90-130 лет (Тимошок и др., 2009).

Как показала ретроспективная оценка семеношения, заложение шишек происходит ежегодно. За 22-летний период (1990-2011 гг.) не отмечено ни одного года с отсутствием зачатков. На восточно-юговосточном склоне число зачатков шишек у деревьев составило в среднем 1,5 с колебаниями от 0,5 до 2,0 шт./побег, на западно-северо-западном склоне – 1,6 с колебаниями от 0,9 до 2,4, в сомкнутых лесах – достоверно выше (2,0 с колебаниями от 0,9 до 2,7 шт./побег) (рис. 1). В целом в группах деревьев на обоих склонах число зачатков шишек статистически не различалось.

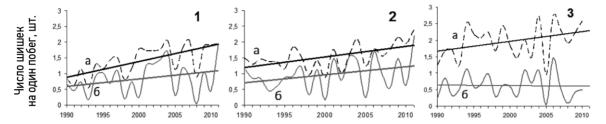


Рис. 1. Динамика числа заложившихся (а) и созревших (б) шишек на один побег у деревьев кедра в сопряженной системе высокогорные леса—лесотундровый экотон долины р. Актру Северо-Чуйского хребта: 1 — экотон восточноюго-восточного склона, 2 — экотон западно-северо-западного склона, 3 — лиственнично-кедровые леса. Сплошной прямой линией обозначен тренд.

Высокий уровень заложения шишек, общий в экотоне и лесу, наблюдался в 1997, 2004, 2007 гг., низкий – в 1998, 2005, 2008 гг. Однако в отдельные годы выявлены отличия в значениях. Так, в 1993 г. у деревьев на восточно-юго-восточном склоне отмечено низкое число зачатков шишек, а на западно-северо-западном склоне – среднее. В течение пяти лет с 2000 по 2004 гг. у деревьев на восточно-юго-восточном склоне ежегодно закладывалось повышенное число шишек, в то время как у деревьев на противо-положном склоне из этих пяти лет в 2000 и 2002 гг. отмечен спад в заложении.

Тренды изменчивости этого показателя положительные, что объясняется вступлением деревьев кедра в стадию более обильного семеношения, на что, возможно, наложились благоприятные условия современного потепления климата.

Несмотря на постоянное ежегодное заложение шишек, они гибнут на разных этапах своего развития. В условиях экотона отмечена гибель 24% зачатков, причем она больше у деревьев на восточно-юговосточном склоне (28,4%), чем на противоположном (19,7%). Большее число остановившихся в развитии и погибших зачатков на восточно-юго-восточном склоне по сравнению с западно-северо-западным связано с иссушающим действием господствующих ветров в зимний период, когда происходит также массовое обмерзание побегов.

На следующий вегетационный сезон происходит опыление кедра. В лесах долины Актру «цветение» и опыление отмечалось в конце июня - начале июля (Тимошок и др., 2008), в лесотундровом экотоне мы фиксировали этот процесс и в конце июля.

В период опыления часть шишек также может останавливается в своем развитии и погибать. В экотоне доля таких погибших однолетних шишек на восточно-юго-восточном склоне составила в среднем 6,9%, на западно-северо-западном – 15,1%. В целом по экотону эта величина составила 11,0%. Более низкий процент гибели однолетних шишек у деревьев на восточно-юго-восточном склоне по сравнению с противоположным указывает на более благоприятные условия для опыления, которым способствуют преобладающие ветра в долине Актру. Эти ветры оказывают губительное действие на зачатки, но способствуют лучшему опылению.

Опылившиеся шишки зимуют и на следующий год – год их созревания – часть их может погибнуть. Доля таких погибших шишек в третий вегетационный сезон у деревьев на восточно-юго-восточном склоне составила 6,2%, на западно-северо-западном – 2,3% от количества опылившихся и перезимовавших шишек, в целом по экотону 4,2%.

Суммарный опад шишек разных генераций за 22-летний период наблюдений составил у деревьев на восточно-юго-восточном склоне 41.5 %, на западно-северо-западном – 37.0%, по экотону в среднем 39.3%.

У деревьев экотона на восточно-юго-восточном склоне число двухлетних созревших шишек в среднем составило 0.9 шт./побег с колебаниями от 0 до 1.9, на противоположном склоне -1.0 с колебаниями от 0.2 до 2.2 шт./побег, в лесах – немного меньше (0.6 с колебаниями от 0.1 до 1.5 шт./побег).

В семеношении кедра выявлена высокая погодичная изменчивость. Максимальный урожай (2,0-2,2 шт./побег) в экотоне и лесах был отмечен в 2011 г. Выявлены отличия в динамике созревания шишек у деревьев экотона с разных склонов. Так, у деревьев на восточно-юго-восточном склоне выделяется период повышенных урожаев с 2001 по 2004 гг. (рис. 1, 16), обусловленный высокой закладкой шишек (рис. 1, 1а). У деревьев на противоположном склоне и в лесах из этих четырех лет 2002 г. был низкоурожайным. Также повышенный урожай шишек у деревьев был отмечен в 1997, 2006 и 2009 гг.

Неурожайными годами для всех деревьев с обоих склонов и в лесах были 1998, 2005, 2008 и 2010 гг. В эти годы число шишек на побег не превышало 0,6 шт. Наиболее резкие колебания в динамике созревания шишек выявлены у деревьев на западно-северо-западном склоне.

При анализе динамики семеношения кедра в экотоне (2235-2390 м) и сомкнутых лесах (2150-2300 м) долины Актру Северо-Чуйского хребта и в кедровых насаждениях субальпийского пояса Семинского хребта (1920 м) (Земляной, Барановский, 2007) выявлена высокая согласованность. Например, 2005 г. был неурожайным, а 2004 г. – высокоурожайным.

На динамику семеношения оказывают влияние погодно-климатические факторы. В экотоне на сухом восточно-юго-восточном склоне и в лесах обнаружена тесная корреляция числа зачатков шишек деревьев с температурой вегетационного сезона (r = 0,45-0,68). Формирующиеся зачатки шишек нуждаются в повышенной теплообеспеченности. Подобная зависимость выявлена в динамике закладки шишек в черневых (450 м над ур. м.) и субальпийских (1800 м над ур. м.) кедровниках Горного Алтая (Воробьев, 1983), кедровниках Восточного Саяна на высотах 800-1100 м над ур. м. (Ирошников, 1963). В то же время температура летних месяцев не является лимитирующей для заложения шишек у деревьев экотона на влажном западно-северо-западном склоне. На этом склоне обнаружена значимая отрицательная связь с температурой декабря предшествующего года (r = -0,47-0,60). Чем ниже температура зимой, тем больше снега выпадает, он дольше тает весной, позже начинается вегетация деревьев и повышается вероятность гибели заложившихся вегетативных почек на побеге при возврате весенне-раннелетних холодов, а следовательно, и зачатков, которые могут заложиться на этом побеге.

Число созревших шишек на побеге не связано с температурой воздуха: корреляций не найдено. С другой стороны, осадки мая-августа лимитируют процесс созревания шишек на обоих склонах экотона (r = -0.42-0.70). Созревающая шишка не нуждается в избытке влаги.

Таким образом, в условиях ландшафтного лесотундрового экотона Северо-Чуйского хребта семеношение кедра сибирского в группах деревьев отмечено до высоты 2390 м над ур. м., выше расположены стерильные одиночные особи. Выявлено хорошее совпадение динамики семеношения у деревьев кедра сибирского из сопряженной системы: высокогорные авангардные сомкнутые леса — ландшафтные экотоны «лес—тундра» в верховьях р. Актру. Особенностью семеношения является стабильное заложение шишек и высокие амплитуды колебаний числа заложившихся и созревших шишек. Тренды изменчивости семеношения за 22-летний период наблюдений положительные.

Работа выполнена при поддержке проекта РФФИ № 13-05-00762.

Литература:

- 1. Воробьев В.Н. Биологические основы комплексного использования кедровых лесов. Новосибирск: Наука, 1983. 256 с.
- 2. Воробьев В.Н., Горошкевич С.Н., Савчук Д.А. Ретроспективное изучение динамики половой репродукции кедра сибирского // Проблемы дендрохронологии и дендроклиматологии. Свердловск, 1990. С.33–34.
- 3. Земляной А.И., Барановский В.И. Особенности семеношения кедра сибирского на северной границе ареала // Хвойные бореальной зоны. 2007. Т. 24, № 2-3. С. 183-186.
- 4. Ирошников А.И. Плодоношение кедровых лесов в северо-западной части Восточного Саяна // Плодоношение кедра сибирского в Восточной Сибири. М., 1963. С. 93-103.
- 5. Крылов Г.В., Таланцев Н.К., Козакова Н.Ф. Кедр. М.: Лесн. пром-сть, 1983. 216 с.
- 6. Куминова А.В. Растительный покров Алтая. Новосибирск: CO АН СССР, 1960. 450 с.
- 7. Тимошок Е.Е. Растительность горноледникового бассейна Актру (Северо-Чуйский хребет) // Вестник Томского государственного университета. 2001. № 272. С. 78-82.
- 8. Тимошок Е.Е., Николаева С.А., Савчук Д.А., Скороходов С.Н. Адаптация деревьев кедра сибирского в лесных экосистемах к условиям высокогорий // Контроль и реабилитация окружающей среды: Матер. VI междунар. симпоз. Томск, 2008. С. 162-163.
- 9. Тимошок Е.Е., Николаева С.А., Скороходов С.Н., Савчук Д.А., Бочаров А.Ю. Биологические особенности возрастных состояний генеративного периода Pinus sibirica (Pinaceae) в лесах Центрального Алтая // Растительные ресурсы. 2009. Т. 45, вып.1. С. 3-12.
- 10. Филимонова Е.О. Динамика плодоношения кедра сибирского в лесотундровом экотоне (Северо-Чуйский хребет, Центральный Алтай) в период потепления климата // Региональный отклик окружающей среды на глобальные изменения в Северо-Восточной и Центральной Азии: Матер. межд. науч. конф. Иркутск, 2012. Т.1. С.238-240.

Response of Baraba forest-steppe mires on global Coolings of Holocene

Preis Yu.I.

Institute of Monitoring of Climatic and Ecological Systems SB RAS, Tomsk, Russia E-mail: preisyui@rambler.ru

nowledge about the impact of climate change on the functional state of mire ecosystems in the past needed for qualitative prediction of their biosphere functions. Reconstruction response of mire ecosystems to extreme climate signals are the most informative. As a result of previous studies we found that in a continental climate of Western Siberia dry cooling is most strongly influenced by the functional state of the mires. This effect was direct, through the formation of permafrost in mineral soils and peat deposits, and indirect, through the degradation of permafrost in periods subsequent warming. On mire of middle, southern taiga and podtaiga different types of cryogenic processes in Coolings ca. 7200, 6400, 5100, 4300, 3000, 2400, 2100, 1700, 1200, 560 and 150 BP reconstructed. Revealed that depending on the strength of the climate signal and refractive its of local conditions, the impact of paleocryogenic processes on the mires state was positive (activation of paludification and oligotrofication and thus increase the peat accumulation rate and sustainability of mires to external factors) or negative (stopping of peat accumulation due to formation of palsa and then – thermocarstic pool). It is generally accepted, forest-stepp bog (riam) is the result of autogenic development of rich fen

The purpose of the study - to identify and determine the age and type of the paleocryogenic processes in the Baraba forest-steppe riams and southern limit of the permafrost zone in Cooling of Holocene.

The objects of the given work are Uba riam, Burnt riam and Riamok, near the v. Ubinskoye (55°19' N, 79° 42' E) and Sherstobitovsky riam (54° 58' N, 81° 0' E) - the southernmost from riams of study area. Samples from 6 peat cores analyzed for macrofossils composition, degree of peat decomposition, ash content, pH, natural moisture and density. 14C-dating by 18 samples. As a result, found that the peat deposits have depth of 1.0 to 3.72 m, are swamp transitional, swamp low-moor, *Sphagnum fuscum*. Raised bog peat layer depths are 45 - 275 cm. The absence of features for the autogenic oligotrofication: a gradual decrease in the ash content and pH of peat, increase residue oligotrophic species. Typical is a catastrophic transition from eutrophic to oligotrophic development stage. Radiocarbon age of this transition (ca. 1100, 1700, 3150, 4100 BP) corresponds to the beginning or end of a period of global Cooling of Holocene and age paleocryogenic processes in the mires of the forest zone of Western Siberia. This confirms the climate conditioning of oligotrofication. Before oligotrofication peat accumulation no stopping. Consequently, the processes of palsa formation were absent. Permafrost waterproof layer formed. Their availability is a prerequisite for catastrophic oligotrofication of rich fens. Gradual transgression exclusively eutrophic sphagnum moss (*Sphagnum teres*) to related trophic ecotopes in Cooling AT/SB confirms this view. The foregoing significant drainage of mires should have promoted permafrost formation in Cooling.

Age of riams coincides with the age of catastrophic oligotrofication, formation of secondary pools and peat accumulation stopping in European bogs. Prevailing opinion that these mire catastrophic transition to the atmospheric power due to the presence of waterproof layer - high degree of decomposition peat, which was formed in preceding arid period. However, in the riams of the study area there are no signs abrupt changes trophic paleoconditions and peat accumulation stopping.

Organic-mineral deposits underlying peat deposits riams often consist of mixture of residues of coastal-aquatic plants, macrophytes and oligotrophic *Sphagnum fuscum*. Similar deposits, but the Early Holocene age, found us in southern taiga's bog "Temnoe". They were formed in complexes consist of small lake and bog that have arisen from periglacial vegetation Younger Dryas as result of permafrost degradation. Consequently, during cooling periods, probably ca. 6300 and 7200 BP, in the Baraba forest-steppe cryogenic processes also occurred.

According to information received, the southern boundary of the local permafrost zone in Western Siberia in Cooling ca. 4100, 3000, 1700 BP in the Baraba forest-steppe held about 55°19' N and in Cooling ca. 1100 BP - about 54°0 'N.

Отклик болот Барабинской лесостепи на глобальные похолодания голоцена

Прейс Ю.И.

Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, Томск, Россия E-mail: preisyui@rambler.ru

ля качественного прогноза биосферной функции болотных экосистем в соответствии с существующими и разрабатываемыми климатическими моделями необходимы знания о влиянии климата на их функциональное состояние в прошлом. Наиболее информативными являются реконструкции отклика болотных экосистем на экстремальные климатические сигналы. Предшествующими исследованиями (Прейс, Карпенко, 2004; Прейс и др., 2010; Прейс, Курьина, 2012, Прейс, 2012) нами установлено, что в условиях континентального климата Западной Сибири наиболее сильное влияние на функциональное состояние болот оказывали сухие похолодания непосредственно, через формирование многолетней мерзлоты (ММ) в почво-грунтах и торфяных отложениях, и опосредованно, через деградацию ММ в периоды последующих потеплений. Реконструированы различные виды криогенных процессов в торфяных отложениях средней, южной тайги и подтайги Западной Сибири в периоды похолоданий около 7200, 6400, 5100, 4300, 3000, 2400, 2100, 1700, 1200, 560 и 150 лет назад. Выявлено, что в зависимости от силы климатического сигнала и степени преломления его местными условиями, воздействие криогенных процессов на состояние болот было положительным (активизация заболачивания и олиготрофизации и, соответственно, повышение скорости торфонакопления и устойчивости болот к воздействию внешних факторов) или отрицательным (прекращение торфонакопления из-за перехода болот в субаэраальное, а затем гипераквальное состояние). В начале XX века высказывались мнения о влиянии MM на возникновение олиготрофных рямов лесостепи, но были признаны ошибочными. В настоящее время общепризнано, что олиготрофизация болот лесостепи является результатом их аутогенного развития (Лисс и др., 2001).

Цель исследования – выявить и определить возраст и характер палеокриогенных процессов на болотах Барабинской лесостепи и южный предел зоны многолетней мерзлоты в периоды похолоданий голоцена.

Объекты исследования – Убинский рям, Горелый рям, Рямок, расположенные у п. Убинское (55°19° с.ш., 79°42° в.д.) и Шерстобитовский Рям (54°58° с.ш., 81° 0° в.д.) - у с. Шерстобитово. Шерстобитовский является самым южным рямом района исследования. Были отобраны 6 торфяных кернов. Пробы толщиной 2-10 см проанализированы на ботанический состав, степень разложения (R), зольность (A), рН, естественную влажность, плотность. Получено 18 радиоуглеродных дат. С целью выявления прекращений торфонакопления для палеостратиграфических рубежей выполнено датирование пар соседних образцов торфа.

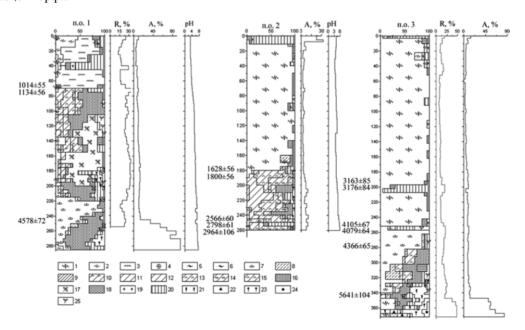


Рис. 1 Стратиграфические колонки и свойства торфа Шерстобитовского (п.о. 1), Убинского (п.о. 2) и Горелого рямов (п.о. 3). **Растительные остатки:** 1) Sphagnum fuscum, 2) S. angustifolium, 3) S. magellanicum, 4) S. balticum, 5) S. majus, 6) S. jensenii, 7) S. teres, 8) гипновые мхи, 9) Carex chordorrhiza, 10) C. rostrata, 11) C. vesicaria, 13), C. lasiocarpa, 13) C. cespitosa, 14) C. juncella, 15) кочкарные осоки, 16) тростник, 17) вахта, 18) пушица, 19) вересковые кустарнички, 20) древесные остатки, 21) рогоз, 22) роголистник, 23) камыш, 24) хара, 25) вейник.

Согласно полученным данным, торфяные разрезы имеют глубины от 1,0 до 3,72 м. Торфяные залежи – низинные и переходные травяные, верховые фускум. Слой верховых торфов имеет толщину от 45 до 275 см. Выявлено отсутствие признаков, характерных для аутогенной олиготрофизации: постепенное уменьшение показателей зольности и рН торфов, возрастание содержания остатков олиготрофных видов растений. Для всех разрезов характерен катастрофический переход с эвтрофной на олиготрофную стадию развития. Радиоуглеродный возраст этого перехода (около 1100, 1700, 3150, 4100 лет назад) совпадает с возрастом начала или окончания периодов глобальных похолоданий климата голоцена (Климанов, 1996; Волкова и др., 2002) и с возрастом палеокриогенных процессов на болотах лесной зоны Западной Сибири (Прейс, Карпенко, 2004; Прейс и др., 2010; Прейс, Курьина; 2012, Прейс, 2013). Все это свидетельствует о климатической обусловленности олиготрофизации изученных болот. Особенностью болот района исследования является отсутствие перерыва торфонакопления перед стадией олиготрофизации. Следовательно, здесь не происходило формирование крупных бугров пучения. По нашему мнению, необходимым условием для быстрой трансгрессии олиготрофных сфагновых мхов на низинные болота, являлось наличие многолетнемерзлых водоупоров. Это подтверждается данными, что в период похолодания на границе AT/SB для этих болот, находящихся на сходных по трофности низинных стадиях развития (рис. 1), была характерна трансгрессия исключительно эвтрофных сфагновых мхов (Sphagnum teres), имевшая, при этом, постепенный характер. Такое различие сукцессий болотной растительности обусловлено наличием влияния дополнительного мощного внешнего фактора, вероятнее всего, многолетней мерзлоты. Предшествующее значительное обсыхание болот однозначно должно было способствовать появлению ММ в сухие похолодания.

Возраст возникновения рямов лесостепи совпадает с возрастом катастрофической олиготрофизации, формирования вторичных озер и прекращений торфонакопления на болотах Восточной и Западной Европы. Господствует мнение (Хотинский, 1977), что такой характер смен обусловлен формированием в предшествующий аридный период слоя сильноразложившихся торфов, являющегося водоупором, обеспечивающим переход на атмосферное питание. Однако, на болотах района исследования отсутствуют признаки как резкого изменения трофности палеоэкотопов, так и перерывы торфонакопления.

Необходимо также отметить, что органо-минеральные отложения, подстилающие торфяные залежи рямов, часто образованы смесью остатков прибрежно-водных растений, макрофитов и олиготрофного Sphagnum fuscum (рис.). Аналогичные по ботаническому составу отложения, но раннеголоценового возраста, выявлены нами на южнотаежном болоте Темное. Они формировались в мелкоконтурных озерно-болотных комплексах, возникших на месте перигляциальной растительности Дриаса при деградации многолетнемерзлых грунтов. Следовательно, и в периоды более ранних похолоданий, вероятнее всего, около 6300 и 7200 лет назад, в Барабинской лесостепи также имели место криогенные процессы.

На основании полученных данных, можно сделать вывод, что южная граница зоны очаговой многолетней мерзлоты Западной Сибири в периоды похолоданий около 4100, 3000, 1700 лет назад в Барабинской лесостепи проходила не севернее 55о19' с.ш. (Убинские рямы), а около 1100 л.н. – по 54о 0' с.ш. (Шерстобитовский рям). Вполне вероятно, что при исследовании более глубокозалежных участков этих рямов будут получены данные о проявлениях криогенных процессов в периоды и других похолоданий и о более южном (вплоть до Шерстобитовского ряма) простирании палеозон очаговой многолетней мерзлоты.

Литература:

- 1. Прейс Ю.И., Карпенко Л.В. Особенности стратиграфии, динамики и генезиса олиготрофных грядово-мочажинных комплексов среднетаежной подзоны Западной Сибири // Изв. ТПУ. -2005. T.308. №1. C.48–53.
- 2. Прейс Ю. И., Бобров В. А., Будашкина В. В., Гавшин В. М. Оценка потоков минерального вещества по свойствам торфяных отложений Бакчарского болота (южная тайга Западной Сибири) // Известия ТПУ, 2010. − Т. 316. № 1. С. 43-47.
- 3. Прейс Ю.И., Курьина И.В. Реконструкция высокого разрешения палеоэкотопов болот южной тайги Западной Сибири как отклик на изменения климата голоцена // Исследование природно-климатических процессов на территории Большого Васюганского болота /под ред. чл.-корр. РАН М.В. Кабанова. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2012. С. 14-38.
- 4. Прейс Ю.И. Палеокриогенные процессы в торфяных отложениях юга лесной зоны Западной Сибири // Климатология и гляциология Сибири: материалы Междунар. науч.-практ. конф. / под общ. ред. В.П. Горбатенко, В.В. Севастьянова. Томск, 2012. С. 226–227.
- 5. Лисс О.Л., Абрамова Л.И., Аветов Н.А. и др. Болотные системы Западной Сибири и их природоохранное значение / Под ред. д.б.н. профессора В.Б.Куваева. Тула: Гриф и Ко, 2001. 584 с. 6. Климанов В.А. Климат северной Евразии в позднеледниковье и голоцене (по палинологическим данным). Автореферат дисс. д-ра геогр. наук. М., 1996. 48 с.
- 7. Волкова В.С., Гнибиденко З.Н., Горячева А.А. Климатическая ритмика голоцена центральной части Западно-Сибирской равнины (палинология, магнетизм) // Основные закономерности глобальных и региональных изменений климата и природной среды в позднем кайнозое Сибири. Новосибирск: Изд-во ИАЭт СО РАН, 2002. С. 48—57.
- 8. Хотинский Н.А. Голоцен Северной Евразии. М.: Наука, 1977. 198 с.

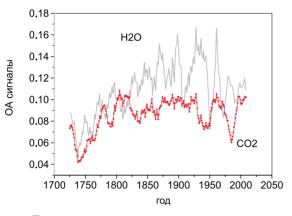
Окружающая среда и некоторые характеристики 300-летней лиственницы

¹Сапожникова В.С., ¹Агеев Б.Г., ¹Пономарев Ю.Н., ²Савчук Д.А.

- 1 Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, Томск, Россия
- ² Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, Томск, Россия

E-mail: ageev@asd.iao.ru, yupon@iao.ru, sapo@asd.iao.ru, savchuk@imces.ru

дной из наиболее обсуждаемых в настоящее время проблем является изменение окружающей среды: рост приземной температуры, концентрации атмосферного CO_2 , изменение изотопного состава углерода CO_2 [1], которые должны оказывать влияние на биоту. Исследование традиционными методами влияния окружающей среды на ростовые характеристики деревьев часто приводят к неоднозначным результатам [2]. Предлагаемая нами методика исследования содержания CO_2 в годичных кольцах стволов позволяет проследить погодичное изменение дыхания клеток (выделенный CO_2) и связать произошедшие изменения с изменениями характеристик окружающей среды [3]. В данной работе приводятся результаты исследования лазерным оптико-акустическим методом погодичного распределения CO_2 (и O_2) в кольцах спила 300-летней лиственницы, результаты измерения отношения изотопов углерода исследуемого O_2 масс-спектрометрическим методом. По результатам наших исследований можно сделать вывод, что изменение внешних атмосферных условий может влиять на дыхание ствола, изменяя характер цикличности и в ряде случаев вызывать появление новых циклов.



Погодичное изменение оптико-акустических (ОА) сигналов на длинах волн CO_2 -лазера: P(20) (CO_2) и R(20) (H_2O) (данные осреднены 11-летним циклом)

Литература:

- 1. IPCC, 2007 from: IPCC Fourth Assessment Report: Climate Change 2007: Synthesis Report. http://www.ipcc.ch/publications_and_data/publications_ipcc_fourth_assessment_report_synthesis_report.htm
- 2. Palacio S., Hoch G., Sala A., Körner C., Millard P. Does carbon storage limit tree growth? // New Phytol. 2013. V.201, № 4, P.1096-1100.
- 3. Sapozhnikova, V. A., Gruzdev, A. N., Ageev, B. G., Ponomarev, Yu. N., Savchuk, D.A. Relationship between CO2 and H2O Variations in Tree Rings of Siberian Stone Pine and Meteorological Parameters// Doklady Earth Sciences 2013. V.450, №2, P.652–657.

Environment and some features of 300-year-old larch

¹Sapozhnikova V., ¹Ageev B., ¹Ponomarev Yu., ²Savchuk D.

- ¹ V.E. Zuev Institute of Atmospheric Optics SB RAS, Tomsk, Russia
- ² Institute of Monitoring of Climatic and Ecological SB RAS, Tomsk, Russia

E-mail: ageev@asd.iao.ru, yupon@iao.ru, sapo@asd.iao.ru, savchuk@imces.ru

ne of the main subject under discussion now is environment changes: surface temperature and atmospheric CO₂ rise and changing of CO₂ carbon isotope ratio [1]. Assessment of the similar changings with sufficient accuracy is only the possible if information about the last climate exists. Such information can be obtained at climate reconstruction from tree ring width and density which are a function of environment temperature. But sufficient correlation between temperature variations and tree growth exists during 1880-1960 but since 1960 this correlation breaks down at some sites: tree ring width decreases with tempera-

ture rise, the so-called "divergence problem" appears [2]. Next discrepancy is related with influence of the atmospheric CO_2 excess on plants. It was assumed that there should be homogeneous reactions of plants on the homogeneous CO_2 rise. This, however, is not the case [3]. Numerous literature was devoted to investigations into the influence of CO_2 excess on the tree growth [4] but "there is no empirical evidence for a long-term, sustained stimulation of tree growth by elevated CO_2 in natural undisturbed setting with a natural steady state nutrient cycle" [5, p. 1096].

It is possible that the reason of these discrepancies relates with the wood tree ring CO_2 storage (or conservation). But up to now, the stem CO_2 behavior under environmental changes is still a question. It is well known that the most CO_2 within the stem originates from respiring cells in the stem and roots and exhibits diurnal and seasonal variability [6]. But the question remains about the annual tree ring CO_2 content and relation with climate respons . It had been shown in our works [7,8] that a considerable portion of CO_2 and H_2O remains in Siberian stone pine annual rings and variations exhibits within a wide time scale which are probably due to climatic factors; also a correlation was found between CO_2 in the Siberian spruce disc tree rings and previous-year temperature and precipitation. The aim of this investigation is a laser photoacoustic gas analysis of CO_2 and H_2O extracted under vacuum from disc tree rings of 300-year-old larch (the tree species, as opposite to Siberian stone pine and Siberian spruce above, sheds the needles every year) and the carbon CO_2 isotope ratios measured in several annual rings of this larch .

The measurement results may be of interest for dendrochronologists, experts in dendroecology and carbon dioxide balance and to those who seek to understand how the stem respiration varies under environmental conditions.

By now, 1700 gas samples from coniferous discs has been investigated. In this work, we represent CO_2 and $(CO_2 + H_2O)$ distributions in the disc tree rings of a larch (Larix sibirica) dry disc (Tomsk Region, West Siberia, Russia).

Laser photoacoustic spectroscopy was successfully used in different applications for many years. Our experimental system and procedure applied for investigations into CO_2 and H_2O in disc tree rings are described [7,8]. The disc tree ring wood was planed off with special chisels, weighed (4g) and placed in sealed chambers. The air was pumped out from the chambers, and measurements were performed 20–30 minutes later to stimulate wood gas diffusion. The gas samples from each chamber (at a pressure of ~ 6–8 Torr) were placed in an evacuated cell of a laser spectrometer (photoacoustic gas analyzer) equipped with a sealed-off waveguide CO_2 laser. The measurements were performed in four tunable CO_2 laser lines: 10 P (20, 16, 14) coinciding with CO_2 absorption lines and 10 R (20) coinciding with CO_2 and water vapor absorption lines - $(CO_2 + H_2O)$. Experimental conditions (air was added to the photoacoustic cell to provide the pressure ~ 100 Torr) allowed us to obtain approximately the same absorption coefficients of the samples in the 10 P (20, 16 and 14) laser lines. Figure 1 illustrates CO_2 waveguide laser lines (coinciding with the disc CO_2 spectrum) and H_2O spectrum.

To verify the fact that CO_2 in the samples studied was generated by the trees themselves instead of being supplied from the atmosphere, an isotope analysis of carbon of desorbed CO_2 in a few annual rings was made. It is known that the average carbon isotope ratio of the atmospheric CO_2 is $\delta 13$ C = -8.07%, while leaves and tree wood are characterized by a lower carbon isotope ratio (from -20% to -30%)[9]. The tree ring carbon isotope ratio (expressed as $\delta 13$ C, $\delta 0$) of $\delta 13$ C chemically extracted from the tree ring wood was determined with $\delta 10.1\%$ accuracy by means of a DELTA V Advantage mass spectrometer. The results show that the samples are enriched in light isotope 12C from $\delta 13$ C $\delta 14$ C δ

The results of investigations of annual CO₂ (and H₂O) variations in the larch disc tree rings smoothed by 11-year running average are shown in Fig.3. A value of photoacoustic signals is proportional to CO₂ and H₂O concentrations of the gas probes under study accuracy to a calibration factor. Investigations of CO₂ in the tree disc rings by the method proposed here have shown that a considerable portion of CO₂ and H₂O remains in the tree stems and exhibits aspecific annual distributions. Figure 3 demonstrates that CO₂ and H₂O storage in the tree rings have

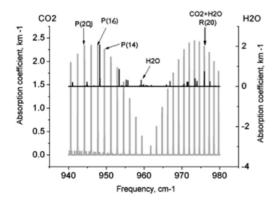


Fig. 1. CO₂ and H₂O spectra.

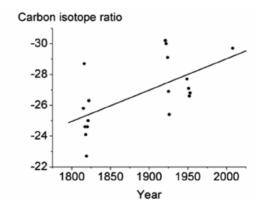
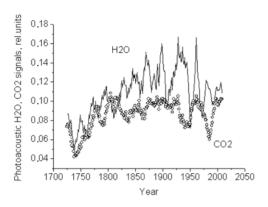


Fig.2. The time variation of carbon isotope ratio of CO₂.

107

some features: 1) ~ 25-year H_2O cycles; 2) CO_2 distribution varies since 1830 that justify the beginning of the influence of industry as atmospheric pollution on stem respiration; 3) polynomial approximation of the CO_2 tree ring distribution since from 1830 emphasizes ~50-year long-term cycles (Fig.4); 4) the trend of the tree ring CO_2 rise are evident in the last tree rings what can be related with the atmospheric CO_2 rise [10].



1913

Fig.3. Annual variation of photoacoustic signals on P(20) and R(20) laser lines (results smoothed by 11-year running average)

Fig.4. The superposition of long-term cyclicity on 2-4-year cycles of annual CO_2 distribution in the disc tree rings of 300-year larch.

Thus the results of an investigation into the larch disc tree ring CO_2 storage (or H_2O) show that CO_2 (cell respiration) and H2O variations possess 2-4 –years cycles modulated by long-term cycle. We can conclude that environment change can influence on stem respired CO_2 via change the cyclicity and appearance a new cycles sometimes. Moreover it may be suggested that atmospheric CO_2 and surface temperatures rise since after 1960 change the annual diffusion character of stem CO_2 and lead to it accumulation.

References:

- 1. IPCC, 2007 from: IPCC Fourth Assessment Report: Climate Change 2007: Synthesis Report. http://www.ipcc.ch/publications_and_data/publications_ipcc_fourth_assessment_report_synthesis_report.htm
- 2. D'Arrigo R., Wilson R., Liepert B., Cherubini P. On the 'Divergence Problem' in Northern Forests: A review of the tree-ring evidence and possible causes // Global and Planetary Change. 2008. V. 60. P. 289 305
- 3. Schweingruber F. H. Tree Rings and Environment Dendroecology. Berne, Stuttgart, Vienna, Haupt: Birmensdorf, Swiss Federal Institute for Forest, Snow and Landscape research, 1996. 609 p.
- 4. Hall, M., Medlyn, B. E., Abramowitz, G., Franklin, O., Räntfors, M., Linder, S., and Wallin G. Which are the most important parameters for modelling carbon assimilation in boreal Norway spruce under elevated $[CO_2]$ and temperature conditions?//Tree Physiology. 2013. 00, P.1–21, http://treephys.oxford-journals.org/content/33/11/1156.full
- 5. Palacio S., Hoch G., Sala A., Körner C., Millard P. Does carbon storage limit tree growth? // New Phytologist .2014. V.201, № 4, P.1096-1100.
- 6. Teskey R.O., Saeyn A., Steppe K., McGuire M.A. Origin, fate and significance of CO₂ in tree stems. // New Phytologist.. 2008. V. 177. №1. P. 17-32.
- 7. Sapozhnikova, V. A., Gruzdev, A. N., Ageev, B. G., Ponomarev, Yu. N., Savchuk, D.A. Relationship between CO₂ and H₂O variations in tree rings of Siberian stone pine and meteorological parameters// Doklady Earth Sciences 2013. V.450, №2, P.652–657.
- 8. Ageev B.G., Gruzdev A.N., Bondarenko S.L., V.A. Sapozhnikova V.A.. Long-Term H_2O and CO_2 trends in conifer disc tree rings and meteorological parameters// Journal of Life Sciences. 2013. V.7, N_2O 9. P. 1002-1008.
- 9. McCarroll D., Loader, N.J. Stable isotopes in tree rings// Quaternary Science Reviews. 2004. V. 23. P. 771-801.
- 10. Ageev, B., Ponomarev, Yu., and Sapozhnikova, V. Laser photoacoustic detection of CO_2 in old disc tree-rings // Sensors. 2010. V.10. P. 3305-3312.

Analysis of biologically active solar radiation impact on density of annual rings of conifers

¹Smirnov S.V., ²Batranin A.V., ¹Bondarenko S.L., ²Stuchebrov S.G.

- ¹ Institute of Monitoring of Climatic and Ecological Systems SB RAS, Tomsk, Russia
- ² National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia

E-mail: smirnov@imces.ru, batranin@tpu.ru, bondarenko@imces.ru, stuchebrov@tpu.ru

Results of the analysis of impact of biologically active ultraviolet (UV) radiation on density of annual rings of conifers are represented in the paper. Measurement data of solar radiation in visible and UV spectra are compared with the measurement data of wood density in annual rings of the pine growing in the site of UV measurements. The correlation analysis of the measurement data has found a positive correlation at 0.4–0.6 with probability on 95-% level between daily values of UV-B dose rate and spatial structure of wood density. The correlation is displayed with some time delay depending on a wood sampling on a tree. Spectral analysis of all measurement data including the PAR and UV-A measurements and spectral influence of biologically active solar radiation on wood density in annual rings will be presented in the report.

Анализ воздействия биологически активного солнечного излучения на плотность годичных колец хвойных деревьев

¹Смирнов С.В., ²Батранин А.В., ¹Бондаренко С.Л., ²Стучебров С.Г.

- 1 Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, Томск, Россия
- ² Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Томск, Россия

E-mail: smirnov@imces.ru, batranin@tpu.ru, bondarenko@imces.ru, stuchebrov@tpu.ru

ля роста и развития растительных сообществ, таких, например, как хвойные леса Западной Сибири, световой режим является основным климатическим абиотическим фактором. Важнейшим элементом светового режима являются инсоляция. Приходящее солнечное излучение участвует в основных биофизических процессах, происходящих в растительности. Излучение в спектральном диапазоне 400–700 нм, называемое фотосинтетически активным излучением (ФАИ), участвует в фотосинтезе — процессе образования в клетках растений из атмосферного углекислого газа и почвенной воды с участием хлорофилла, поглощающего свет, органических веществ (крахмала и сахара) с выделением кислорода. Ультрафиолетовое излучение (УФИ) в диапазоне 315–400 нм (УФ-А) наряду с видимым излучением участвует в фотоморфогенезе — процессе, контролирующим с помощью криптохром и фототропина, содержащихся в клетках растений, удлинение стебля, рост листьев, циркадные ритмы, цветение, направление роста органов растения в зависимости от направления падающего света. Излучение в диапазоне 280–315 нм (УФ-В) оказывает влияние на клетки растений, что в частности приводит к увеличению плотности хвои [1, 2]. Известно также о разрушающем влиянии высоких доз УФ-В-излучения на строительную стволовую древесину и кроны растущих деревьев [1, 2].

Оценить влияние УФ-излучения на плотность годичных колец живых деревьев довольно трудно в виду несовершенства имеющихся методик анализа и сложности разделения эффектов воздействия климатических, эндогенных и экзогенных факторов. Плотность кольца характеризует структуру древесины и зависит как от внутренних (видовых особенностей и возраста дерева), так и от внешних (климатических и природно-ландшафтных) факторов. Древесное кольцо в течение вегетационного периода проходит несколько стадий роста, создавая градиент плотности сложной формы, содержит зоны ранней древесины с минимальными и поздней древесины с максимальными значениями плотности. Таким образом, плотность кольца становится наиболее информативной характеристикой, описывающей физиологическое состояние и развитие дерева в течение вегетационного периода, в отличие, например, от ширины кольца – интегральной характеристики сезонного развития дерева.

В данной работе предлагается оценить степень воздействия биологически активного УФИ на плотность годичных колец хвойного дерева путём сравнения данных измерений пространственной облучённости в видимой и ультрафиолетовой областях с данными измерений плотности древесины в годичных кольцах сосны, растущей в районе измерения УФИ.

Измерения приходящего солнечного излучения проводятся в геофизической обсерватории ИМ-КЭС СО РАН с 2006 г. Для этого используется многоканальный радиометр среднего разрешения с температурной стабилизацией NILU-UV-6Т [3] (рис. 1a). Прибор измеряет пространственную облучённость ФАИ и УФИ (на длинах волн 302, 312, 320, 340 и 380 нм) ежесекундно, но в расчётах используются среднеминутные значения, на основании которых определяются средние и максимальные значения мощности дозы и дневные суммы УФ-А/В-излучения (рис. 1б) и ФАИ.



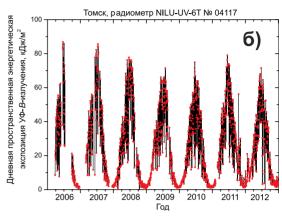


Рис. 1. Радиометр NILU-UV-6T (a) и данные измерений УФ-В-излучения в Томске (б).

Для определения плотности древесины в годичных кольцах из средневозрастной сосны (рис. 2a) на участке леса вблизи геофизической обсерватории 18 апреля 2014 г. были взяты 4 керна древесины (рис. 2б). Керны диаметром 35 мм и длиной 30 мм (без учёта толщины коры) брались на высоте 110–115 см с северной, восточной, южной и западной сторон дерева.





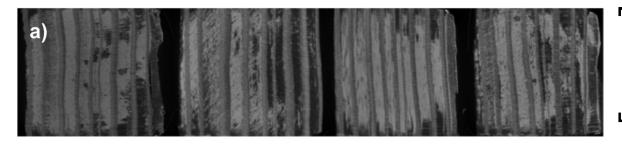
Рис. 2. Место взятия кернов древесины.

Измерения плотности годичных колец были выполнены в институте неразрушающего контроля ТПУ с помощью рентгеновского томографа высокого разрешения, который позволяет исследовать образцы объёмом в несколько кубических сантиметров с пространственным разрешением порядка 10 мкм [4]. Результаты измерений показаны на рис. 3. Хорошо видно, что структура древесины в кернах отличается друг от друга, наблюдается её пространственная неоднородность.

Проведённый корреляционный анализ данных измерений показал наличие положительных связей с коэффициентами корреляции 0,4—0,6 с вероятностью на 95-% уровне между ежедневными значениями мощности дозы УФ-В-излучения и пространственно-временной структурой плотности древесины. Эти связи проявляются с некоторым временным запаздыванием и в зависимости от местоположения древесины на дереве. В дальнейшем планируется провести спектральный анализ данных всех измерений, включая данные измерений ФАИ и УФ-А-излучения, чтобы количественно оценить степень воздействия различных видов биологически активного солнечного излучения на плотность древесины в годичных кольцах.

Литература:

- 1. Биоиндикация стратосферного озона / Под общей ред. В. В. Зуева; Рос. акад. наук, Сиб. отд., Институт оптики атмосферы [и др.]. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2006. 228 с.
- 2. Van der Maaten E., van der Maaten-Theunissen M., Spiecker H. Temporally resolved intra-annual wood density variations in European beech (Fagus sylvatica L.) as affected by climate and aspect // Ann. For. Res. 2012. V. 55(1). P. 113–124.



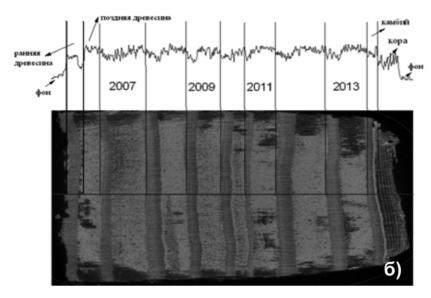


Рис. 3. Результаты томографического измерения плотности годичных колец для 4 сторон (а) и для северной стороны (б) дерева (более светлое изображение — более высокая плотность.

3. Dahlback A. Measurements of biologically effective UV doses, total ozone abundance and cloud effects with multi-channel moderate bandwidth filter instruments // Appl. Opt. 1996. V. 35. P. 6514–6521.
4. Batranin A. V., Chakhlov S. V., Grinev D. V., Kapranov B. I., Klimenov V. A. Design of the X-ray micro-CT scanner TOLMI-150-10 and its perspective application in non-destructive evaluation // Appl. Mech. and Mat. 2013. V. 379. P. 3–10.

Modeling radial growth of white birch growing on permafrost

¹Bryukhanova M.V., ²Shishov V.V., ²Tychkov I.I.

¹ V.N. Sukachev of Forest SB RAS, Krasnovarsk, Russia

² Siberian Federal University, Krasnoyarsk, Russia

E-mail: bryukhanova@ksc.krasn.ru

The main difficulty to study Siberian forest ecosystems is the fact that any long-term observations for such processes as seasonal changes in active soil layer, soil temperature and moisture, phenological data, duration of the growing season, and others, which influence on tree growth and productivity, are missing. As one of the possible ways of understanding tree-growth mechanisms and tree responses to environmental changes is modelling, which allows to use already available experiment/field data and relationships with other parameters based on biological principles of tree growth.

The studied area is located in the northern part of central Siberia, 12 km from the settlement of Tura (Evenkia, 64°18' N, 100°11' E, 150 m a.s.l.). The area is the part of the permafrost zone of the northern taiga and is mainly dominated by larch forests (*Larix gmelinii* (Rupr.) Rupr.). The climate is continental. The annual air temperature is -9°C and the annual precipitation is 370 mm. About 60% of the annual precipitation falls as rain (data from the Tura meteorological station of the Russian Research Institute of Hydrometeorological Information for the period 1936-2012).

The study plot was selected within a post-fire succession and representatives by even aged structural mixed forest of larch and birch (*Betula pubescens* Ehrh.) 98 years old. Analyses of tree-growth was performed from wood cores, 5-mm in diameter collected from 25 stems at breast height.

Annual tree-ring width (TRW) was measured on each core using a LINTAB measuring table with 0.01 mm precision combined with the program TSAP (Rinntech, Heidelberg, Germany). Obtained time-series were visually cross-dated and dating quality verified using the program COFECHA (Holmes 2001).

The process-based VS-model reproduces a time series of a regional birch tree-ring chronology for permafrost zone of Middle Siberia as a function of climate. The chronology simulated by the model correlates strongly with the original chronology for the calibration period (R = 0.60, for the period 1971–2008).

The model shows that the average duration of the growing season is 80 days, and that air temperature is the main limiting factor for tree-ring growth, although water limitation was also observed during 20 days period from the end of July until beginning of August. The strength of the VS-model is its ability to simulate a non-linear tree-growth response to climate changes. In the permafrost zone such simulations can be used to explain observed patterns of tree-growth variation in the past and to simulate tree growth under extreme conditions.

Output from the processes-based VS-model includes the partial influence of temperature and precipitation (soil moisture) on tree-ring formation, and the start and end date of the growing season. Potential applications of this type of information include assessment of likely impact of regional warming on tree-ring indices, and evaluation of the capability of different tree species to climate fluctuations in various seasonal periods.

Моделирование радиального роста березы пушистой в условиях криолитозоны Средней Сибири

¹Брюханова М.В., ²Шишов В.В., ²Тычков И.И.

- 1 Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, Красноярск, Россия
- ² Сибирский федеральный университет, Красноярск, Россия E-mail: bryukhanova@ksc.krasn.ru

жидается, что в 21 веке изменения климата будут способствовать модификации экосистем на структурном и функциональном уровнях (White et al., 1999; Iverson, Prasad, 2001; Tchebakova et al., 2003). Прогнозируемые изменения, как предполагают, окажут наиболее значимое воздействие на высокоширотные экосистемы, связанное с быстрым повышением температуры воздуха (Keeling et.al., 1996; Osterkamp, Romanovsky, 1999; Delisle, 2007).

Основной проблемой исследований древесной растительности северных экосистем является отсутствие длительных наблюдений таких важных процессов и явлений, как изменение глубины сезонного оттаивания мерзлоты, влажности и температуры почвы, фенологических изменений, продолжительности сезона роста и др., которые непосредственно влияют на рост и продуктивность древостоев. Одним из возможных путей понимания механизмов роста деревьев и их отклика на климатические изменения является экофизиологическое моделирование, при котором используются уже имеющиеся экспериментальные/натурные данные, а также зависимости и переменные, опирающиеся на биологические механизмы роста растения (Ogee et al., 2003; Vaganov et al. 2006; Roden, Farquhar, 2012 и др.).

В нашем исследовании мы использовали древесно-кольцевую хронологию по ширине годичных колец березы пушистой (*Betula pubescens Ehrh*.), произрастающей в подзоне северной тайги Средней Сибири (пос. Тура Эвенкийского района Красноярского края, 64°18' с.ш. 100°11' в.д.). Дендрохронологический анализ был проведен для 25 доминантных деревьев, средний возраст которых составил 98 лет. Район исследования относится к Крайнему Северу России. Климат района резко континентальный. Годовая амплитуда (разница температур июля и января) колеблется от плюс 40 °C до минус 53°C (по данным метеорологической станции в пос. Тура). Средние месячные температуры января составляют минус 34-38°C. Морозы длятся 240—275 дней. Средние месячные температуры июля от +13°C до +15°C. Осадков выпадает около 370 мм в год.

Измерения ширины годичных колец и перекрестная датировка индивидуальных серий радиального прироста деревьев проведены в соответствии с общепринятой методикой (Ваганов и др., 1996, 2000; Rinn, 1996). Статистическая проверка качества датировки выполнена при помощи специализированной программы COFECHA (Holmes, 2001).

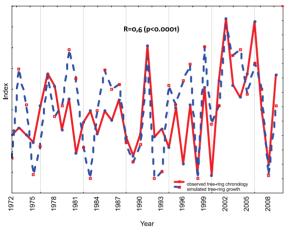
В работе применен модифицированный алгоритм имитационной модели роста древесных растений Ваганова-Шашкина (VS-model) — VS-осциллограф (Тычков и др., 2012). VS-модель основана на нескольких гипотезах (Vaganov et al., 2006). Во-первых, основной целью внешнего воздействия является камбиальная зона, зона активно делящихся клеток. Внешнее воздействие влияет на линейную скорость роста камбиальных клеток (и клеточный цикл). Во-вторых, основные внешние факторы, влияющие на темпы роста камбиальных клеток, являются температура, влажность почвы и солнечная радиация. Отношения между темпами роста годичных колец Gr (t) и внешних факторов описывается следующим уравнением:

$$Gr(t) = G_{r}(t) \min(G_{r}(t), G_{w}(t)),$$

где $G_I(t)$, $G_T(t)$ и $G_W(t)$ - частные скорости роста, которые зависят от солнечной радиации I, температуры T и влажности почвы W, соответственно. В качестве входящих данных широко используются суточные климатические данные количества осадков и температуры воздуха. В-третьих, для расчета скорости роста используется принцип лимитирующих факторов, то есть скорость роста на определенном интервале (времени) сезона не может быть выше, чем позволяет лимитирующий фактор. В-четвертых, изменения скорости роста в камбиальной зоне в основном предварительно определяют параметры формируемых трахеид (радиальный диаметр и толщину клеточной стенки). И, наконец, модель имитирует только климатически обусловленную изменчивость ширины и структуры годичных колец.

VS-модель мультипараметрическая (Ваганов, Шашкин, 2000), и главная трудность заключается в определении биологически обоснованных параметров модели, которые позволяют получить хорошую согласованность между исходной древесно-кольцевой хронологией и имитационной кривой. При использовании VS-осциллографа в модели был использован ряд параметров (Тычков и др., 2012), а также суточные климатические данные (количество осадков и температура воздуха) с ближайшей метеорологической станции в пос. Тура.

Период калибровки был выбран с 1971 по 2008 г. Для этого периода получена значимая положительная корреляция между исходной древесно-кольцевой хронологией и смоделированной кривой роста ($R=0,6,\,p<0,0001$) (Puc. 1).



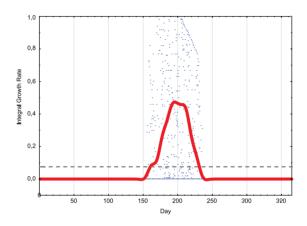


Рис. 1. Временная изменчивость исходной древеснокольцевой хронологии (Observed tree-ring indexes) и смоделированной кривой роста (Simulated tree-ring growth)

Рис. 2. Средняя интегральная скорость роста березы пушистой, полученная для периода с 1971 по 2008 гг. Пунктирной линией обозначена критическая скорость роста.

Анализ средней интегральной скорости роста показал, что в среднем сезон роста для данного вида деревьев стартует на 160 день (начало июня) и заканчивается 240 днем (конец августа) (Рис. 2). Продолжительность сезона – 80 дней.

Анализ средних частных скоростей роста, зависящих от температуры и влажности почвы, показал, что для данного местообитания рост березы лимитируется температурой (Рис. 3). Но выделяется период в 20 дней (в конце июля – начала августа), когда рост начинает лимитироваться влажностью почвы.

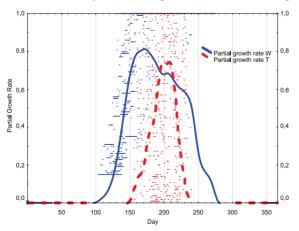


Рис. 3. Средние частные скорости роста березы в зависимости от температуры (Growth Rate W) и влажности почвы (Growth Rate T), полученные для периода с 1971 по 2008 гг.

Преимущество VS-модели заключается в способности имитировать нелинейные изменения роста деревьев при меняющемся климате. В исследуемом регионе модель может быть использована для того, чтобы установить и объяснить наблюдаемые закономерности колебаний роста в прошлом и имитировать рост при экстремальных условиях. Результат моделирования представляет собой набор данных, указывающих степень влияния температуры воздуха и осадков (влажности почвы) на формирование годичных колец, а также даты начала и окончания вегетационного периода. Потенциальное применение такого рода информации включает оценку возможного влияния регионального потепления на рост годичных колец, и оценку чувствительности разных видов деревьев к колебаниям климата в течение различных периодов роста.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Президента РФ для молодых ученых МК-1589.2014.4.

Литература:

- 1. Ваганов Е.А., Шиятов С.Г., Мазепа В.С. Дендроклиматические исследования в Урало-Сибирской Субарктике // Наука, Сиб. изд. РАН. Новосибирск. 1996. 324 с.
- 2. Ваганов Е.А., Шашкин А.В. Рост и структура годичных колец хвойных. Новосибирск: Наука, 2000. 214 с.
- 3. Тычков И.И., Леонтьев А.С., Шишов В.В. Новый алгоритм параметризации модели роста годичных колец деревьев: VS-осциллограф и его применение в дендроэкологии // Системы. Методы. Технологии. 2012. № 4 (16). С. 45-51.
- 4. Чебакова Н. М., Рефельдт Дж., Парфенова Е. И. Перераспределение растительных зон и популяций лиственницы сибирской и сосны обыкновенной в Средней Сибири при потеплении климата // Сибирский экологический журнал. 2003. Т. 10. № 6. С. 677-686.
- 5. Delisle G. Near-surface permafrost degradation: how severe during the 21st century? // Geophysical Research Letters. 2007. 34 L09503.
- 6. Holmes R.L. Dendrochronology Program Library, Version 2001. Laboratory of Tree-Ring Research, University of Ari-zona, Tucson, Arizona USA. 2001.
- 7. Iverson L.R. and Prasad A.M. Potential changes in tree species richness and forest community types following climate change // Ecosystems. 2001. V. 4. P. 186–199.
- 8. Keeling C.D., Chin J.F.S., Whorf T.P. Increased activity of northern vegetation inferred from atmospheric CO2 measurements // Nature. 1996. V. 382. P. 146-149.
- 9. Ogée J., Brunet Y., Loustau D., Berbigier P. and Delzon S. (2003) MuSICA, a CO2, water and energy multilayer, multileaf pine forest model: evaluation from hourly to yearly time scales and sensitivity analysis // Global Change Biology. 2003. V. 9. P. 697-717.
- 10. Osterkamp T.E., Romanovsky V.E. Evidence for warming and thawing of discontinuous permafrost in Alaska // Permafrost Periglacial Process. 1999. V. 10(1). P. 17-37.
- 11. Rinn F. Tsap V 3.6 Reference manual: computer program for tree-ring analysis and presentation. Bi-erhelderweg 20, D-69126, Heidelberg, Germany. 1996. 263 p.
- 12. Roden J.S., Farquhar G.D. A controlled test of the dual-isotope approach for the interpretation of stable carbon and oxygen isotope ratio variation in tree rings // Tree Physiology. 2012. V. 32. P. 490-503.
- 13. Vaganov E., Hughes M., Shashkin A. Growth Dynamics of Tree Rings: An Image of Past and Future Environments, Springer, New York. 2006.
- 14. White M.A., Running S.W., Thornton P.E. The impact of growing-season length variability on carbon assimilation and evapotranspiration over 88 years in the eastern US deciduous forest // International Journal of Biometeorology. 1999. V. 42. P. 139-145.

The model of the dynamics of the ecological factors at the Maly Aktru glacier foreland (Severo-Chuisky range)

Timoshok E.N.

Institution of Monitoring of Climatic and Ecological Systems SB RAS, Tomsk, Russia E-mail: ten80@mail.ru

he investigations of the primary successions at glacier forelands are one of the most important areas of basic ecology. These investigations allow understanding of in-depth processes of the functioning and development of ecosystems.

The model based on the field investigations which were performed at the foreland of the Maly Aktru glacier situated in the Central Altai, at the northern macroslope of the Severo-Chuisky range. The objects of mod-

eling are well established and widely used quantitative values: damping (P) and active soil richness (R_A), which can be evaluated through standard phytoindication method of Ramentsky-Tsatsenkin (Tsatsenkin, 1978). These values are integrative records of all a wide complex of environmental factors, mostly non-biotical ones. They are well correlated with climate and soils.

Both records are changing during the primary succession and may be represented as two piecewise functions:

$$(1) \begin{cases} P < P_{\text{max}}, P = t + d \\ P = P_{\text{max}}, P = P_{\text{max}} = const \end{cases},$$

where t is time (years); l, d is chronosequence-dependent variable; P_{max} is damping level for the ecosystem which may be formed in the result of the primary succession

and

$$(2) \begin{cases} R_{\scriptscriptstyle A} > R_{\scriptscriptstyle A \, \text{min}} \,, R_{\scriptscriptstyle A} = m + e \\ R_{\scriptscriptstyle A} = R_{\scriptscriptstyle A \, \text{mim}} \,, R_{\scriptscriptstyle A} = R_{\scriptscriptstyle A \, \text{min}} = const \;, \end{cases}$$

where t is time (years); m, e is chronosequence-dependent variable; $R_{A\min}$ is damping level for the ecosystem which may be formed in the result of the primary succession

The values of the variables were calculated through the lineal regression of the values, get from field investigations. These values are

$$l = 0.0394$$
; $d = 62.9178$; $P_{\text{max}} = 69.4$
 $m = -0.0136$, $e = 9.4274$; $R_{\text{train}} = 7$

The results of regression application allowed to evade existing stochastic nature and make some conclusions on the dynamics of the primary succession at the foreland of the Maly Aktru glacier.

Модель динамики экологических факторов на молодых моренах ледника Малый Актру (Северо-Чуйский хребет)

Тимошок Е.Н.

Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, Томск, Россия E-mail: ten80@mail.ru

сследования сукцессий растительности на освободившихся ото льда территориях являются одним из важнейших аспектов фундаментальной экологии, так как позволяют получить более глубокое представление о функционировании и развитии экосистем.

Аналитическое моделирование на уровне сообщества связано в основном с моделированием потоков энергии, оцененных посредством энергии и биомассы (Одум Ю., 1975, Одум Г., Одум Э., 1978), с использованием метода балансов почвенного азота (Аверкиева, Припутина, 2011). Существенное распространение получили имитационные модели, начиная от простейших, использующих концепцию количественного климакса (модель Dyksterhuis, 1949, которая применялась на протяжении 50 лет), и, заканчивая современными моделями, построенными на основе марковских цепей и сходными с ними моделями типа «состояние-переход» (Мау, 1977, Stringham at al, 2003, Bestlemeyer et al., 2011 и др.), позволяющими проведение моделирования границ и пространственной структуры групп сообществ.

Исследования, использованные для разработки данной модели проводились на молодых моренах ледника Малый Актру, расположенных в горно-ледниковом бассейне Актру, на северном макросклоне Северо-Чуйского хребта (Центральный Алтай), на высотах 2150-2350 м над ур. м. Для бассейна характерны низкие температуры (среднегодовая $-5,2^{\circ}$ C, средняя летняя температура $+8,7^{\circ}$ C), высокие амплитуды суточных колебаний (до $15-20^{\circ}$ C) и увлажнение (среднемноголетная сумма осадков по данным метеостанции Актру -521 мм/год).

На обследованных молодых моренах идут сукцессионные процессы, направленные на формирование кедрового леса, являющегося климатически детерминированным сообществом. В настоящий момент перехода к этому типа сообщества не происходит даже на наиболее старовозрастных участках молодых морен (около 150 лет).

В качестве объектов моделирования были выбраны широко известные количественные показатели – увлажнение и активное богатство почв по Раменскому-Цаценкину (Цаценкин, 1978), являющиеся интегративными показателями всего комплекса экологических факторов, в первую очередь абиотических, а именно климатических и эдафических факторов, включая осадки, температуру, материнскую породу и так далее.

Для изучения динамики этих факторов применялись метод геоботанических описаний (Корчагин, 1976), метод фитоиндикации, включающий использование стандартных экологических шкал И.А. Цаценкина (1978). Описания участков возрастом до 100 лет выполнялись на фрагментах морены, датированных с точностью до 5 лет, отмеченных на местности под руководством заведующего лабораторией гляциоклиматологии Томского государственного университета, к.г.н. Ю.К. Нарожного. На фрагменте 1911г. - середина XIX в. были выполнены два описания, с присвоением им условных возрастов «около 125» и «около 150» лет. В качестве инструмента обработки описаний, сведения их в базу данных и расчета увлажнения и активного богатства почв использовалась интегрированная ботаническая система «ИБИС» (Зверев, 2007),

Значения показателей активного богатства почвы и увлажнения, полученные в результате использования вышеперечисленных методов, в целом достаточно хорошо линеаризуются, что позволяет описать их по отдельности как линейные уравнения вида

(1) y = kt + b, где y моделируемая величина, t - время, k u b - константы.

Однако, поскольку процесс сукцессии носит направленный характер, у каждой из моделируемых величин существует такое значение y, при достижении которого для любого t значение y остается неизменным, то есть.

(2)
$$y_{\text{max}} = const$$

Максимальное значение y_{max} для данной сукцессии было установлено при исследовании окружающих фитоценозов - старовозрастных лесов на склонах долины р. Актру.

Таким образом, увлажнение (P) и активное богатство почв R_{Λ} , изменяющиеся на протяжении всей первичной сукцессии могут быть представлены как две кусочно-заданные функции:

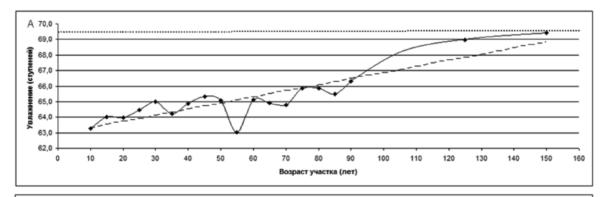
(3)
$$\begin{cases} P < P_{\text{max}}, P = t + d \\ P = P_{\text{max}}, P = P_{\text{max}} = const \end{cases}$$

 $(3) \begin{cases} P < P_{\max}\,, P = t + d \\ P = P_{\max}\,, P = P_{\max} = const \end{cases}\,,$ где t – время; l,d – постоянные зависящие от хронопоследовательности; P_{\max} – ступень увлажнения, соответствующая сообществу, являющемуся результатом сукцессии.

$$(4) \begin{cases} R_{\scriptscriptstyle A} > R_{\scriptscriptstyle A \, \text{min}} \,, R_{\scriptscriptstyle A} = tn + e \\ R_{\scriptscriptstyle A} = R_{\scriptscriptstyle A \, \text{min}} \,, R_{\scriptscriptstyle A} = R_{\scriptscriptstyle A \, \text{min}} = const \; , \end{cases}$$

где t – время, m,e – постоянные, зависящие от хронопоследовательности; $R_{A\min}$ – ступень активного богатства, соответствующая сообществу, являющемуся результатом сукцессии.

Применение стандартных методов построения регрессии по множеству точек, например, реализованных в табличном процессоре "Microsoft Excel", позволяет получить значения постоянных l и d,



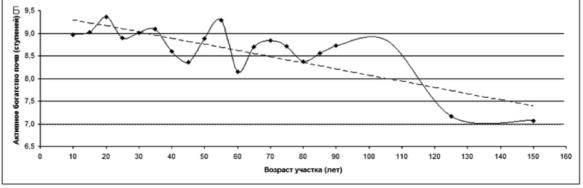


Рис. 1 Модель динамики увлажнения и активного богатства почв.

 модель динамики увлажнения; б – модель активного богатства почв. Сплошными линиями показаны наблюдаемые значения, штриховыми – результаты моделирования, пунктирными линиями – ограничивающие значения.

определяющих линейную зависимость увлажнения от времени и значения постоянных m и e, определяющих зависимость активного богатства почвы от времени.

В результате применения этих методов для динамики увлажнения были получены значения l =0,0394, d = 62,9178. В качестве ограничивающего значения было принято значение среднее для старовозрастных лесов: увлажнение равное 69,4 ступени.

Использование тех же методов для оценки динамики активного богатства почв, позволило получить значения m = -0.0136, e = 9.4274. В качестве ограничивающего значения $R_{A\min}$, соответствующего завершению сукцессии было принято среднее активное богатство почв старовозрастных лесов, равное 7 ступени. Результаты моделирования исследуемых показателей представлены на рис. 1.

Результаты моделирования отражают общую тенденцию развития экосистемы, а не динамику экологических показателей на отдельных фрагментах морены, что дает более обобщенную картину и позволяет игнорировать заметную на графике наблюдаемых значений стохастичность изменения факторов. Результаты моделирования хорошо согласуются с тем фактом, что перехода к кедровому лесу в настоящее время не наблюдается даже на наиболее старовозрастных участках молодой морены ледника Малый Актру. Учитывая, что изменение активного богатства происходит медленнее, можно предположить, что переход к кедровому лесу начнется не ранее 175–180 лет, в момент, когда активное богатство почв достигнет ограничивающего значения и относительно стабилизируется. Полученный результат хорошо согласуется с предположениями, базирующимися на эмпирических данных. Кроме того, использование результатов моделирования для оценки управляющего влияния факторов среды позволило провести ряд оценок, которые могут быть использованы в дальнейшей работе.

Литература:

- 1. Аверкиева И.Ю, Припутина И.В. Устойчивость лесных экосистем Московской области к воздействию NO2: вероятностные оценки // Материалы Второй национальной конферецнии с международным участием: Математическое моделирование в экологии. Пущино, 2011. c.20—21.
- 2. Корчагин. А.А. Видовой (флористический) состав растительных сообществ и методы его изучения // Полевая геоботаника. М: Наука.1964. Т.3.с.39–62.
- 3. Одум Ю. Основы экологии. М.: Мир, 1975. 741 с.
- 4. Одум Г, Одум. Э. Энергетический базис человека и природы. М.: Прогресс, 1978.379 с.
- 5. Цаценкин И.А., Савченко И.В., Дмитриева С.И. Методические указания по экологической оценке кормовых угодий тундровой и лесной зон Сибири и Дальнего Востока по растительному покрову. М.: ВНИИК им. В.Р. Вильямса, 1978. 302 с.
- 6. Dyksterkhuis E.J. Condition and management of rangeland based on quantitative ecology // Journal of range management. №2. 1949. pp. 104-115.
- 7. May R.M. Thresholds and breakpointsin ecosystems with a multiplicity of stable states // Nature. №269. 1977. pp. 471–477.
- 8. Stringham T.K., Krueger W.C., Shaver P.L. State and transition modeling: an ecological process approach // Journal of range management. № 56. 2003. pp 106-113.

The monitoring of the structure of local population of *Cyprepedium* genera orchids at the State Natural Reserve «Tungusskiy» (Krasnoyarsk krai)

Rayskaya Yu.G.

State Natural Reserve 'Tungisskiy', Krasnoyarsk krai, vil. Vanavara, E-mail: raiskaya.julia@mail.ru

he orchid species are very vulnerable components of ecosystems. The fast decreasing of the orchids diversity in the different areas of the Earth (including Europe) is one of the many actual problems of conservation of biodiversity.

Four species of the *Cypripedium genera* were found at the territory of the Tungussky reserve. All of them are protected by the state: *Cypripedium macranthon, C. ventricosum, C. calceolus* are included to the Red Book of Russian Federation (2008), the same species and *C. guttatum* are included to the Red Book of Krasnoyarsk krai. The north boundary of *C. calceolus, C. macranthon and C. ventricosum* ranges are lie at the Evenkia. The influence of the limiting factors is most significant in the harsh conditions of the Evenkia and often force secondary dormancy of orchid specimen. Presence of the secondary dormancy creates significant

fluctuations of ontogenetic group ratios at the local populations as a response of the specimen of *Cyprepedium genera* to ecological factors magnitude.

We are performing monitoring of *Cyprepedium calceolus* and *C. macranthon* for several years. The studied local populations had incomplete ontogenetic specters at the years of the monitoring. Such kind of the ontogenetic specters is normal for the Siberian orchids. Populations of the both species included juvenile, immature, mature vegetative and generative specimen and do not have senile and sub-senile ages. The analysis of ratios of different age groups showed stability of local populations of this rare endangered species. Despite the harsh Evenkia conditions the local populations are able to seed reproduction and can be a source of restocking of the *Cypripedium* populations in the Evenkia. The protection of the habitats of these orchids, provided by the reserve, is essential to survival of the populations.

Мониторинг структуры ценопопуляций видов *Cypripedium* на территории заповедника «Тунгусский» (Красноярский край)

Райская Ю.Г.

Государственный природный заповедник «Тунгусский», Красноярский край с. Ванавара E-mail: raiskaya.julia@mail.ru

В иды орхидных являются одним из наиболее уязвимых компонентов растительных сообществ, в связи с особенностями их биологии: наличием недифференцированного зародыша, вторичного покоя, микосимбиотрофизма (Аверьянов, 2000).

Резкое снижение разнообразия видов орхидных во многих областях Земного шара, в том числе в европейских странах, является одной из важных проблем сохранения биологического разнообразия (Vanheche, 1993; Perko, 1995).

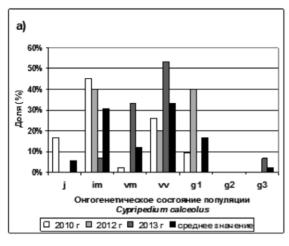
Территория заповедника «Тунгусский» расположена в южной части Эвенкийского административного района (Красноярский край), в междуречье наиболее крупных рек этой территории - Подкаменной Тунгуски и Чуни. Заповедник находится в области резко континентального климата с характерными для нее большими амплитудами сезонных колебаний температур воздуха и почвы, малым количеством атмосферных осадков и отчетливо выраженными периодами летней засухи (Васильев и др., 2003).

К настоящему времени на территории заповедника достоверно отмечено 4 вида этого рода, все они охраняются государством. В Красную книгу Российской Федерации (2008) занесены *Cypripedium macranthon*, *C. ventricosum*, *C. calceolus*; в Красную книгу Красноярского края (2012) включены эти виды, а также – *C. guttatum*. Согласно проведенному хорологическому анализу, *Cypripedium macranthon* и *C. ventricosum* имеют евразийский ареал, *C. calceolus* и *C. guttatum* – голарктический ареал. Три вида *Cypripedium calceolus*, *C. macranthon*, *C. ventricosum* на территории заповедника «Тунгусский» находятся на северной границе ареала. В Тунгусском флористическом районе эти виды крайне редки, их местонахождения единичны и изолированы. Здесь популяции этих видов растений существуют на пределе своих биологических возможностей, и, следовательно, их вымирание может привести к сокращению их ареалов.

На территории государственного природного заповедника «Тунгусский» мониторинг структуры ценопопуляций видов рода Cypripedium — Венерин башмачок, проводился на репрезентативном ключевом участке «Кордон Малина», на двух постоянных пробных площадях ($10 \times 10 \text{ м}^2$), в типичных для юга Эвенкии местообитаниях. Здесь совместно произрастают четыре вида этого рода Cypripedium Cypripedium

Наиболее детально исследованы ценопопуляции *Cypripedium calceolus* и *C. macranthon*. На территории заповедника, на крайнем северном пределе своего распространения, в суровых климатических условиях Эвенкии, ограниченные основными лимитирующими факторами, в неблагоприятных для них условиях окружающей среды, их особи уходят во вторичный покой и ведут в отдельные годы подземный образ жизни. Такое поведение особей приводит к достаточно большим флуктуациям в соотношении онтогенетических групп в ценопопуляциях. Поэтому при построение онтогенетических спектров использовались средние многолетние соотношения возрастных групп.

Мониторинг ценопопуляций *Cypripedium calceolus* показал, что в годы наблюдений они были нормальными неполночленными (Рис. 1). В них присутствовали ювенильные, имматурные, вегетативные молодые, вегетативные взрослые и генеративные особи; сенильные и субсенильные особи не отмечены.



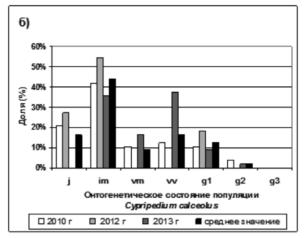
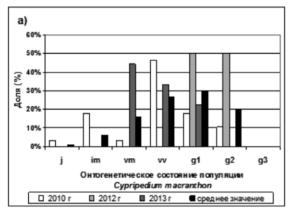


Рис. 1. Онтогенетические спектры ценопопуляций *Cypripedium calceolus*. a) в лиственнично-сосновом можжевельни-ково-бруснично-зеленомошном лесу, б) в сосново-лиственничном бруснично-зеленомошном лесу.

В лиственнично-сосновом можжевельниково-бруснично-зеленомошном лесу онтогенетический спектр ценопопуляции *С. calceolus* бимодальный, с двумя пиками, один из которых приходится на имматурные особи, а другой на взрослые вегетативные особи. В отдельные годы здесь отсутствовали ювенильные, молодые вегетативные, генеративные особи. Однако, большое количество вегетативных и имматурных особей, а так же присутствие генеративных особей, указывают на достаточно стабильное состояние этой ценопопуляции.

В онтогенетическом спектре ценопопуляции *С. calceolus* в сосново-лиственничном бруснично-зеленомошном лесу в годы наблюдений преобладали имматурные особи, что указывает на ее активное семенное самоподдержание. Высокое участие генеративных особей показывает на то, что эта ценопопуляция наиболее стабильна. В отдельные годы здесь также отсутствовали ювенильные, молодые и взрослые вегетативные особи.



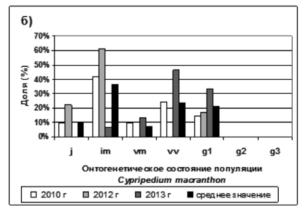


Рис.2. Онтогенетические спектры ценопопуляций *Cypripedium macranthon.* а) в лиственнично-сосновом можжевельниково-бруснично-зеленомошном лесу, б) в сосново-лиственничном бруснично-зеленомошном лесу.

В онтогенетическом спектре ценопопуляции *Cypripedium macranthon* (Рис. 2) в лиственнично-сосновом можжевельниково-бруснично-зеленомошном лесу отмечено преобладание генеративных особей, при небольшой доле ювенильных и имматурных и значительной доле вегетативных особей. Это указывает на зрелость ценопопуляции. В отдельные годы здесь отсутствовали ювенильные, имматурные, молодые вегетативные и взрослые вегатативные особи. Ввиду того, что эта ценопопуляция расположена на возвышенности, семена генеративных особей, по-видимому, вовлечены в миграцию.

В сосново-лиственничном бруснично-зеленомошном лесу в онтогенетическом спектре ценопопуляции *Cypripedium macranthon* (Рис. 2) преобладают имматурные особи, что указывает на ее активное семенное самоподдержание. Присутствие генеративных особей указывает на то, что ценопопуляция уже достигла состояния, допускающего высокое семенное самоподдержание, аналогично приуроченной к тому же местообитанию популяции *C. calceolus*. В отдельные годы в ней отсутствовали ювенильные, молодые вегетативные и взрослые вегетативные особи.

Ценопопуляции *Cypripedium macranthon* являются неполночленными. В онтогенетических спектрах ценопопуляций этого вида, также как и у *C. calceolus*, сенильные и субсенильные особи отсутствуют ежегодно. В отдельные же годы также отсутствуют ювенильные, имматурные, молодые вегетативные и взрослые вегатативные особи.

Таким образом, на основе мониторинга структуры ценопопуляций редких и исчезающих видов - *Cypripedium macrahnthon* и *C. calceolus* на северной границе их ареала, установлено, что на территории заповедника «Тунгусский», в суровых климатических условиях южной Эвенкии, они достаточно стабильны, имеется тенденция к их активному семенному самоподдержанию, чему в значительной степени способствует режим охраны их местообитаний, осуществляемый заповедником. Охраняемые в заповеднике ценопопуляции данных видов, с учетом их высокой миграционной способности, обусловленной легкостью семян, могут служить источником возобновления численности популяций на сопредельных территориях, подверженных антропогенным нагрузкам.

Литература:

- 1. Аверьянов Л.В. Орхидные (Orchidaceae) Средней России // Turczaninowia. 2000. №3(1). с. 30-35.
- 2. Васильев Н.В., Львов Ю.А., Плеханов Г.Ф. и др. Государственный природный заповедник «Тунгусский» (очерк основных данных) // Труды ГПЗ «Тунгусский». Вып. 1. Томск: Изд-во ТГУ, 2003.~c.~33-89.
- 3. Красная книга Российской Федерации (растения и грибы). М.: КМК, –2008. 855с.
- 4. Красная книга Красноярского края. т.2: Редкие и находящиеся под угрозой исчезновения виды дикорастущих растений и грибов Красноярск: Сибирский фед. ун-т, 2012 572 с.
- 5. Perko M. Nachruf auf einige bedeutende Orchideenbiotope und kritische Situation einiger Orchideensippen Karintens // Carinthia II. 1995. –vol. $105 N_{\rm e} 1.$ pp. 205-213.
- 6. Vanheche L. De problematische achteruintgang von onze inheemse orchideen: is regionalizering van de wetgeving zinvol, kan herintroductie? // Dumortiera. -1993. -N2 53-54. -pp. 1-13.

СЕКЦИЯ 4

Влияние земных экосистем Северной Евразии на глобальные биогеохимические циклы: прошлое, настоящее, будущее

Председатель С.Н. Кирпотин

SESSION 4

Influence
of Northern Eurasia
terrestrial
ecosystems
on global
biogeochemical
cycles: past, present
and future

Chair S. Kirpotin Complex studying of wildfire influence on atmospheric composition and carbon uptake of forest ecosystems in Central Siberia: the establishing of a long-term post-fire monitoring system

¹Panov A.V., ²Chi X., ¹Prokushkin A.S., ¹Bryukhanov A.V., ¹Korets M.A., ¹Ponomarev E.I., ¹Bryukhanova M.V., ¹Timokhina A.V., ¹Krivobokov L.V., ¹Sidenko N.V., ²Andreae M.O., ³Heimann M.

- ¹ V.N. Sukachev Institute of Forest SB RAS, Krasnoyarsk, Russia
- ² Max-Planck-Institute for Chemistry, Mainz, Germany
- ³ Max-Planck-Institute for Biogeochemistry,

Jena, Germany

E-mail: institute_forest@ksc.krasn.ru

alculations of direct emissions of greenhouse gases from boreal wildfires remain uncertain due to problems with emission factors, available carbon, and imprecise estimates of burned areas. Even more varied and sparse are accurate in situ calculations of temporal changes in boreal forest carbon dynamics following fire. Linking simultaneous instrumental atmospheric observations, GIS-based estimates of burned areas, and ecosystem carbon uptake calculations is vital to fill this knowledge gap. Since 2006 the Zotino Tall Tower Observatory (ZOTTO; www.zottoproject.org) a research platform for large-scale climatic observations is operational in Central Siberia (60°N, 90°E). The data of ongoing greenhouse gases measurements at the tower are used in atmospheric inversions studies to infer the distribution of carbon sinks and sources over central Northern Eurasia.

We present our contribution to studying of fire influence on atmospheric composition and post-fire ecosystem C flux deduced from the large-scale wild-fires that happened in 2012 in the tall tower footprint area.

The burned areas were estimated from Landsat ETM 5,8 satellite images, while fires were detected from Terra/Aqua MODIS satellite data. The magnitude of ecological change caused by fires ("burn severity") was measured and mapped with a Normalized Burn Ratio (*NBR*) index. The *dNBR* values ranged from 500 to 720 (rel.units) depending on land cover type. The *dNBR* index was further calibrated

by a complementary field based Composite Burn Index (*CBI*). Average burn severity ranged from 25 to 50% in different ecosystem types.

Measures of fire radiative power (*FRP*) index provided information on fire heat release intensity in dynamic and on the amount and completeness of biomass combustion. Average *FRP* values ranged from 2100 in pine forests up to 3200 MWatt in dark taiga, representing different fire regimes.

Based on the analyzed GIS data, permanent plots within the fire scarce areas (max burn severity) were established in dominant ecosystem types. They will further serve for long-term post-fire monitoring of biogeochemical processes during ecosystem restoration. Major ecosystem pools were assessed within the plots, and particularly tree standing stocks and coarse woody debris (*CWD*) were mapped by laser-based field instrumentation system.

The time series of CO mixing ratios at ZOTTO shows high variability. It consists of a seasonally varying background signal (determined by REBS and comparable to remote marine background signals) superimposed by regional pollution, which is mainly due to polluted air parcels coming from fossil fuel emission regions or biomass-burning emissions. The pollution frequency is highest in winter, when fossil fuel emissions dominate the CO signal and CO reaches an enhancement of 22 ppb above background. An almost identical enhancement is true for the summer period, although the pollution frequency is much lower. This suggests that the CO intensity is higher in some summer pollution events. The CO model results at ZOTTO from STILT (Stochastic-Time-Inverted-Lagranzh-Transport) suggest that only 12% of the polluted events are biomass-burning-dominated [Chi et al., 2013].

The work was supported financially by ISTC Project # 2757p, project of RFBR # 13-05-98053, and grant of president of RF for young scientists MK-1691.2014.5.

Reference:

1. Chi, X., Winderlich, J., Mayer, J.-C., Panov, A. V., Heimann, M., Birmili, W., Heintzenberg, J., Cheng, Y., and Andreae, M. O. (2013) Long-term measurements of aerosol and carbon monoxide at the ZOTTO tall tower to characterize polluted and pristine air in the Siberian taiga. Atmos. Chem. Phys., 13. pp. 12271-12298.

Комплексная оценка пожарного воздействия на газо-аэрозольный состав атмосферы и лесные экосистемы Средней Сибири: создание системы долгосрочного стационарного мониторинга

¹Панов А.В., ²Чи С., ¹Прокушкин А.С., ¹Брюханов А.В., ¹Корец М.А., ¹Пономарев Е.И., ¹Брюханова М.В., ¹Тимохина А.В., ¹Кривобоков Л.В., ¹Сиденко Н.В., ²Андреа М., ³Хайманн М.

E-mail: institute_forest@ksc.krasn.ru

ВВЕДЕНИЕ

В современных условиях происходящие изменения климата ведут к увеличению экстремальных пожароопасных сезонов, частоты и площади пожаров, и сокращению межпожарных интервалов [Soja et al., 2007; Иванова и др., 2007; Kharuk et al, 2012]. Динамика возгораний лесов Сибири за последние десятилетие показывает устойчивую тенденцию к росту, как по числу пожаров, так и по охваченной ими площади. Так пожары в Сибири в 2012 году за сравнительно небольшое время приобрели масштабы региональной катастрофы, когда огнем было охвачено около 1 млн. га площади лесного фонда. Отсутствие достоверных натурных данных не дает возможности оценки прямого воздействия таких крупомасштабных пожаров на физико-химический состав атмосферы, и их последствий для лесов региона, пройденных пожарами, и на десятилетия утративших, в той или иной степени, свою роль в поглощении углерода атмосферы.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для комплексной оценки пожарного воздействия на процессы атмосферно-экосистемного обмена, в работе представлен интегрированный многоуровневый подход (рис.1), объединяющий анализ данных дистанционного зондирования, стационарные лесобиологические исследования, и сопряженный инстру-

¹ Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, Красноярск, Россия

² Институт химии им. М. Планка, Германия

³ Институт биогеохимии им. М. Планка, Германия

ментальный мониторинг газо-аэрозольного состава атмосферы. Крупномасштабные лесные пожары 2012 года в районе исследования предоставили уникальную возможность для пилотных работ с целью тестирования и развития данного подхода. Площади, пройденные огнем в результате лесных пожаров 2012 г. в среднетаежной подзоне Приенисейской Сибири в непосредственной близости от обсерватории "ZOTTO" – станции высокоточного атмосферного мониторинга (60 с.ш. 90 в.д.), превысили 850 тысяч гектаров, что дало возможность организовать здесь систему долгосрочного стационарного лесобиологического мониторинга в преобладающих типах леса, с целью анализа изменений (кратковременных, долговременных) баланса потоков углерода в ходе пирогенных сукцессий, и выявления влияния этих изменений на сопряженные инструментальные оценки физико-химического состава атмосферы.

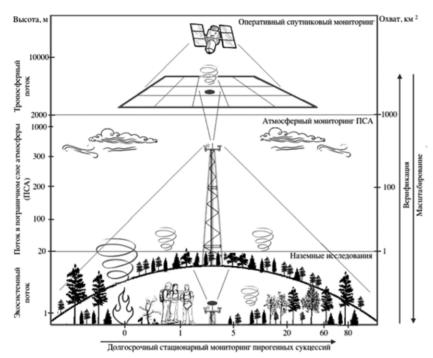


Рисунок 1 — Интегрированный многоуровневый подход для комплексной оценки воздействия пожаров на газо-аэрозольный состав атмосферы и структурно-функциональное состояние экосистем.

Определение границ территорий пройденных пожаром и предварительная оценка степени послепожарной нарушенности растительности на выбранном пробном полигоне в районе исследований выполнялась на основе данных мультиспектральной спутниковой съемки Landsat 5 и 8 с пространственным разрешением 30 м. Оценка степени нарушенности растительности пожаром и, опосредованно, интенсивность горения определялась на основе нормализованного индекса интенсивности пожара *NBR* (Normalized Burn Ratio) [Cocke et al., 2005], который вычислялся как нормализованное зональное отношение:

(1)
$$NBR = (R_4 - R_7) / (R_4 + R_7),$$

где R_4 и R_7 — отражательная способность в ближнем инфракрасном и коротковолновом инфракрасном спектральных каналах соответственно.

Поскольку NBR характеризует интенсивность поглощения солнечной радиации хлорофиллом и влагой растительности, содержание которых может меняться по причинам не связанными с последствиями пожара, то в работе был использован разностный индекс dNBR, рассчитанный как:

(2)
$$dNBR = (NBR_{\text{до пожара}} - NBR_{\text{после пожара}})*10^3$$

Для ранжирования непрерывной шкалы индекса *dNBR* по степени повреждения растительности или интенсивности пожара использовался комплексный индекс пожарной нарушенности *CBI* (Composite Burn Index), рассчитанный по эмпирическому алгоритму в ходе наземных исследований на пробных площадях, как непрерывная безразмерная величина, характеризующая величину общего пожарного воздействия на экосистему, складывающегося из бальной оценки повреждения пожаром на всех ярусах и структурных элементах растительности, включая живой напочвенный покров, кустарники, подлесок, деревья по группам высоты и структуру полога.

Интегральная мощность теплоизлучения от пожаров растительности изучалась посредством съемки аппаратурой TERRA/Modis, на которой фиксировалась радиояркостная температура поверхности в диапазоне 4 мкм. Соотношение, характеризующее связь между мощностью излучаемого теплового потока от пожара и радиояркостными температурами цели и фона на изображениях в диапазоне 4 мкм, было впервые предложено в работе [Kaufman et al., 1998]. Показатель, получивший название *FRP* (Fire Radiative Power), вычислялся как:

(3)
$$FRP = 4.34 \times 10^{19} (T_4^8 - T_{4bg}^8),$$

где T_4 – радиояркостная температура термически активного пикселя (цели) в 21 канале радиометра Modis ($\lambda = 3.989 \ - 3.929 \ \text{мкм}$), T_{4bg} – радиояркостная температура для фоновой поверхности снимка, измеренная в том же спектральном диапазоне.

Для учета площадных характеристик излучающей поверхности соотношение было адаптировано к виду:

(4)
$$FRP = 20.25 \cdot S \cdot (R_4 - R_{4bg}), R = \sigma \cdot T^4,$$

где R_4 и R_{4bg} — энергетическая светимость, вычисляемая на основе закона Стефана-Больцмана в диапазоне 4 мкм, $\sigma = 5.6704 \cdot 10^{-8} \, \mathrm{Br/(m^2 \cdot K^4)}$ — постоянная, S — площадь термически активной зоны.

Наземная верификация данных дистанционного зондирования проводилась в ходе лесобиологических исследований на территории пробного полигона. Фитоценотическая структура и другие особенности разных типов экосистем, и их динамика изучались на свежих (2012 г.) гарях в преобладающих типах экосистем среднетаежной подзоны Сибири: сосняк лишайниковый, сосняк зеленомошный, смешанный тип леса, тип леса с преобладанием темнохвойных пород деревьев, и сосновый рям. Количественные и качественные характеристики насаждений на пробных площадях были определены с помощью программно-измерительного комплекса (ПИК ГИЛ), с картированием и оценкой запасов, пространственной структуры и жизненного состояния древостоя, запасов и распределения фитодетрита (сухостой, валеж, пни).

Инструментальная оценка физико-химического состава пограничного слоя атмосферы (ПСА) (до 300 м) в районе исследований проводилась на базе обсерватории "ZOTTO" (www.zottoproject.org). Спектр регистрируемых параметров позволял оперативно диагностировать возникновение и распространение лесных пожаров в зоне охвата измерений обсерватории. Оценка воздействия лесных пожаров на инструментальные наблюдения проводилась на основе инструментальных данных содержания моноксида углерода (СО) в ПСА с использованием стохастической инверсионной лагранжевой транспортной модели STILT [Lin et al., 2003], на базе метеорологических полей Европейского центра среднесрочных прогнозов погоды (ЕСМWF; http://www.ecmwf.int).

РЕЗУЛЬТАТЫ

Для опытного полигона в районе исследований были получены индексы dNBR на основе сравнительного анализа сцен Landsat 5 2011 (допожарное состояние) и 2013 г. (после пожара), что позволило оценить как площади, так и интенсивности крупномасштабных пожаров 2012 г. Посредством величины индекса CBI, рассчитанного в ходе наземных исследований для пробных площадей в основных типах леса с различной структурой насаждений и степенью повреждения пожаром, проведено предварительное ранжирование индекса dNBR по степени пожарного воздействия на растительный покров (рис.2а.) Для дополнительной верификации площадных характеристик пожарных повреждений лесов на территории опытного полигона, и качественной оценки воздействия огня, изучены диапазоны вариации показателя теплоизлучения (FRP) (рис.2б).

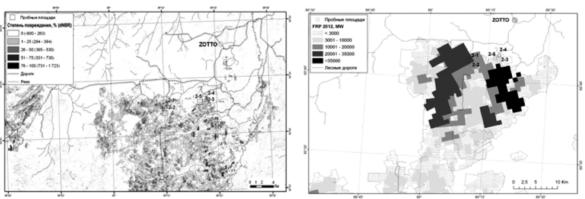


Рисунок 2 - Отображение исследуемых ландшафтов пройденных пожарами с использованием ранжированного по степени нарушенности индекса dNBR (a) и соответствующие им вариации показателя теплоизлучения FRP (6) (2.1 - 2.5 – стационарные пробные площади в преобладающих типах леса).

На основе ранжированного индекса dNBR и наземной лесобиологической оценки насаждений пройденных пожарами предварительно установлено, что степень пожарного повреждения экосистем в районе исследований варьирует от 25 до 50%. Наибольшие значения dNBR, порядка 40 - 45%, отмечены в светлохвойных насаждениях, прежде всего с доминированием сосны в составе, которые через год после пожара частично погибли, и наибольшая их гибель была зафиксирована на участках с заглублением пожара в подстилку, что свидетельствует о преобладании там устойчивых низовых пожаров. Степень повреждения таких насаждений снижается с ростом увлажненности местопроизрастания от 40 - 45% в

сухих сосняках лишайниковых, до 30 - 40% в более увлажненных сосняках зеленомошных. Отмечено также общее снижение степени пожарного повреждения насаждений с увеличением присутствия в них лиственных пород деревьев (25 - 30% в смешанных типах леса). На участках с преобладанием темнохвойных пород деревьев зафиксирована наиболее высокая вариабельность степеней повреждения варьирующая от 25 до 50%, и обусловленная прохождением значительной части таких насаждений верховыми пожарами и наличием больших запасов лесных горючих материалов (ЛГМ).

Сходные закономерности демонстрируют и средние значения мощности излучения от пожаров, возрастающие со сменой типа леса от 2100 МВт в сосновых насаждениях до 3200 МВт в насаждениях с преобладанием темнохвойных пород деревьев. При этом пожары распространялись в районе исследования длительное время (25 – 45 дней в июле – начале августе 2012), и в отдельные сроки характеризовались значениями FRP на уровне от 19000 МВт (в сосняках) до 24400 МВт (в темнохвойных насаждениях), что также свидетельствует о периодическом возникновении верховых пожаров, и увеличением их частоты и интенсивности со сменой типа леса, увеличением присутствия лиственных и темнохвойных пород деревьев, и ростом запасов ЛГМ. Однако очевидно и то, что фиксируемая вариация значений мощности излучения от пожаров в различных типах леса определяется не только запасом ЛГМ в зоне пожара, но и особенностями динамики горения, которые зависят от внешних метеорологических факторов, рельефа, уровня пожарного созревания ЛГМ. Эти показатели лимитируют как скорость развития пожара, длительность существования, а так же итоговые площади, так и его энергетические характеристики на различных стадиях. В результате экстремально крупные пожары, как в районе исследований в 2012 году, так и на территории Сибири в целом, имеют спорадические максимумы мощности излучения в 2-4 раза превышающие показатели, определенные для выборки «стандартных» пожаров.

Посредством стохастической инверсионной лагранжевой транспортной модели STILT на основе инструментальных данных содержания моноксида углерода (СО) в ПСА проведена оценка пожарного сигнала в проводимых измерениях на базе обсерватории "ZOTTO" (рис. 3а,б). Многолетний ход СО в атмосфере (рис. 3а) продемонстрировал высокую вариабельность значений, и после разложения ряда посредством алгоритма RIBS [Chi et al., 2013], дал возможность выявить сезонные флуктуации фоновых концентраций СО и пожарные сигналы (сжигание ископаемого топлива+лесные пожары).

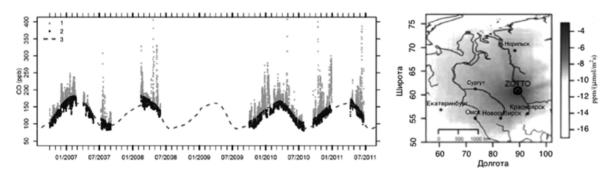


Рисунок 3 – а) многолетний ход CO в атмосфере, где: 1 – пожарные эмиссии, 2 – фоновые значения, 3 – фоновые значения ПСА (60.8 С.Ш.) (GLOBALVIEW-CO, 2009), 6) зона влияния пожарных эмиссий (сжигание ископаемого топлива+лесные пожары) на проводимые измерения по результатам использования транспортной модели STILT.

Установлено, что уровни повышения фоновых концентраций СО в ПСА, обусловленные сжиганием ископаемого топлива зимой (отопительный сезон) и влиянием лесных пожаров летом, сходны по значениям и достигают 22 ppb. Однако, частота возникновения пожарных сигналов летом значительно ниже (20%), в сравнении с регулярными антропогенными выбросами СО зимой (47%), что свидетельствует о более высокой интенсивности воздействия лесных пожаров на газовый состав ПСА. Посредством использования транспортной модели STILT проведена оценка зоны влияния пожарных эмиссий на проводимые измерения на базе обсерватории (рис.3б) и установлено, что суммарный период влияния лесных пожаров составил около 12%.

Работа выполнена при финансовой поддержке проекта МНТЦ №2757, РФФИ в рамках научного проекта № 13-05-98053, и Гранта Президента Российской Федерации для Государственной поддержки молодых российских ученых МК-1691.2014.5.

Литература:

1. Soja, A.J., Tchebakova, N.M., French, N.H.F., Flannigan, M.D., Shugart, H.H., Stocks, B.J., Sukhinin, A.I., Varfenova, E.I., Chapin F.S. & Stackhouse, P.W. (2007) Climate-induced boreal forest change: Predictions versus current observations. Global and Planetary Change, 56, pp. 274–296.

- 2. Иванова Г.А., Иванов В.А., Кукавская Е.А., Конард С.Г., Макрей Д.Д. Влияние пожаров на эмиссии углерода в сосновых лесах Средней Сибири // Сибирский экологический журнал. №6. Новосибирск: Российская академия наук, 2007. С. 885–895.
- 3. Cocke, A. E., Fulé, P. Z. and Crouse, J. E. (2005) Comparison of burn severity assessments using Differenced Normalized Burn Ratio and ground data. International Journal of Wildland Fire, 14, pp. 189-198
- 4. Kaufman Y.J., Kleidman R.G., King M.D. (1998). SCAR-B fires in the tropics: Properties and remote sensing from EOS-MODIS // Journal of Geophisical Research. 1998. Vol. 103. D24. P. 31955 –31968.
- 5. Lin, J. C., Gerbig, C., Wofsy, S. C., Andrews, A. E., Daube, B. C., Davis, K. J., and Grainger, C. A. (2003) A near-field tool for simulating the upstream influence of atmospheric observations: The Stochastic Time-Inverted Lagrangian Transport (STILT) model. J. Geophys. Res., 108, 4493, doi:10.1029/2002jd003161.
- 6. Chi, X., Winderlich, J., Mayer, J.-C., Panov, A. V., Heimann, M., Birmili, W., Heintzenberg, J., Cheng, Y., and Andreae, M. O. (2013) Long-term measurements of aerosol and carbon monoxide at the ZOTTO tall tower to characterize polluted and pristine air in the Siberian taiga. Atmos. Chem. Phys., 13. pp. 12271-12298.

Detection of Post-fire Recruitment Failure in the Boreal Forest Using Remotely Sensed Data

¹Kirsten Barrett, ²Elena Kukavskaya, ³Eric Kasischke

- ¹ Department of Geography, University of Leicester, University Road, Leicester, UK
- ² V.N. Sukachev Institute of Forest SB RAS, Krasnoyarsk, Russia.
- ³ Department of Geographical Sciences, University of Maryland, USA

INTRODUCTION

Wildfire disturbance is the primary catalyst for stand-level changes in vegetation age structure and species composition in the boreal forest. There are multiple potential post-fire successional pathways for boreal forests, governed by factors such as fire frequency and severity and interactions with other forms of disturbance such as herbivory and permafrost thawing. In extreme cases, some boreal forest stands do not recover post-fire, instead becoming dominated by low vegetation cover such as grass and shrubs. These areas of recruitment failure represent a fundamental shift, or "flip" from a forest ecosystem to a different vegetation type with consequences for carbon storage, albedo, and hydrology. The potential for detecting fire-driven abrupt changes in ecosystem structure and function using remotely sensed data is high given the marked differences between the forest and replacement vegetation, but there has been little work to date beyond the detection of disturbance. The information gained from tracking disturbance recovery failure in boreal forests could provide much needed inputs to dynamic climate-vegetation models that do not currently address such complexities.

Remotely sensed vegetation index anomalies show a common post-fire pattern of immediate reduction and a gradual recovery over 5 to 15 years for boreal forest ecosystems (Goetz et al. 2005, Cuevas-Gonzales et al. 2009). The reduction in leaf area and photosynthetic activity, coupled with new scene elements such as char in a post-fire environment makes optical remote sensing fairly effective in detecting burned areas, confounding factors such as shadows and deep water notwithstanding. Such changes cause a reduction in near infrared surface reflectance and an increase in mid infrared, the two bands used to calculate the Normalized Burn Ration (NBR). This information has been used reliably to map burned areas using remotely sensed surface reflectance data (e.g., Eidenschink et al., 2007). We hypothesize that the post-fire vegetation index anomaly can also be used to detect areas of recruitment failure post-fire. Specifically, for areas where recovery has failed, the vegetation index anomalies will not recover to pre-fire levels within the same time span as areas that recover normally.

METHODS

To testthe potential for using vegetation index anomalies to detect recruitment failure post-fire, we developed a dataset of boreal forest stands that recovered normally post-fire and others that suffered recruitment failure in Alaska, USA. Sites exhibiting normal recovery post-fire were identified using MODIS active fire detections. This dataset consists of coordinates of detected thermal anomalies and associated fire radiative power, as well as an assessment of confidence (lower threshold = 30%). We used active fire detections because the analysis is point-based, and these detections provide the most reliable means of selecting a point that burned on the landscape at a known time. The active fire dataset was constrained to allow at leastone year of growing

season surface reflectance pre-fire and 4 years following the initial 5 year exclusionary period post-fire. The historical Alaska Large Fire Database was used to mask active fire detections in sites that had already burned at least once since 1950. Using a random sample of 50 locations that met the above criteria, we manually selected eight sites for the analysis.

The burn sites chosen to represent areas of recruitment failure were located in a burned area visited in the field in 2013, nine years after the fire. These sites have failed to recover normally, with very low seedling recruitment, even after nearly a decade. The reason these sites have not recovered normally is still under investigation, but is likely associated with soil moisture limitations caused by increased surface runoff and infiltration post-fire. Six sites were chosen to demonstrate the vegetation index anomaly signal during the growing season, and to compare with sites that have experienced normal post-fire recovery.

Finally, the unburned sites selected for anomaly calculations were manually selected in areas adjacent to burn sites selected for the analysis. Similar to the constraints on active fire detections, unburned sites were compared with the Alaska Large Fire Database to avoid areas that had burned since 1950. Additionally, the National Land Cover Database was used to avoid areas of open water. Unburned sites were located in areas of coniferous and deciduous stands as well as some shrub and mixed forest sites.

For all test sites, surface reflectance was obtained from the MODIS Nadir BRDF Adjusted Reflectance (NBAR) product (MCD43A4). NBR and NDVI were calculated (using band 7 for short wave infrared reflectance), and vegetation index anomalies were calculated by subtracting the value in the burned area from the mean value in adjacent unburned sites on the same date. A time series of vegetation index anomalies from June through September was created for each burn site in the analysis. To differentiate recruitment failure sites from normal recovery, we compared the mean vegetation index anomaly values pre-fire and 5 years post-fire.

RESULTS

Typical recovery trajectories of vegetation index anomalies are shown in Figure 1. In both of the recovery trajectories the fire event is clearly illustrated by the dramatic drop in NBR and NDVI. Both sites experience an increase in vegetation index anomalies (i.e., approaching pre-fire levels) during the several years post-fire. In the case of the site characterized by normal recovery, the recovery signal approaches pre-fire levels after about three to five years after the disturbance. This is a typical recovery trajectory for the region. In the recovery failure site, the signal still has not reached pre-fire levels of vegetation index anomalies by the end of the data record nine years post-fire. In fact, recovery appears to plateau around five years post-disturbance and does not show additional gains in NDVI or NBR in the last three years of observations.

The distribution of vegetation index anomalies for normally recovering sites versus recruitment failure sites is shown in Figure 2. The recovery of the NDVI anomaly signal is faster than NBR, with the normally recovered sites approaching zero, or nearly equal to the pre-fire mean growing season anomaly level. The vegetation index anomalies of the recruitment failure sites is greater than those of the normal recovery sites for both NDVI and NBR, suggesting that the recruitment failure sites are farther from recovery to pre-fire levels. The mean vegetation index anomaly value for recovery failure sites 5 years post-fire is 0.1 for NDVI, versus 0.04 for normally recovering sites. Similarly, the difference in anomaly values for NBR is 0.26 for recruitment failure sites, and 0.17 for normally recovering sites. These differences show that the differences between the sites illustrated in Figure 1 represent a general pattern of slower and perhaps stalled recovery for sites that have experienced recruitment failure post-fire.

DISCUSSION AND CONCLUSIONS

The time series of vegetation index anomalies highlights the differences between sites that recover normally versus those that suffer recruitment failure post-fire. The differences between the tworecovery types likely reflect lower net ecosystem productivity, above ground biomass, seedling density, and leaf area in areas of recruitment failure. The factors that lead to recruitment failure in North America are complex, but are likely to be caused by variations in seedbed quality than in the presence and viability of the seed stock itself (Johnstone et al. 2011). In the Eurasian boreal forest, the rapid succession of fires has degraded the available seed stock so much that the sites are unable to recover (Sofronov and Volokitina 2010). Additional challenges to post-fire recruitment in Eurasia following short-interval fires include high soil temperatures and vulnerability to erosion, leading to the proliferation of grass species and a lack of tree seedling regeneration (Kukavskaya et al. 2013). The changes in ecosystem structure and function that cause differences in post-fire vegetation index anomalies are an important area for future investigations, particularly in light of changing boreal fire regime characteristics such as increases in fire frequency and severity.

Given the dramatic differences observed in situ between sites that recover normally and areas of recruitment failure, it may be questioned why the latter exhibit a recovery in the remotely sensed vegetation indices at all. The reason for the recovery signal in areas of recruitment failure is likely related to the superficial relationship between vegetation index anomalies and recovery in general. These values tend to return to pre-fire levels on a time scale of about a decade (Goetz et al. 2005, Cuevas-Gonzales et al. 2009), whereas stand characteris-

Normal Post-fire Vegetation Index Recovery

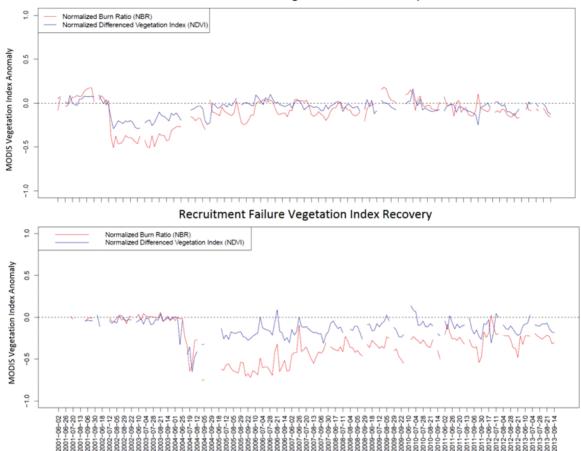


Figure 1. Trajectories of post-fire vegetation index anomalies for an area exhibiting (A) normal post-fire recovery and (B) recovery failure.

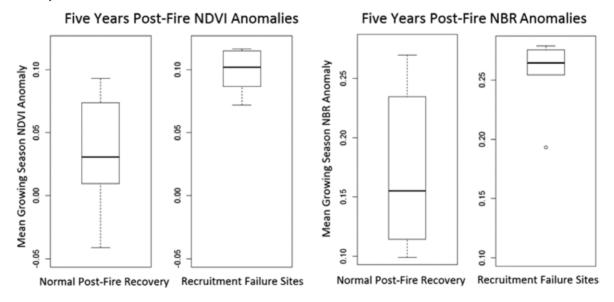


Figure 2. Distribution of mean growing season vegetation index anomaly values five years post-fire for sites exhibiting normal post-fire recovery (right side) and recruitment failure (left side).

tics may require 80 years or longer to recover from disturbance by wildfire (Harden et al. 1997). The reflectance properties of a stand, particularly when the disturbed vegetation is replaced by a similar species composition, will approach pre-fire values around the time that the canopy begins to close and to obscure understory vegetation from the sensor. This aspect of recovery occurs much earlier in the successional timeline than, for example, above ground biomass or net ecosystem carbon balance. Therefore any signal of vegetation recovery will show an increase in vegetation index anomaly values post-fire, but as the data show in Figures 1 and 2, the values are lower than those from observations in normally recovering stands.

The ability to differentiate between normal recovery from fire disturbance and recruitment failure using remotely sensed data could provide important information to models of vegetation dynamics and interactions with climate. Currently, dynamic vegetation models (DVMs) generally assume self-replacement of species post-fire, essentially modelling a fire event as a re-setting of the successional "clock" (e.g., Yi et al. 2010). The results of this analysis show that we can study fire disturbance at a landscape scale to learn more about the multiple successional pathways that exist for post-fire ecosystem recovery. Some DVMs have begun to incorporate changes in vegetation type as a function of disturbance (e.g., Rupp et al. 2007) but much more research is required to fully characterize post-fire succession pathways and the factors that cause different responses often within the same fire scar.

The methods outlined here represent a step towards producing dynamic datasets for the pan-boreal region that reflect processes and trajectories, as opposed to static properties such as vegetation cover and events such as fires. With more than ten years of daily observations of reflectance at 500 m or finer spatial resolution, it is now possible to treat ecosystems as evolving and responsive phenomena characterized both by slow, incremental changes as well as dramatic, stochastic behaviour. The detection of disturbances such as fires can serve as the basis for cataloguing ecosystem responses including self-replacement, changes in species composition, and recruitment failure. These trajectories will be studied in greater detail in situ to link direct observations of post-fire changes with landscape scale patterns and ultimately made operational in a modelling context to understand the consequences for future interactions among vegetation, climate, and disturbance.

References:

- 1. Cuevas-Gonzalez, M., Gerard, F., Balzter, H. and Riano, D. 2009. Analysing forest recovery after wildfire disturbance in boreal Siberia using remotely sensed vegetation indices Global Change Biology 15 561–77
- 2. Eidenshink, J., Schwind, B., Brewer, K., Zhu, Z., Quayle, B., and Howard, S. 2007. A project for monitoring trends in burn severity. Fire Ecology, 3, 3–21.
- 3. Goetz, S. J., Bunn, A. G., Fiske, G. J. and Houghton, R. A. 2005. Satellite-observed photosynthetic trends across boreal North America associated with climate and fire disturbance Proceedings of the National Academy of Science 102 13521–5.
- 4. Harden, J.W., O'Neill, K.P., Trumbore, S.E., Veldhuis, H., Stocks, B.F. 1997. Accumulation and turnover of carbon in soils of the BOREAS NSA: two soil contribution to annual net C flux in a maturing spruce-moss forest (OBS NSA). Journal of Geophysical Research 102:805–16.
- 5. Johnstone, J. F., McIntire, E. J. B., Pedersen, E. J., King, G., and Pisaric, M. J. F.. 2010. A sensitive slope: estimating landscape patterns of forest resilience in a changing climate. Ecosphere 1(6):1–21.
- 6. Kukavskaya, E.A., Buryak, L.V., Ivanova, G.A., Conard, S.G., Kalenskaya, O.P., Zhila S.V., and McRae, D.J. 2013. Influence of logging on the effects of wildfire in Siberia. Environmental Research Letters 8 045034 doi:10.1088/1748-9326/8/4/045034.
- 7. Rupp, T. S., Chen, X., and Olson, M. 2007. Sensitivity of simulated boreal fire dynamics to uncertainties in climate drivers. Earth Interactions 11:1–21.
- 8. Sofronov, M.A., and Volokitina, A.V. 2009. Wildfire ecology in continuous permafrost zone Permafrost Ecosystems: Siberian Larch Forests ed. Osawa, A., Zyryanova, O. A., Matsuura, Y., Kajimoto, T. and Wein, R. W. (Dordrecht: Springer) pp 59–82.
- 9. Yi, S., A. D. McGuire, E. S. Kasischke, J. Harden, K. Manies, and M. Mack. 2010. A dynamic organic soil biogeochemicalmodel for analyzing carbon responses of black spruce forests in interior Alaska. Journal of Geophysical Research 115:G04015.

Modeling the biotic turnover in ecosystems of permafrost regions of the Northern EuroAsia under climate change

Zavalishin N.N.

A.M. Obukhov Institute of Atmospheric Physics RAS, Moscow, Russia E-mail: nickolos@ifaran.ru

ransformations of terrestrial ecosystems due to global climate change and anthropogenic activities are reflected in the functioning of their biogeochemical cycles. Aggregated mass-balance schemes of carbon and nitrogen biological turnover in tundra, peatland and forest ecosystems in permafrost regions are useful source of numerical data on carbon and nitrogen fluxes and storages in principal ecosystem components and a foundation of knowledge on inter- and intra-system exchange processes sensitive to climate change and human perturbations. The aggregation procedure accounts for biological form and functional role of each eco-

system component. It is carried out for several ecosystems in tundra zone of Nothern Euroasia as well as larch forests growing on permafrost soils in Siberia. A sequence of dynamic compartment models for particular carbon and combined carbon-nitrogen turnover with elements of a hydrological cycle is obtained as a result. Carbon-nitrogen interaction is provided by two biochemical mechanisms which served a basis for one of the first models of their turnover in a mesotrophic peatland earlier: 1) intensity of litterfall is propotional to the C:N ratio in the living phytomass that reflects nitrogen starvation of plants; 2) decay rate for dead organic matter decreases with the increase of C_3/N_3 ratio. Flows depend on climatic variables – annual temperature and total precipitation over vegetation period. Stationary points of each model reflect climax states of biological succession while stability loss corresponds to transitions between these states. Methods of bifurcation theory allow determine stability boundaries for each steady states of each model in the space of parameters depending on climatic variables and some hydrologic characteristics. The most important among them are carbon assimilation, runoff and decay of dead organic matter rates.

For modeling consequences of climate change a set of two modern climatic scenarios formed by the IPSL climate model (RCP-26 and RCP-85) is used. First of them is considered as "soft" warming while the second is believed be extremely warm. In order to expand modeling results obtained for local ecosystems to the whole cryolitozone the dynamic vegetation pattern model previously developed is used. It allows one to estimate dynamic changes in the vegetation distribution under probable climate change. Under the extremely warm scenario tundra tends to follow by forest-tundra species and larch forests move into forest-tundra. However, this transformation is critically limited by nitrogen available for plants in the soil. Under the warm scenario the thawing permafrost rises soil humidity and assists swamping processes accompanying by growing emission of carbon previously accumulated in permafrost to the atmosphere. The soft climate change scenario results in the spread of forest tundra into tundra and weak spread of larch forests into forest tundra.

The work was supported by the project of the Earth Sciences Department of the Russian Academy of Sciences "Processes in atmosphere and cryosphere as a factor for environmental changes" and the Russian Foundation of Basic Research (projects 13-05-00781a, 12-05-01092a).

Моделирование биотического круговорота в экосистемах криолитозоны Северной Евразии при изменениях климата

Завалишин Н.Н.

Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, Москва, Россия E-mail: nickolos@ifaran.ru

 иотический круговорот в наземных экосистемах зоны многолетней мерзлоты имеет особенности, обусловленные процессами многократного протаивания и замораживания мерзлых грунтов. В ходе этих процессов углерод, скованный в мерзлых слоях почвы, может при оттаивании давать существенную добавку к обычному уровню эмиссии в атмосферу. Увеличение суммарных осадков может привести к повышению интенсивности разложения органических остатков, что будет способствовать повышению уровня эмиссии углеродсодержащих газов в атмосферу. Замедленность всех биогеохимических процессов в тундровых экосистемах в условиях холодных температур приводит к повышенному риску их исчезновения при экстремальных климатических воздействиях. В связи с этими особенностями представляет интерес моделирование биотического круговорота в экосистемах криолитозоны при вероятных изменениях климата в XXI веке. Характеристики биотического круговорота – запасы и потоки углерода и азота – измеряются на среднегодовом масштабе времени и в совокупности образуют статические схемы, которые служат источниками для построения динамических моделей круговорота. В среднегодовом масштабе усредненный отклик экосистем на вероятные изменения климата можно оценить через моделирование эволюции их биотического круговорота. Для этого построены двух- и трехкомпонентные динамические блоковые модели совместного биотического круговорота углерода и азота в мохово-кустарничковой тундре п-ова Таймыр (Базилевич и др., 1986; Базилевич и Титлянова, 2008) (рис. 1), лиственничных лесах северной тайги Восточной Сибири (Лесные экосистемы..., 2002; Ведрова и др., 2002; Прокушкин и др., 2006; Permafrost ecosystems, 2010). При этом использовался «экспертный» поход к выбору формы потоковых функций, при котором выбор конкретного потока делается на основе совокупности биогеохимической информации о его зависимости от запасов участвующих компонентов. Аппроксимация первичной биологической продуктивности осуществляется по статистическим данным о фитомассе и продукции растительного покрова наземных экосистем криолитозоны Северной Евразии, собранным в (Базилевич и Титлянова, 2008). Взаимодействие между углеродным и азотным циклами обеспечивается двумя основными биохимическими механизмами: 1) интенсивность опада пропорциональна отношению *C:N* в фитомассе, и при недостатке азота повышается (азотное голодание растений); 2) интенсивность разложения мертвого органического вещества уменьшается при увеличении отношения *C:N* в нем (Alexandrov et al., 1994).

Стационарные точки модели отражают климаксные состояния сукцессии, а потеря устойчивости равновесий соответствует переходам между состояниями. Интерпретация вычисленных по модели стационарных режимов осуществлялась с использованием данных о круговороте углерода в нескольких типах тундры (Карелин и Замолодчиков, 2008). Методы теории бифуркаций позволяют определить границы устойчивости стационарных состояний модели в пространстве параметров: интенсивностей ассимиляции углерода растительностью из атмосферы, стока и разложения мертвого органического вещества. Перемещение через границы устойчивости равновесий соответствует переходу экосистемы в другое стационарное состояние или к колебательному режиму в зависимости от типа границы. Такое перемещение и порождается изменением коэффициентов модели, зависящих от климатических величин — средней температуры и годовой суммы осадков, сценарий изменения которых предлагается какой-либо климатической моделью.

В данной работе используются два сценария RCP-26 и RCP-85 модели IPSL с умеренным и экстремальным потеплением. При экстремально теплом сценарии лесотундра наступает на тундровые сообщества, а лиственничники продвигаются в лесотундру. Однако степень их продвижения сильно лимитирована доступным азотом в почве. При экстремально теплом сценарии оттаивающая мерзлота резко повышает влажность, тундра и лесотундра заболачиваются, что сопровождается ростом эмиссии ранее захороненного в многолетнемерзлых грунтах углерода. Наступления леса на лесотундру практически не происходит в этом случае по причине недостатка доступного азота. Биотический круговорот в тундровых биогеоценозах при определенных значениях параметров демонстрирует колебательную динамику, подтверждая точку зрения некоторых биологов об отсутствии явно выраженного климаксного состояния тундровых растительных сообществ.

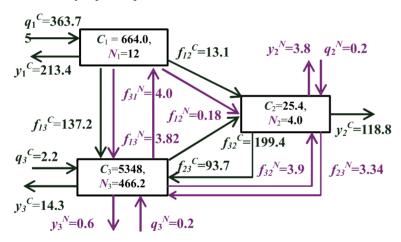


Рис. 1. Агрегированная трехкомпонентная схема совместного биотического круговорота углерода и азота в экосистеме мохово-кустарничковой тундры п-ова Таймыр.

Запасы углерода (гC/м²), азота (гN/м²): C_1 , N_1 – растительность, C_2 , N_2 – потребители и деструкторы (животные, бактерии, грибы, микроорганизмы), C_3 , N_3 – опад, подстилка, органическое вещество корнеобитаемого слоя почвы. Потоки (гC/м²год для углерода, гN/м²год для азота): $q_1^{\ C}$ – ассимиляция CO_2 из атмосферы растениями в ходе фотосинтеза, $q_2^{\ C}$ – миграция потребителей из соседних экосистем, $q_3^{\ C}$ – привнос мертвого органического вещества (МОВ) из соседних экосистем, $y_1^{\ C}$ – автотрофное дыхание, $y_2^{\ C}$ – дыхание деструкторов и потребителей, $y_3^{\ C}$ –вынос МОВ со стоком, $f_{12}^{\ C}$ – потребление растительности собственными фитофагами, $f_{13}^{\ C}$ – опад и отпад, $f_{23}^{\ C}$ – отмирание животных и микроорганизмов, $f_{32}^{\ C}$ – разложение МОВ деструкторами.

Работа поддержана Программой № 12 Отделения наук о Земле РАН «Процессы в атмосфере и криосфере как фактор изменений природной среды» и проектами 12-05-01092-а и 13-05-00781-а РФФИ.

Литература:

- 1. Базилевич Н.И., Гребенщиков О.С., Тишков А.А., Географические особенности структуры и функционирования экосистем. М., Наука, 1986.
- 2. Базилевич Н.И., Титлянова А.А., Биотический круговорот на пяти континентах: азот и зольные элементы в наземных экосистемах. Новосибирск, Изд-во СО РАН, 2008.
- 3. Ведрова Э.Ф., Плешиков Ф.И., Каплунов В.Я., Структура органического вещества северотаежных экосистем Средней Сибири. // Лесоведение, 2002, №6, с. 3-12.

- 4. Карелин Д.В., Замолодчиков Д.Г., Углеродный цикл в криогенных экосистемах. М., Наука, 2008.344 с.
- 5. Лесные экосистемы Енисейского меридиана. // под ред. Ф.И. Плешикова, Изд-во СА РАН, Новосибирск, 2002, 356 с.
- 6. Прокушкин С.Г., Абаимов А.П., Прокушкин А.С., Масягина О.В., Биомасса напочвенного покрова и подлеска в лиственничных лесах криолитозоны Средней Сибири. // Сибирский экологический журнал, 2006, № 2, с. 131-139.
- 7. Permafrost ecosystems: Siberian larch forests. // eds. Osawa A., Zyryanova O.A., Matsuura Y., Kajimoto T., Wein R., 2010, Springer Ecological Studies series, v. 209.
- 8. Zavalishin N.N., Dynamic compartment approach for modeling regimes of carbon cycle functioning in bog ecosystems. Ecological Modelling, 2008, v. 213, p. 16-32.

Основные закономерности динамики элементного состава гидросферы

Корж В.Д.

Институт Океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва, Россия E-mail: okean41@mail.ru

овременные проблемы нахождения допустимых пределов воздействия техносферы на биосферу, оптимизации взаимодействия техносферы и биосферы, прогнозирования экологических последствий инцидентов в техносфере и организации реабилитации в послеаварийный период предъявляют качественно новые требования к знаниям. Для решения актуальных проблем экологии гидросферы разработаны новые методологические основы изучения глобальных геохимических циклов химических элементов, а также процессов миграции и трансформации веществ [1, 2].

Химический состав морей и океанов является результатом процессов миграции и трансформации вещества на биогеохимических барьерах река-море и океан-атмосфера, т.е. в местах "сгущения жизни". Стабильность этих процессов – главное условие стабильности экосистемы гидросферы. Критерием, наиболее адекватно отражающим экологическое состояние гидросферы и ее отдельных частей, может служить мера близости макрокинетических констант названных процессов, происходящих в реальных условиях, константам, определенным в нормальных условиях [1-3].

Следовательно, результаты работ по элементному составу гидросферы могут быть адекватными лишь при условии учета всех процессов в исследуемой системе (химических, биохимических, гидрологических и т.п.), проходящих с участием анализируемых химических элементов.

Эмпирическое обобщение результатов многочисленных анализов океанской и речной воды привело к построению Системы распределения растворенных форм элементов в гидросфере. Система учитывает динамику химических, биогеохимических и гидрологических процессов в гидросфере и обладает большими прогностическими возможностями [1-6]. Она может использоваться в качестве экологического стандарта гидросферы [5].

Литература:

- 1. Корж В.Д. Геохимия элементного состава гидросферы. М.: Наука. 1991. 243 с.
- 2. Корж В.Д. Биогеохимические аспекты формирования элементного состава вод Мирового океана. // Проблемы биогеохимии и геохимической экологии. Труды Биогеохимической лаборатории. Т. 23. Москва: Наука. 1999. С.6-37.
- 3. Корж В.Д. Геохимические критерии оценки экологического состояния гидросферы. // Сибирский экологический журнал. 2001. Том 8. N.2. C. 223-230.
- 4. Korzh V. The general laws in the formation of the elemental composition of the Hydrosphere and Biosphere.// J. Ecologica, Vol. XV, 2008. P. 13-21.
- 5. Корж В.Д. Геохимическая система элементов в гидросфере как экологический стандарт// Специальный выпуск журнала «Известия Самарского научного центра РАН». Том 11, № 1 (7), 2009. С. 1492-1502.
- 6. Корж В.Д. Использование методологии эмпирических обобщений при решении фундаментальных биогеохимических проблем. Сборник докладов Международной научной конференции «В.И.Вернадский историк науки». Москва 2013, С. 115-124.

Some General Laws of Chemical Elements Composition Dynamics in the Hydrosphere

Korzh V.

P.P. Shirshov Institute of Oceanology RAS, Moscow, Russia. E-mail: okean41@mail.ru

The chemical elements composition in the ocean is a result of substance migration and transformation on river-sea and ocean- atmosphere boundaries. Stability of these processes is the main condition of the hydrosphere ecosystems stability.

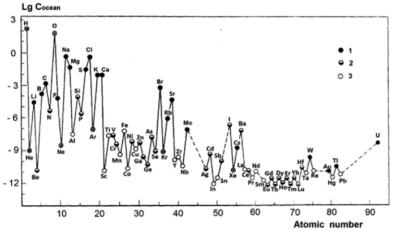


Fig. 1. Average concentrations of the chemical elements in the ocean and their types of distribution: 1) conservative; 2) nutrient-type; 3) litho-generative

Today the problems of techno-sphere impact on the biosphere, optimization of their interaction, projection of environmental impact of techno-generative accidents, and mitigation of their consequences require new approaches to study mass transfer and transformation of substances in the hydrosphere. Chemical elements composition of oceanic water is a fundamental multi-dimensional constant for our planet (Fig.1).

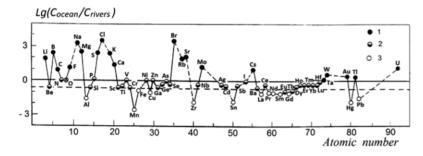


Fig. 2. Concentrations ratios of the chemical elements in the ocean and river waters and types of distribution in the ocean:
1) conservative; 2) nutrient-type;
3) litho-generative.

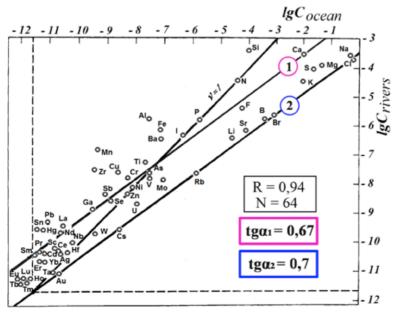


Fig.3. The relationship between average elemental compositions for oceanic water and river water

Detailed studies revealed three types of chemical element distribution in the ocean: 1) Conservative: concentration normalized to salinity is constant in space and time; 2) Nutrient-type: element concentration in the surface waters decreases due to the bio-consumption; and 3) Litho-generative; complex character of distribution of elements, which enter the ocean with the river runoff and interred almost entirely in sediments.

We determine dependence between concentrations of the chemical elements in the ocean and river waters and types of distribution in the ocean (Fig. 2).

Conservative type of distribution in the ocean - $C_{A(ocean)} > C_{A(river)}$ Nutrient-type of distribution in the ocean - $C_{A(ocean)} \sim CA(river)$

Litho-generative type of distribution in the ocean - $C_{A(ocean)}$ < $C_{A(river)}$

The correlation between the chemical compositions of the lithosphere and the ocean is relatively weak (r = 0.68) while for river and oceanic water it is high (r = 0.94) (Fig. 3).

We conclude (Korzh 2008, 2012) that biogeochemical features of each element determine by the relationship between its average concentration in the ocean and the intensity of its migration through hydrosphere boundary zones (Korzh 2008, 2012). In Figure 4 we show intensities of global migration and average concentrations in the ocean in the coordinates $lgC_{ocean} - lg \tau_{ocean}$, where C_{ocean} is an average element concentration and τ_{ocean} is its residual time in the ocean. Lines parallel to the X-axis show concentrations of dissolved forms of elements in the ocean (mole/l). Lines parallel to the Y-axis show a residual time of dissolved forms of these elements in the ocean and are the geometrical locus of constant ratios between concentration in oceanic and river water. Lines at 45° to both coordinate axes show average concentrations of dissolved elements in the river runoff (mole/l).

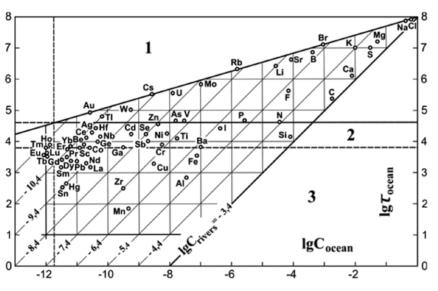


Fig. 4. The System of chemical elements distribution in the hydro-sphere. Types of distribution of chemical elements in the ocean:

- 1) conservative;
- 2) nutrient-type;
- 3) litho-generative.

In this plot elements form groups reflecting the similarity of their properties. τ value ~ 40000 years (the residence time of water in the ocean) separates conservatively and non-conservatively distributed elements. Elements adjacent to this line have a nutrient-type distribution in the ocean that allows establishing their main feature: a similarity of their concentrations in oceanic and river water. The figure also shows litho-generative elements, which are characterized by the loss of the major part of their river input at the river – sea boundary zone. The line connecting Cl, Na, Br, B, Sr, Rb, Mo, U, Cs, W, and Au shows the elements, whose dynamics is mainly controlled by their cyclic migration in the system ocean – atmosphere – continent – ocean.

The System shown in Figure 4 indicates some relationship between three main geochemical parameters of the dissolved forms of chemical elements in the hydrosphere: 1) average concentration in the ocean, 2) average concentration in the river runoff and 3) the type of distribution in oceanic water. This allows (using knowledge of two of these parameters) to gain theoretical knowledge of the third.

The presented System is sufficient for the whole set of chemical elements and for the whole range of observed concentrations (12 orders of magnitude). It even allows to predict with a great precision the values of the annual river transport of dissolved Be, C, N, Ge, Tl, Re, to refine such estimates for P, V, Zn, Br, I, and to determine the character of distribution in the ocean for Au and U. The System allowed to obtain theoretically the reliable data on the natural (not affected by anthropogenic influence) average concentrations of many elements in the river runoff. These concentrations have to be used as ecological reference data. The System gives an insight into the errors in our view of the elemental composition of the hydrosphere. Due to the great response time of the ocean, mean concentrations of elements and patterns of their distribution in the ocean can be used as a main reference data for the determination of natural (unchanged) average concentrations of elements in the river runoff which were not studied before the global degradation of the hydrosphere. The role the System as an ecological reference of natural geochemical state of hydrosphere will increase.

References:

- 1. Korzh V. The general laws in the formation of the elemental composition of the Hydrosphere and Biosphere.// J. Ecologica, Vol. XV, 2008. P. 13-21.
- 2. Korzh V. Specificity of formation of the biosphere elemental composition.// J. Ecologica, Vol. XVI, 2009. P. 33-37.
- 3. Korzh V.D. Determination of general laws of elemental composition in Hydrosphere // Water: chemistry & ecology, Journal of water science and its practical application. № 1, 2012, p. 56-62.

Climate change impact on the methane emission from northern ecosystems in Western Siberia

Golubyatnikov L.L., Kazantsev V.S.

A.M. Obukhov Institute of Atmospheric Physics RAS, Moscow, Russia E-mail: golub@ifaran.ru,

Tetland ecosystems are main natural sources of methane. The total area of wetlands is from 5.2 to 5.9 $\times 106 \text{ km}^2$ or about 5% of the surface area of the world. Global methane emission from wetlands is estimated about 170 MtCH4 per year, which is 82% of the global methane emission from natural sources. Wetland ecosystems in northern latitudes emit 24-72 MtCH₄ per year.

Area of northern ecosystems of Western Siberia, including ecosystems of northern taiga, forest-tundra and tundra, is about 1.1 million km². Wetlands occupy about 30% of the territory. In 2009, 2010 and in 2013 we carried out expeditions to this region of Western Siberia. We measured the methane flux into the atmosphere from various wetlands microlandscapes. We determined the methane flux using closed static chambers.

On the basis of experimental data we obtained that the methane emission from wetlands in northern West Siberia is about 1 MtCH₄ per year. Taiga wetlands of the north of Western Siberia make the main contribution (about 82%) to methane emissions from the region. Contribution of forest-tundra and tundra wetlands in methane emissions from the territory is about 7% and 11%, respectively. Using our field data and the typological swamp map of the Western Siberian plain with spatial resolution $0.5^{\circ} \times 0.5^{\circ}$ we created the map of methane emissions distribution for the northern region of Western Siberia.

Projected global warming could lead to a significant change in the dynamics of carbon fluxes in northern ecosystems. We determined a linear dependence of methane emissions on NPP of wetlands for territory under study. The linear trends are obtained: for the northern taiga - 7.3 ($R^2 = 0.89$), for the forest-tundra - 3.6 ($R^2 = 0.54$), and tundra - 5.9 ($R^2 = 0.79$).

The obtained dependences are used to estimate the response of the methane flux to the atmosphere from wetlands for the northern region of Western Siberia under climate change. We used climatic changes according to calculations by the IAP RAS climate model for the moderate scenario SRES B1, and aggressive scenario SRES A2.

According to our calculations for the scenario SRES A2 methane emissions from wetlands in the northern region of Western Siberia in 2050 will increase by 17% and to the end of the XXI century it could rise up to 40%. For the scenario SRES B1 methane emissions from wetlands will increase by 20% to the middle of the XXI century and until the end of the XXI century the value of methane emission will practically be unchanged.

This work was supported by the Russian Foundation of Basic Research (projects 14-05-00193a), the program of the Earth Sciences Department of the Russian Academy of Sciences "Processes in atmosphere and cryosphere as a factor for environmental changes".

Влияние климатических изменений на эмиссию метана из северных экосистем Западной Сибири

Голубятников Л.Л., Казанцев В.С.

Институт физики атмосферы им. А.М. Обухова РАН, Москва, Россия E-mail: qolub@ifaran.ru

сновным из природных источников метана являются болотные экосистемы. Суммарная площадь болот составляет от 5.2 до 5.9×106 км 2 или около 5% поверхности площади континентов. Глобальная эмиссия метана из болот оценивается в среднем 170 МтСН $_4$ /год, что составляет около 82% глобальной эмиссии метана из природных источников. При этом 24-72 МтСН $_4$ /год (25%) приходится на переувлажненные экосистемы северных широт (Anderson et al., 2010).

Площадь северных экосистем Западной Сибири (экосистемы северной тайги, лесотундры и тундры) составляет около 1,1 млн. км². Около 30% этой территории занимают болотные экосистемы (Романова и др, 1977). В 2009-2010 гг. и в 2013 г. на ключевых участках северных экосистем Западной Сибири были проведены исследования с целью оценки удельных потоках метана в атмосферу из болотных экосистем этого региона. На каждом участке исследованы разнообразные болотные микроландшафты (мёрзлые бугры, приозёрные сплавины, внутриболотные озёра, олиготрофные мочажины, мезотрофные топи, эвтрофные болота, гряды, рямы). Измерения удельных потоков метана проводились методом статических камер.

На основе экспериментальных данных получено, что эмиссии метана из болотных экосистем севера Западной Сибири составляет около $1~\Gamma \tau CH_4/\Gamma og$. Основной вклад в эмиссию метана из северных болот Западной Сибири вносят северотаёжные болота — около 82%. Вклад лесотундровых и тундровых болот в эмиссию метана с рассматриваемой территории составляет около 7% и 11% соответственно. Вклад болотных экосистем севера Западной Сибири в региональную эмиссию составляет около 26%. На основе полученных данных и оцифрованной типологической карты болот Западно-Сибирской равнины для пространственного разрешения $0.5^{\circ} \times 0.5^{\circ}$ составлена карта распределения эмиссии метана для северного региона Западной Сибири.

Прогнозируемое глобальное потепление климата может привести к существенному изменению динамики потоков углерода в северных экосистемах и, в частности, к увеличению эмиссии метана из болотных экосистем (Climate Change, 2013). Ряд исследователей, анализировавших зависимость потоков метана из экосистем в атмосферу от ряда климатических параметров и характеристик окружающей среды, установили наличие взаимосвязи эмиссии метана от первичной биологической продукции (net primary production – NPP) растительного покрова. В работе (Taylor et al., 1991) для определения глобальной эмиссии метана использовалась линейная зависимость от продуктивности растительного покрова экосистем.

Используя полученную карту распределения эмиссии метана и карту первичной биологической продукции для северного региона Западной Сибири (Голубятников и др., 2005), для пространственного разрешения $0.5^{\circ} \times 0.5^{\circ}$ проанализирована зависимость эмиссии метана от продуктивности растительного покрова болотных экосистем изучаемого региона. Значение NPP болот рассчитывалось в каждой ячейке как пропорциональная доля от NPP, приходящаяся на всю ячейку $0.5^{\circ} \times 0.5^{\circ}$. За коэффициент пропорциональности принималась доля территории ячейки, занятая болотными экосистемами. Для рассматриваемого региона установлена линейная зависимость эмиссии метана от продуктивности растительного покрова болотных экосистем (см. рис.1). Для северной тайги получен коэффициент линейного тренда 7.3 (R^2 =0,89), для лесотундры -3.6 (R^2 =0,54), и для тундры -5.9 (R^2 =0,79).

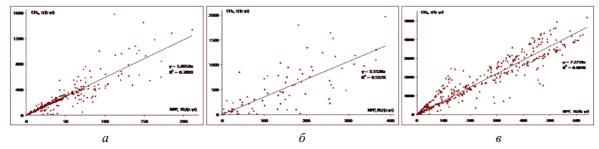


Рис. Зависимость эмиссии метана (CH4) от первичной биологической продукции (NPP) в тундровой (а), лесотундровой (б) и северотаежной (в) зонах северного региона Западной Сибири.

Полученные зависимости использованы для оценки отклика потока метана в атмосферу из болотных экосистем региона на вероятные климатические изменения. Рассмотрены ожидаемые климатиче-

ские изменения согласно результатам расчетов по климатической модели ИФА РАН для умеренного сценария антропогенных воздействий SRES B1, и для агрессивного сценария антропогенных воздействий SRES A2. Изменение значений NPP для экосистем региона согласно используемым климатическим сценариям получено по модели, разработанной в Лаборатории математической экологии ИФА РАН (Голубятников, Денисенко, 2001).

Согласно выполненным расчётам, при реализации сценария SRES A2 эмиссия метана из болотных экосистем северного региона Западной Сибири к 2050 году увеличится на 17%, к концу XXI века она может возрасти до 40%. При реализации умеренного сценария антропогенного воздействия SRES В1 эмиссия метана из болотных экосистем рассматриваемой территории к середине XXI века превысит современную эмиссию на 20% и в дальнейшем (до конца XXI века) значение эмиссия метана практически не изменится.

Сравнение пространственных распределений прогнозируемых значений эмиссий метана показало, что при абсолютном увеличении значений эмиссии не ожидается существенного изменения в пространственном распределении их значений. Как и в начале XXI века, основные природные источники метана в рассматриваемом регионе будут располагаться между 61° и 65° с.ш. и 70° и 80° в.д. (северная тайга и лесотундра), для тундровой зоны на полуостровах Ямал и Гыданский будут характерны наименьшие интенсивности потоков метана в атмосферу.

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект 14-05-00193а), Программы фундаментальных исследований Отделения наук о Земле РАН "Процессы в атмосфере и криосфере как фактор изменений окружающей среды".

Литература:

- 1. Голубятников Л.Л., Денисенко Е.А. 2001. Отклик первичной биологической продукции растительности Европейской России на изменение климата. Изв. РАН. Серия географическая. №6. С.42-50.
- 2. Голубятников Л.Л., Мохов И.И., Денисенко Е.А., Тихонов В.А. 2005. Модельные оценки влияния изменений климата на растительный покров и сток углерода из атмосферы // Изв. РАН. Физика атмосферы и океана. Т. 41. № 1. С. 25–35.
- 3. Романова Е.А., Быбина Р.Т., Голицына Е.Ф., Иванова Г.М., Усова Л.И., Трушникова Л.Г. 1977. Типологическая карта болот Западно-Сибирской равнины. Масштаб 1:2 500 000. Ленинград: ГУГК.
- 4. Anderson B., Bartlett K., Frolking S., Hayhoe K., Jenkins J., Salas W. 2010. Methane and nitrous oxide emissions from natural sources. Washington: EPA. 194 p.
- 5. Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change / (Eds.) Stocker T.F., Qin D., Plattner G.-K., Tignor M., Allen S.K., Boschung J., Nauels A., Xia Y., Bex V., Midgley P.M., Cambridge, United Kingdom and New York, USA: Cambridge University Press. 1535 pp.
- 6. Taylor J. A., Brasseur G. P., Zimmerman P. R., Cicerone R. J. 1991. A study of the sources and sinks of methane and methyl chloroform using a global three-dimensional Lagrangian tropospheric tracer transport model // J. Geophys. Res. V. 96(D2). P. 3013–3044.

Estimation of mires influence on runoff in the middle Ob river basin

Kharanzhevskaya Y.A., Sinyutkina A.A.

Siberian Research Institute of Agriculture and Peat, Tomsk, Russia E-mail: kharan@yandex.ru

The bogs that occupy vast areas of Western Siberia play a powerful role as a climate regulation factor, facilitating the spatial distribution of thermal energy and water resources. Western Siberia mires deposit as much as a quarter of the carbon stored in our planet ecosystems. Western Siberia acts as the largest "trap" of atmospheric carbon and thus plays an important role in the global carbon cycle. In this regard, bogs research of Western Siberia is engaged in a number of scientists [1-2]. They noted that in the northern part of the West Siberian Plain the permafrost zone has an increase of thermokarst activity and decrease of mire areas. In contrast, in southern part of the West Siberian Plain (in the southern taiga subzone) the increasing of the area of mire and forests displacement was observed. Hydrological aspects of such important phenomena are identi-

fied in Western Siberia but poorly understood. Therefore, this article is supposed to carry out studies of the role of mires in the formation of runoff in Middle Ob River basin. Studies have shown that influence of mires on runoff in general is rather ambiguous, depending on the types of mires, their structure and the nature of the location in the catchment area, the progress and development stage. With the increased the area of mires in the right bank of the Ob River marked increase in mean annual flow, and vice versa on the left bank of the Ob River marked decrease runoff. On the right bank of the Ob River with increasing the area of mires, there is an increase in flow equalization in the year.

References:

1. Kirpotin S. N., Berezin A., Bazanov V., Polishchuk Y., Vorobiov S., Mironycheva-Tokoreva N., Kosykh N., Volkova I., Dupre B., Pokrovsky O., Kouraev A., Zakharova E., Shirokova L., Mognard N., Biancamaria S., Viers J., Kolmakova M., 2009. Western Siberia wetlands as indicator and regulator of climate change on the global scale // International Journal of Environmental Studies, Vol. 66, No. 4: 409–421.
2. Callaghan T.V., Tweedie C.E., ..., Zemtsov V.A., 2011. Multi-Decadal Changes in Tundra Environments and Ecosystems: Synthesis of the International Polar Year-Back to the Future Project (IPY-BTF) // AMBIO. Volume 40, Issue 6: 705–716.

Влияние заболоченности водосборов на средний многолетний сток рек бассейна средней Оби

Харанжевская Ю.А., Синюткина А.А.

Сибирский НИИ сельского хозяйства и торфа, Томск, Россия E-mail: kharan@yandex.ru

последнее время проблемы связанные с изменением водных ресурсов и гидрологического режима водных объектов вызывают большой научный интерес и имеют решающее значение для экономического развития, обеспечения жизненных потребностей и безопасности населения, рационального природопользования и сохранения окружающей природной среды. На современном этапе в условиях увеличения уровня хозяйственного освоения территорий необходим мониторинг водного режима, оценка существующего состояния водных ресурсов, а также прогноз их изменений в перспективе. Особенно интересна эта проблема для Западной Сибири, которая характеризуется широким распространением болот. Существование обширных заболоченных пространств в таежной зоне Западной Сибири определяет закономерности в перераспределении тепла и влаги на данной территории, болота играют роль мощного климаторегулирующего фактора, и процесс заболачивания территории продолжается. Поэтому с одной стороны, достаточно сложно предсказать, как скажется на изменении водного стока рек прогрессирующий процесс заболачивания, особенно в условиях природно-климатических изменений, в связи с тем, что многочисленные исследования гидрологической роли болот до сих пор не привели к однозначным выводам по данному вопросу. С другой стороны, трудно оценить гидрологическую роль болот в условиях существования низкой плотности сети станций гидрометеорологических наблюдений на реках (особенно на малых) и практически полного отсутствия наблюдений за водным режимом болот. Поэтому при учете стока многих рек в рамках проведения инженерных изысканий зачастую используется метод аналогии или устаревшие литературные данные, в том числе по заболоченности водосборов. В результате при определении многих гидрологических характеристик возникают существенные ошибки в расчетах, и мы наблюдаем порывы нефтепроводов, а размещение дорог на заболоченных территориях без учета сетки линий стекания с болот способствует подтоплению территорий и нарушению экологического равновесия в зонах интенсивной хозяйственной деятельности. Все это требует получения новых данных по заболоченности речных водосборов таежной зоны Западной Сибири и оценки влияния болот на сток рек. С учетом этого в данной работе предполагается выполнить оценку площади господствующих видов болотных геосистем, общей заболоченности водосборов и провести исследования роли болот в формировании нормы стока рек в бассейне Средней Оби.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исходной информацией для проведения исследований послужили материалы наблюдений Росгидромета за расходами воды на средних реках на 29 гидрометрических постах в бассейне Средней Оби (рисунок 1), данные дистанционного зондирования земной поверхности (космоснимки Landsat, 2000 г., разрешение 14 м/пикс), результаты полевых описаний болот.

Методика исследований включала в себя определение общей заболоченности и распространения господствующих видов болотных геосистем на водосборах, оценку и изучение роли болот в формировании нормы и внутригодового распределения стока рек. При выделении господствующих видов болотных геосистем на водосборах рек использовалась классификация болот, представленная в работе [Синюткина, 2012 а].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Исследования позволили отметить, что общая заболоченность водосборов исследуемых рек существенно превышает данные представленные в [Ресурсы поверхностных вод..., 1972]. Общая заболоченность водосборов практически всех исследуемых рек (за исключением рек Шегарка, Каргат, Чичка-Юл, Большая Юкса), определенная путем анализа космоснимков Landsat территории исследования в среднем в 1,5-2 раза превышает, полученные ранее данные [Ресурсы поверхностных вод..., 1972].

Анализ полученных результатов показал, что бассейн Средней Оби характеризуется различием в общей заболоченности и преобладании тех или иных видов болот на правом и левом берегу р. Обь. Левобережье бассейна Средней Оби отличается преобладанием плоских слабодренированных заболоченных междуречных равнин, сложенных преимущественно глинами и суглинками (рисунок 1). Преобладающим видом болотных геосистем здесь являются комплексные грядово-мочажинные и грядово-озерковые болота, что составляет 32 % от общей площади болот рассматриваемой территории. Для правобережья р. Обь, в особенности его северной части, характерно развитие ложбин древнего стока, протянувшихся с северо-востока на юго-запад, что отразилось на ландшафтной структуре территории. Значительные площади заняты переходными топяными осоково-сфагновыми и древесно-травяными (сосново-березовые осоковые) болотными геосистемами, которые занимают 29 % от общей площади болот правобережья.

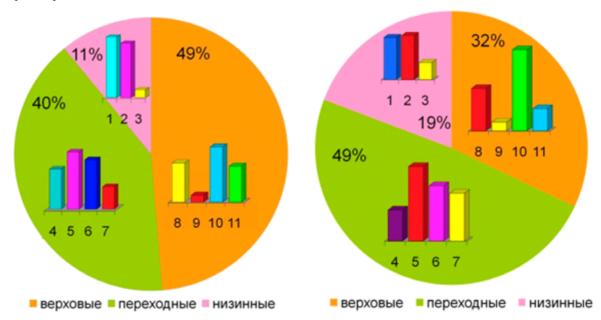


Рисунок 1 – Типы болот левобережья и правобережья р. Оби. Низинные: 1 – Елово-березовые; 2 – древесно-осоково-гипновые; 3 – осоково-гипновые. Переходные: 4 –сосново-березовые; 5 – сосново-березовые осоковые; 6 – сосново-березовые моховые; 7 – осоково-сфагновые. Верховые: 8 – сосново-кустарничково-сфагновые; 9 – осоково-сфагновые и сфагновые; 10 – грядово-мочажинные; 11 – грядово-озерковые [Синюткина, 2012 6]

Исследования роли болот в формировании нормы стока рек в бассейне Средней Оби показали, что их влияние в комплексе физико-географических факторов в целом неоднозначно. Различные по характеру закономерности отмечаются на Обь-Иртышском междуречье в районе распространения Васюганского болотного массива, и в правобережье Средней Оби, где также отмечается высокая степень заболоченности территории при некотором отличии структуры болот. При увеличении общей заболоченности водосборов рек в правобережье р. Обь наблюдается возрастание слоев стока, причем максимальное увеличение характерно для рек северной части подзоны южной тайги (бассейн р. Тыма) (рисунок 2).

Увеличение среднемноголетних слоев стока средних рек в пределах правобережья Средней Оби происходит в соответствии с возрастанием доли сосново-березовых осоковых, сосново-березовых моховых и осоково-сфагновых переходных болот и грядово-мочажинных верховых болот, занятой в пределах их бассейнов. Обратная закономерность, связанная с уменьшением слоев стока рек наблюдается при увеличении площади древесно-осоково-гипновых низинных болот на водосборах.

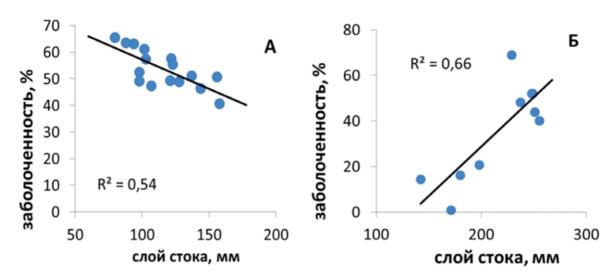


Рисунок 2 — Зависимость слоев стока и общей площади болот и отдельных видов болотных геосистем водосборов рек левобережья (A) и правобережья (Б) Оби

В левобережье Средней Оби отмечается обратная тенденция – при увеличении общей заболоченности водосборов рек отмечается статистически значимое снижение слоев стока. Статистически значимое уменьшение слоев стока наблюдается при увеличении доли сосново-березовых осоковых, осоково-сфагновых переходных и сосново-кустарничково-сфагновых, осоково-сфагновых, грядово-мочажинных верховых болот. Увеличение слоев стока рек левобережья Средней Оби также происходит с возрастанием площади сосново-березовых переходных и сфагновых верховых болот на водосборах (рисунок 2).

Таким образом, проведенные исследования позволили сделать следующие выводы. Влияние болот на сток рек в целом достаточно неоднозначно, зависит от видов болот, их структуры, характера расположения на водосборе, хода и стадии развития болотного массива. В левобережье р. Оби отмечается преобладание верховых болот (49 %), наблюдается закономерное чередование определенных видов болотных геосистем от центральной части к окраинам болот и практически полное объединение элементарных болотных массивов с образованием крупнейших болотных систем, таких как Васюганское болото. В результате влияние болот на сток рек здесь более выражено и определенно. В правобережье р. Обь отмечена несколько иная структура заболоченной территории, которая еще достаточно слабо изучена. В условиях увеличения заболоченности водосборов в правобережье р. Оби отмечается увеличение среднемноголетних слоев стока, а в левобережье наоборот наблюдается снижение слоев стока.

Литература:

- 1. Ресурсы поверхностных вод СССР / под ред. Н.А. Паниной. Л.: Гидрометеоиздат, 1972. т. 15. 406 с.
- 2. Синюткина А.А. Классификация болотных геосистем Томской области // Вестник Томского государственного университета, 2012 а − №357. С. 192-195.
- 3. Синюткина А.А. Ландшафтный анализ болот Томской области. Диссер. на соиск. уч. степ. канд. географ. наук. Томск, 2012 б. 183 с.

The rate of decomposition of plant residues in the oligotrophic bogs

Nikonova L.G., Golovatskaya E.A.

Institute of Monitoring of Climatic and Ecological System SB RAS, Tomsk, Russia E-mail: lili112358@mail.ru

urrently, there is constant increase in the degree of human impact on the natural ecosystems. In this connection, there are fears of increasing the rate of decomposition of plant litter and peat deposits. This could then cause a sharp increase in the emission of carbon dioxide and methane in the atmosphere. It should be noted that the works on dynamics of the decomposition peat-forming plants in the peatlands are relatively few that shows the currency of the study.

The purpose of this work was to study the processes of transformation of plant residues of the main peatforming plants in peat deposit of oligotrophic bogs. The studies were conducted on the territory of oligotrophic bog "Bakcharskoe" (Bakcharsky area Tomsk region). And on the territory Ob-Tomsk interfluvial on oligotrophic bog "Kirsanovskoe" which placed in the zone of action of Tomsk water intake. Observation points are located in pine-shrub-sphagnum phytocenosis ryams. We investigated the following species of plants: *Pinus sylvestris L.; Chamaedaphne calyculata Moench., Rubus chamaemorus L.* and *Sphagnum fuscum Klinggr.* Determination of the rate of decomposition of plant residues was carried litter-bag method.

Research showed that the most intense the process of transformation occurs at the early stage of decomposition, and then the rate of decomposition decreases. The *Sphagnum fuscum* is the main peat-forming plant. The smallest role in the formation of peat plays a Rubus chamaemorus. The most intensive decomposition occurs in a less humid peat deposit in the "Kirsanovskoe" bog.

Decrease the total content of carbon and ash, as well as mass loss the most active occurs at the initial stage of destruction of plant residues. In the process of decomposition of plant residues in the first year can be observed accumulation of nitrogen in the certain species of plant. Then, as a rule, removal of nitrogen is observed.

Скорость разложения растительного материала в торфяной залежи олиготрофных болот

Никонова Л.Г., Головацкая Е.А.

Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, Томск, Россия E-mail: lili112358@mail.ru

Всязи с возрастанием уровня антропогенного воздействия на природные экосистемы возникают опасения увеличения скорости разложения растительного опада и торфяных отложений, что в последствии может вызвать резкое повышение эмиссии углекислого газ и метана в атмосферу [7]. Следует отметить, что работ, посвященных динамике разложения растений-торфообразователей в болотах сравнительно немного [2, 4, 5, 7], что подчеркивает актуальность проводимых исследований.

Цель данной работы заключалась в изучении процессов трансформации растительных остатков основных растений-торфообразователей в торфяной залежи олиготрофных болот.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДИКИ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследования проводились на территории стационара «Васюганье» на олиготрофном болоте «Бакчарское» (Бакчарский район Томской области). А также на территории Обь-Томского междуречья на олиготрофном болоте «Кирсановское», находящемся в зоне действия Томского водозабора [3]. Расстояние между ключевыми участками составляет 180 км. Конкретными пунктами исследования стали сосново-кустарничковые фитоценозы - рямы [2]. Согласно данным метеостанций «Бакчар» и «Томск» погодные условия в Бакчарском районе прохладнее по сравнению с Томском, количество осадков выше в Томске, за исключением летних месяцев [2].

Объектами исследования послужили основные растения-торфообразователи данных олиготрофных болот: *Pinus sylvestris L.* – сосна обыкновенная; *Chamaedaphne calyculata Moench.* – Мирт болотный; *Rubus chamaemorus L.* – Морошка приземистая и *Sphagnum fuscum Klinggr.* – Сфагнум бурый.

Для определения скорости разложения отдельных растений-торфообразователей применялся метод закладки растительности в торф [4]. Для этого на болоте в августе-сентябре 2008 г. были собраны растения-торфообразоватетели. У *Chamaedaphne calyculata* для эксперимента брали прошлогодние листья, у *Pinus sylvestris* - хвою, у *Rubus chamaemorus* - ветошь, у *Sphagnum fuscum* - очес. В лабораторных условиях собранные растения высушивали до воздушно-сухого веса. Затем раскладывались в нейлоновые мешочки, масса навески составляла 4-6 г. Приготовленный растительный материал закладывался в торфяную залежь на глубину 10 см от поверхности в трехкратной повторности в конце вегетационного периода 2008 г.

Отбор экспериментального материала проводился через 12, 24 и 36 месяцев после начала эксперимента. После отбора мешочки с остатками органического вещества также высушивались до воздушносухого веса, взвешивались и готовились к дальнейшим исследованиям. В исходных образцах и после эксперимента по разложению определяли убыль массы растительного вещества весовым методом, а также изменение зольности, содержания углерода и азота по общепринятым методикам [1, 6].

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В ходе эксперимента установлено, что в целом потери массы растительного вещества за первый год составили от 4 % (Sphagnum fuscum) до 42 % (Pinus sylvestris), за 2 года от 13% (Sphagnum fuscum) до

72% (Rubus chamaemorus), за 3 года от 16% (Sphagnum fuscum) до 86% (Rubus chamaemorus) на «Кирсановском» болоте (рис. 1). На «Бакчарском» болоте за 1 год разложение составило от 6% (Sphagnum fuscum) до 42% (Rubus chamaemorus), за 2 года от 6% (Sphagnum fuscum) до 75% (Rubus chamaemorus), за 3 года 9% (Sphagnum fuscum) до 75% (Rubus chamaemorus) (рис. 1). Наиболее интенсивное разложение наблюдается в первый год эксперимента, так, за первые 12 месяцев, потери массы растительных остатков составляют в среднем 59% от общего разложения во всех фитоценозах.

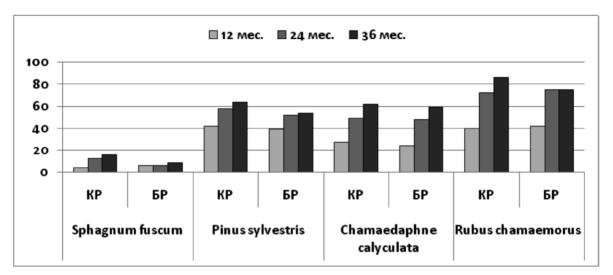


Рисунок 1. Потери массы при разложении растений-торфообразователей (потери массы приведены в % от исходной величины). БР- Бакчарский рям, КР — Кирсановский рям

Минимальной скоростью разложения характеризуется Sphagnum fuscum, потери массы за три года составляют от 9% в Бакчарском болоте до 16% в Кирсановском. Для Sphagnum fuscum характерно менее интенсивное разложение в более влажных и прохладных условиях Бакчарского болота. Максимальная скорость разложения на Бакчарском болоте наблюдалась в первый год эксперимента, на Кирсановском болоте максимальная интенсивность разложения достигается во второй год эксперимента.

Средняя скорость разложения листьев *Chamaedaphne calyculata* — 45 % за три года. В условиях с разными гидрологическими режимами получены близкие величины скорости разложения и сходная динамика в течение трех лет (рис. 1). На начальном этапе процесс разложения более интенсивно протекает в условиях Кирсановского болота, характеризующегося более низкими уровнями болотных вод по сравнению с Бакчарским - 39 и 10 см соответственно.

Потери массы при разложении хвои *Pinus sylvestris L*. в первый год эксперимента достигают 42 % и 39% от исходной массы в Кирсановском и Бакчарском ряме соответственно, к концу эксперимента разложение практически прекратилось, наибольшие потери массы составили 64 % от исходной массы в условиях Кирсановского ряма (рис 1).

Максимальной скоростью разложения среди исследуемых видов отличается Rubus chamaemorus. К концу третьего года потери массы *Rubus chamaemorus* достигают 86% и 75 % на Кирсановском и Бакчарском болотах соответственно. Наибольшие потери массы наблюдаются в первый год эксперимента и составляют около 40% от исходной массы. Исходя из результатов эксперимента, *Rubus chamaemorus* является наименее устойчивым к разложению среди других исследуемых растений и наиболее активно разлагается в условиях Кирсановского ряма (рис. 1).

Таким образом, к концу эксперимента исследуемые растения по скорости разложения в торфяной залежи ряма располагаются в ряд: Rubus chamaemorus > Chamaedaphne calyculata > Pinus sylvestris > Sphagnum fuscum.

Во всех исследуемых образцах определялись потери углерода, азота и зольных элементов (табл. 1). Потери углерода за 12 месяцев в растительных остатках *Sphagnum fuscum* составляют около 3% от исходного содержания, причем данное значение удерживается до конца эксперимента. Для листьев *Chamaedaphne calyculata* и хвои *Pinus sylvestris* характерны быстрые потери углерода в течение первых 12 месяцев, и снижение потерь к концу третьего года. Более интенсивный вынос углерода из растительных остатков *Chamaedaphne calyculata* и *Pinus sylvestris* происходит в условиях Кирсановского болота. Максимальные потери углерода среди всех групп исследуемых растений получены в растительных остатках *Rubus chamaemorus* (83% и 71% в Кирсановском и Бакчарском ряме соответственно). Максимальная скорость выноса углерода из растительных остатков данного растения характерна также в течение первого года, в условиях Кирсановского ряма. (табл. 1)

Таблица 1. Содержание элементов при разложении растительных остатков растений-торфообразователей, % от исходного содержания

Вид	Фитоценоз	Углерод			Азот			Зольность		
Бид		1	2	3	1	2	3	1	2	3
Cuba canum fusaum	КР	97	95	97	163	85	122	135	145	160
Sphagnum fuscum	БР	97	97	97	187	69	124	114	79	130
Chamadanhna advaylata	КР	73	51	41	95	90	72	73	54	18
Chamaedaphne calyculata	БР	78	55	41	148	59	71	153	20	18
Dinna autroatnia	КР	62	47	42	59	54	74	60	44	29
Pinus sylvestris	БР	65	56	51	77	51	71	26	22	22
Rubus chamaemorus	КР	58	32	17	117	53	39	35	23	13
Rubus chamaemorus	БР	60	30	29	114	49	53	62	27	18

Примечание: КР – Кирсановский рям, БР Бакчарский рям, 1, 2, 3 – периоды разложения – 1, 2 и 3 года соответственно

Наши исследования показывают, что во всех исследуемых образцах, за исключением Pinus sylvestris, происходит накопление азота в течение первого года разложения (табл. 1). Согласно данным Л. С. Козловской с соавт. [4] по мере разложения сфагновых мхов повышается содержание азота мхов с 0,5 до 1,9, в дальнейшем, в растениях, подвергающихся значительной минерализации содержание азота начинает убывать, а в случае гумусообразования количество азота остается высоким. Согласно полученным данным, содержание азота в растительных остатках сфагнового мха подвержено значительным колебаниям, максимальное содержание получено в образцах Sphagnum fuscum на Бакчарском болоте -187 % от исходного содержаниям спустя один год (табл. 1). При разложении листьев Chamaedaphne calvculata в условиях Кирсановского болота наблюдаются потери азота около 5 % от исходного содержания в первый год эксперимента, с постепенным снижением содержания азота в дальнейшем, однако для образцов расположенных в торфяной залежи Бакчарского болота наблюдается существенное увеличение содержания азота в течение первого года, с резким снижением в последующие годы. В образцах Pinus sylvestris увеличение содержания азота в процессе трасформации относительно исходного количества не наблюдается. К третьему году эксперимента вынос азота из деревьев и кустарничков становится схожим и достигает в среднем – 28% (табл. 1). Максимальные потери азота за три года наблюдаются у Rubus chamaemorus (60%), в условиях Кирсановского ряма (табл. 1.).

Соотношение С/N является важной величиной при изучении скорости разложения растительных остатков, как правило, чем ниже значение С/N, тем интенсивнее протекают процессы трансформации растительных остатков [4]. В исходных образцах максимальным соотношением С/N отличается Sphagnum fuscum (85), минимальным - Rubus chamaemorus (30). Динамика изменения соотношения С/N определяется неравнозначным выносом углерода и азота в процессе деструкции растительных остатков. В соответствии с потерями или накоплением углерода и азота может происходить как уменьшение, так и увеличение соотношения. К концу эксперимента наблюдается снижение соотношения С/N во всех исследуемых образцах минимальное изменение получено для Sphagnum fuscum на Бакчарском болоте (в 1,3 раза), максимальное (за счет интенсивного накопления азота в растительных остатках) также в образцах Sphagnum fuscum но расположенных на Кирсановском болоте (в 2,7 раз). Также существенное изменение соотношения С/N наблюдается в образцах Rubus chamaemorus вызванное интенсивным выносом как углерода так и азота.

Согласно нашим исследованиям, в первый год в большинстве случаев, происходит снижение содержания зольных элементов в растительных остатках в среднем на 49% (табл.1). Оценка изменения содержания зольных элементов в исследуемых образцах показала, что к концу третьего года эксперимента содержание зольных элементов в растительных остатках *Sphagnum fuscum* в 1,5 раза выше, чем в исходном состоянии в обоих фитоценозах, при этом в условиях более влажном Бакчарского болота содержание зольных элементов через 3 года эксперимента на 30% ниже чем в Кирсановском болоте. Зольность листьев *Chamaedaphne calyculata* и хвои *Pinus sylvestris* в процессе трансформации существенно снижается и к концу эксперимента составляет 18 и 25 % от исходной зольности соответственно. Потери зольных элементов *Rubus chamaemorus* относительно исходного содержания самые высокие среди исследуемых видов (87% и 82% в Кирсановском ряме и Бакчарском ряме соответственно) (табл. 1).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты проведенных исследований показывают, что в олиготрофных торфяных залежах «Кирсановского» и «Бакчарского» болот процессы деструкции наиболее активны в течение первого года после начала эксперимента. Основным растением-торфообразователем является *Sphagnum fuscum*, наи-

меньший вклад в процесс торфообразования вносят *Rubus chamaemorus*. Интенсивность процессов разложения зависит от гидрологических условий исследуемых болот: наиболее интенсивные процессы наблюдаются в условиях менее влажного Кирсановского болота.

Снижение содержания общего углерода и зольных элементов, также как и потери массы, наиболее активно происходит на начальной стадии деструкции растительных остатков. В процессе разложения растительных остатков в течение первого года, иногда, наблюдается увеличение содержания азота в некоторых видах исследуемых растений, как правило, в последующем происходит его вынос.

Литература:

- 1. Агрохимические методы исследования почв. М.: Наука, 1975. 656 с.
- 2. Головацкая Е.А., Никонова Л.Г. Разложение растительных остатков в торфяных почвах олиготрофных болот // Вестник Томского государственного университета. Биология. 2013. №3 (23). С. 137-151.
- 3. Дюкарев А.Г., Пологова Н.Н. Трансформация природной среды в зоне действия Томского водозабора // ENVIROMIS. Труды межд. конф. Томск: ИОА, 2002. C.244-251.
- 4. Козловская Л.С., Медведева В.М., Пьявченко Н.И. Динамика органического вещества в процессе торфообразования. Л.: Наука, 1978. 176 с.
- 5. Паршина Е.К. Деструкция растительного вещества в болотных экосистемах таежной и лесотундровой зон Западной Сибири / автореф. дис. на соискание ученой степени канд. биол. наук. 2009. Томск. 23 с.
- 6. Пономарева В.В., Плотникова Т.А. Методические указания по определению содержания состава гумуса в почвах (минеральных и торфяных). Л.: Наука, 1978. 105 с.
- 7. Ward S.E., Ostle N.J., McNamara N.P., Bardgett R.D. Litter evenness influences short-term peatland decomposition processes // Oecologia. 2010. 164(2). C. 511-520.

СЕКЦИЯ 5

Перенос атмосферных загрязнений и изменения климата

Председатель В.В. Пененко

SESSION 5

Air pollution transport and climate change

Chair Vladimir Penenko

Direct and inverse problems based on the models of dynamics and chemistry of the atmosphere

Penenko V., Tsvetova E.

Institute of Computational Mathematics and Mathematical Geophysics SB RAS, Novosibirsk, Russia E-mail: penenko@sscc.ru

Por many years, we promote the use of variational principles as some generalizing ideas allowing us to build a consistent approximation of mathematical models presented by large systems of differential and integral-differential equations. Our models describe the complex processes occurring in the natural environment. Specifically, we formulate our approach as computer technology intended for solving direct and inverse problems of atmospheric dynamics and chemistry [1-4]. As the methods of implementation, we use functional decomposition methods, splitting methods, and adjoint integrating factors. These methods, combined into a joint system by variational principle, provide a synergetic effect.

In online technologies, a significant part of algorithmic and computational work consist in solving the problems like convection-diffusion-reaction and in organizing data assimilation techniques based on them. For equations of convection-diffusion, the methodology gives us the unconditionally stable and monotone discrete-analytical schemes in the frames of methods of decomposition and splitting. These schemes are exact for locally one-dimensional problems with respect to the spatial variables. For stiff systems of equations describing transformation of gas and aerosol substances, the monotone and stable schemes are also obtained. They are implemented by non-iterative algorithms. By construction, all schemes for different components of state functions are uniform. They are coordinated among themselves in the sense of forward and inverse modeling.

Variational principles are constructed taking into account the fact that the behavior of the different dynamic and chemical components of the state function is characterized by high variability and uncertainty. Information on the parameters of models, sources and emission impacts is also not determined precisely. Therefore, to obtain the consistent solutions, we construct methods of the sensitivity theory taking into account the influence of uncertainty. For this purpose, new methods of data assimilation of hydrodynamic fields and gas-aerosol substances

measured by different observing systems are proposed. Optimization criteria for data assimilation problems are defined so that they include a set of functionals evaluating the total measure of uncertainties. The latter are explicitly introduced into the equations of the model of processes as desired deterministic control functions. This method of variational data assimilation with control functions is implemented by direct algorithms. We consider several versions of the direct assimilation algorithms and algorithms for solving inverse problems of parameter identification .The modeling technology presented here focuses on various scientific and applied problems of environmental prediction and design, including risk assessment in relation to existing and potential sources of natural and anthropogenic influences.

The work is partially supported by the Programs NN 1, 4 of Presidium RAS and No 3 of Mathematical Department of RAS; by RFBR project N 14-01-00125; by Integrating projects of SD RAS NN 8, 35.

References:

- 1. V. V. Penenko, Variational methods of data assimilation and inverse problems for studying the atmosphere, ocean, and environment, Numerical Analysis and Applications, 2009, V 2 No 4, 341-351.
- 2. V. Penenko, A.Baklanov, E. Tsvetova and A. Mahura, Direct and Inverse Problems in a Variational Concept of Environmental Modeling, Pure and Applied Geoph, 2012, V.169: 447-465.
- 3. V. Penenko, E. Tsvetova, Variational methods for constructing the monotone approximations for atmospheric chemistry models, Numerical analysis and applications, 2013. V. 6: 210-220.
- 4. V.V. Penenko, E.A. Tsvetova, A.V. Penenko, Variational approach and Euler's integrating factors for environmental studies, Computers and Mathematics with Applications, 2014, DOI:10.1016/j.cam-wa.2014.04.004

Прямые и обратные задачи на основе моделей динамики и химии атмосферы

Пененко В.В., Цветова Е.А.

Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН, Новосибирск, Россия E-mail: penenko@sscc.ru

В течение многих лет мы пропагандируем применение вариационных принципов, как неких обобщающих идей, позволяющих строить согласованные аппроксимации математических моделей, представленных большими системами дифференциальных и интегро-дифференциальных уравнений (см. [1-5] и имеющийся там обзор литературы). Эти модели описывают сложные процессы, протекающие в природной среде. Конкретно, наш подход формулируется в виде вычислительной технологии, предназначенной для решения прямых и обратных задач атмосферной динамики и химии. При формулировке вариационного принципа основной функционал в нем, определяется, исходя из уравнений энергетического баланса всей совокупности моделей, объединяемых в единый комплекс. Это обеспечивает согласованное описание разномасштабных процессов, начиная от постановок задач до построения численных схем для их решения. В качестве методов реализации используются методы декомпозиции функционалов, методы расщепления, и сопряженные интегрирующие множители. Эти методы, объединенные в единую систему вариационным принципом, дают синергетический эффект.

СИСТЕМА МОДЕЛИРОВАНИЯ И ИНТЕГРИРУЮЩИЕ МНОЖИТЕЛИ

Одной из идей, которую мы разрабатываем в последнее время, является применение концепции интегрирующих множителей Эйлера, являющихся фундаментальным понятием в теории дифференциальных уравнений, при аппроксимации сложных систем рассматриваемого класса. Мы демонстрируем полезность и универсальность этой концепции, применяя её как при решении систем дифференциальных уравнений для описания конвекции-диффузии, так и при решении жестких систем кинетических уравнений атмосферной химии. Причем, мы предлагаем находить интегрирующие множители как решения специальных локальных сопряженных задач в рамках декомпозиции функционалов вариационного принципа, вводя понятие сопряженных интегрирующих множителей.

В глобальном вариационном принципе, сформулированном для обобщенного описания исходной задачи, мы используем декомпозицию функционалов с аддитивным представлением операторов, описывающих процессы конвекции-диффузии и трансформации, и получаем численные схемы, обладающие свойствами полной аппроксимации системы в целом. Далее применяем аддитивно-усредненные схемы метода расщепления, в результате чего получается набор локально одномерных задач по пространственным переменным и по механизмам реакций из операторов трансформации. Здесь в одномерных конструкциях применяется идея интегрирующих множителей, в качестве которых используются

വ

решения локальных сопряженных задач. При этом существенно используется тот факт, что все параметры моделей – ограниченные функции. Они либо непрерывные во всей области, либо кусочно-непрерывные, имеющие кусочно-непрерывные производные.

По определению, все функционалы в структуре вариационного принципа представляют собой многомерные интегралы по пространственным переменным и времени. Общая схема алгоритма построения аппроксимаций состоит в следующем. Сначала многомерные интегралы в определении расширенного функционала вариационного принципа аппроксимируются подходящими кубатурными формулами заданного порядка точности в рамках технологии конечных объемов. Затем подынтегральные выражения с использованием схем расщепления приближаются дискретно-аналитическими агрегатами порядка точности не ниже, чем в кубатурных формулах. Для конвективно-диффузионных операторов - это гибридные аппроксимации, дискретные по времени и дискретно-аналитические по пространственным переменным, а для операторов трансформации - дискретные по пространству и аналитические по времени.

Следует подчеркнуть, что задачи, которые мы решаем при описании динамики и качества атмосферы, являются задачами с преобладающей конвекцией. Чтобы правильно описать совокупный процесс в таких случаях, в настоящее время предлагаются различные подходы. В том числе часто используются различные построения, например, нелинейные монотонизаторы (лимитеры), иногда высокого порядка. Наряду с достоинствами, такие методы имеют существенный недостаток: они не дают возможность построить адекватные схемы для сопряженных задач, являющихся базой для решения обратных задач. Наш подход свободен от этого недостатка. Результирующие схемы обладают и многими другими хорошими свойствами. Они согласованы между собой в прямом и сопряженном вариантах. Большим преимуществом таких схем является их однородность. Кроме того они являются технологичными в современном понимании этого термина, то есть допускают вычислительно эффективное распараллеливание. Поэтому мы считаем, что в настоящее время имеет смысл расширить применение гибридных дискретно-аналитических структур, объединяющих лучшие качества конструкций различных типов.

Подробное описание нашей методики мы представили в [3,4], поэтому далее основное внимание уделим вопросам организации методов решения обратных задач с усвоением доступных данных наблюдений. В настоящее время задачи вариационного усвоения данных относятся к числу наиболее распространенных обратных задач, которые однако, требуют также решения прямых и сопряженных задач.

ВАРИАЦИОННЫЕ МЕТОДЫ УСВОЕНИЯ ДАННЫХ

Теоретические основы этих методов базируются на идеях классического вариационного принципа Эйлера-Лагранжа, в котором модели процессов выступают в качестве ограничений на множества функций состояния и параметров. Эти ограничения вводятся в вариационный принцип с помощью сопряженных функций, которые играют роль распределенных множителей Лагранжа. Если имеются данные измерений, то по ним осуществляется оценка функций состояния и идентификация параметров модели. Модель процессов в данном случае выступает в роли пространственно-временного интерполянта. Это позволяет согласовать масштабы процессов, описываемые данной дискретной моделью, с масштабами процессов, характеристики которых содержатся в данных измерений.

Первое поколение вариационных методов усвоения данных развивалось в предположении, что модели процессов, в которых усваиваются данные, являются точными. Поэтому соответствующий вариационный принцип строился в формулировках со строгими ограничениями, а результаты измерений использовались только для корректировки начальных условий. При таком подходе возможности сопряженных задач и аппарата функций чувствительности не были реализованы в полной мере.

Позже был предложен и развит метод усвоения данных на базе вариационного принципа со слабыми ограничениями. В этом случае в модели процессов явно включаются дополнительные слагаемые, так называемые функции неопределенности. С позиций теории оптимального управления их можно рассматривать как функции управления, которые определяются по заданному целевому функционалу с учетом всех доступных данных измерений. Соответственно, расширенный функционал вариационного принципа определяется с учетом суммарной меры всех неопределенностей, включаемых в систему моделирования.

Отметим некоторые достоинства таких методов. Функции чувствительности и функции неопределенностей расширяют область применения вариационных методов для решения обратных задач с усвоением данных наблюдений. Кроме того они вносят эффекты управления и регуляризации в методы решения в общем случае некорректных обратных задач. Как следствие, это приводит к экономичным алгоритмам вариационного усвоения данных. Заметим, что длина «окон усвоения», то есть интервала времени, в течение которого мы хотим учитывать наблюдения, если таковые поступают, задается параметрически. Она может быть выбрана произвольно, начиная от одного шага модели процессов по времени. В выборе длины окна усвоения есть свои тонкости, в частности, в согласовании характерных масштабов моделей и данных. Данные могут поступать как непрерывно, так и эпизодически. В зависимости от длины окна усвоения получаются различные варианты технологии усвоения данных.

Если окно усвоения выбрать равным одному шагу модели по времени, то получаются вариационные алгоритмы, имеющие прямые, то есть безытерационные схемы реализации, работающие в темпе решения прямых задач динамики и химии атмосферы. Методы такого класса наиболее востребованы для практических применений при совместном использовании моделей и больших объемов доступных данных наблюдений.

Перечислим формулировки типичных вариантов таких алгоритмов, которые получаются в рамках предлагаемого подхода:

- прямые алгоритмы усвоения с одновременным решением основных и сопряженных задач и с расчетом функций чувствительности и неопределенности;
- вариационные схемы, похожие на методы фильтрации Калмана, но без использования наиболее трудоемких элементов расчета ковариационных матриц и широко применяемых в последние годы ансамблевых методов их параметрического оценивания. Это достигается за счет того, что включение данных измерений осуществляется непосредственно с помощью аппарата сопряженных задач и функций неопределенностей;
- вариационные версии алгоритмов типа релаксационных nudging-based методов, в которых включение в уравнения модели невязок между вычисленными и измеренными значениями функций состояния также происходит с помощью функций неопределенностей;
- алгоритмы уточнения параметров различных источников, включая оценки скорости поступления газо-аэрозольных примесей, с использованием функций чувствительности и неопределенностей;
- алгоритмы обратных связей для уточнения параметров моделей с помощью функций чувствительности целевых функционалов, объединенных с функционалами для усвоения данных.

Обратные задачи идентификации параметров и оценки источников

Для решения обратных и оптимизационных задач проектирования и прогнозирования целевые функционалы будем выбирать с учетом априорных сведений о функциях состояния и параметрах моделей. Это можно сделать, например, дополнительно включив эти сведения как параметрическую часть в состав основного целевого функционала:

$$\Phi_{k}(\mathbf{\phi}, \mathbf{Y}) = (F_{k}(\mathbf{\phi}), \chi_{k}) + 0.5 \int_{D_{t}} \sum_{i=1}^{N_{p}} \left[\left[\gamma_{1} \Gamma_{ip}^{(1)} \left| gradV_{i} \right|^{2} + \gamma_{2} \Gamma_{ip}^{(2)} V_{i}^{2} \right] \right) dDdt . (1)$$

Здесь φ — функция состояния моделей процессов, $(F_k(\varphi),\chi_k)$ — целевой функционал, $F_k(\varphi)$ — оцениваемые функции, $\chi_k \geq 0$ — весовые функции, $k \geq 1$ — номер целевого функционала, $V_i = Y_i - Y_i^{\infty}$, Y_i^{∞} — априорные значения параметров моделей, например, коэффициенты турбулентности, характеристики процессов взаимодействия субстанций с неоднородностями поверхности Земли и др., $\gamma_1 \geq 0$, $\gamma_2 \geq 0$ — весовые множители; $\Gamma^{(a)}_{ip}$ — положительные диагональные матрицы масштабирующих коэффициентов и весов; N_p — общее число параметров, подлежащих уточнению. Функционалы, входящие в состав (1), включаются в расширенный функционал общего вариационного принципа и аппроксимируются с использованием методов декомпозиции и расщепления.

Соотношения чувствительности для функционалов (1) порождают алгоритм для расчета градиентов этих функционалов в пространстве параметров моделей $R^h(D^h_t)$. Используя этот алгоритм, построим систему уравнений обратной связи градиентного типа для идентификации параметров на основе условий минимизации целевого функционала и соотношений чувствительности:

$$\frac{\partial Y_{i}}{\partial t} = -\kappa \tilde{R}_{i}^{-1} \left(\frac{\partial I^{h}(\boldsymbol{\varphi}, \mathbf{Y}, \boldsymbol{\varphi}_{k}^{*})}{\partial Y_{i}} - \gamma_{1} div \Gamma_{ip}^{(1)} grad V_{i} + \gamma_{2} \Gamma_{ip}^{(2)} V_{i} \right), \quad i = \overline{1, N_{p}}. \quad (2)$$

Здесь $I^h(\mathbf{\phi},\mathbf{Y},\mathbf{\phi}_k^*)$ – дискретный аналог интегрального тождества для вариационного описания модели процессов, $\mathbf{\phi}_k^*$ – решение сопряженной задачи, соответствующей целевому функционалу (1) с номером k, $\kappa \geq 0$ – коэффициент пропорциональности; \widetilde{R}_i – элементы диагональной матрицы весов для формирования метрики ds в пространстве параметров $R^h(D^h_i)$, которую определим следующим образом;

 $ds^2 = \sum_{i=1}^{r_i} \tilde{R}_i dY_i^2$. Уравнения (2) дополняют и замыкают систему основных уравнений моделей процессов в отношении параметров в соответствии с критериями оптимальности функционалов (1). Они решаются с помощью схем расщепления, согласованных с общей структурой алгоритмов для реализации моделей процессов. Таким образом, уточнение параметров осуществляется в режиме слежения за изменениями расширенных функционалов (1).

Работа поддержана Программами №1,4 Президиума РАН и №3 ОМН РАН, проектом РФФИ №14-01-00125, а также Интеграционными проектами №№ 8, 35 CO PAH.

Литература:

- 1. V. V. Penenko, Variational methods of data assimilation and inverse problems for studying the atmosphere, ocean, and environment, Numerical Analysis and Applications, 2009, V 2 No 4, 341-351.
- 2. V. Penenko, A.Baklanov, E. Tsvetova and A. Mahura, Direct and Inverse Problems in a Variational Concept of Environmental Modeling, Pure and Applied Geoph, 2012, V.169: 447-465.

- 3. V. Penenko, E. Tsvetova, Variational methods for constructing the monotone approximations for atmospheric chemistry models, Numerical analysis and applications, 2013, V. 6: 210-220.
- 4. V.V. Penenko, E.A. Tsvetova, A.V. Penenko, Variational approach and Euler's integrating factors for environmental studies, Computers and Mathematics with Applications, 2014, DOI: 10.1016/j.cam-wa.2014.04.004

Atmospheric pollution transport in the Baikal region: numerical modeling scenarios

¹Pyanova E.A., ²Faleychik L.M.

E-mail: pianova@ngs.ru, lfaleychik@bk.ru

The results of some modelling scenarios of atmospheric pollution transport in the Baikal region are presented. A program package has been developed for mathematical modelling of the environmental changes in the region under natural and anthropogenic forcing. Numerical studies of the local atmosphere circulation and estimates of air quality based on a nonhydrostatic mesoscale model of atmospheric dynamics and pollution transport above complex terrain have been carried out. With this model, the diurnal variation of some meteorological parameters and passive substances at typical summer and winter situations has been simulated.

Some unfavorable meteorological conditions over Lake Baikal have been revealed in the numerical simulation. For example, under a north-west wind from Irkutsk-Cheremkhovo industrial complex part of pollution is blocked by the Primorsky Range, although some pollutants can reach the air over Lake Baikal moving across the Angara River.

These results are analyzed in a GIS-technological module included in the program package for processing and visualizing data of observation and calculation.

This work was supported by the presidium of RAS under Program № 4, the Russian Foundation for Basic Research under grant № 14-01-00125-a, SB RAS Integration project № 8, and SB RAS Basic Research project IX.88.1.6.

Атмосферный перенос примесей в Байкальском регионе: численное моделирование некоторых сценариев

¹Пьянова Э.А., ²Фалейчик Л.М.

¹Институт вычислительной математики и математической геофизики СО РАН, Новосибирск, Россия ²Институт природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН, Чита, Россия E-mail: pianova@ngs.ru, lfaleychik@bk.ru

В декабре 2009 г. распоряжением Правительства РФ утверждена «Стратегия социально-экономического развития Дальнего Востока и Байкальского региона на период до 2025 года» (http://gov/results/9049/). Инструментом реализации этой Стратегии призвана стать Государственная Программа Российской Федерации «Социально-экономическое развитие Дальнего Востока и Байкальского региона». В рамках этой программы предполагается создание новых промышленных кластеров в восточных регионах России в дополнение к уже существующим. Строительство и работа новых предприятий будут сопровождаться значительным негативным воздействием на окружающую среду. Кроме того, особенности климата и климатические изменения последних десятилетий могут значительно усилить это воздействие и создать угрозу необратимых последствий вследствие полной или частичной деградации природных комплексов, утраты ими средообразующих функций, опустынивания территорий, утраты ими биологического разнообразия и др.

Цель данного исследования – получить для Байкальского региона сценарные оценки условий формирования атмосферных циркуляций и особенностей распространения загрязнения от индустриальных центров Иркутско-Черемховской промышленной зоны в атмосфере региона и над акваторией Байкала.

¹ Institute of Computational Mathematics and Mathematical Geophysics SB RAS, Novosibirsk, Russia

² Institute of Natural Resources, Ecology and Cryology SB RAS, Chita, Russia

Комплексное использование математического моделирования и возможностей современных геоинформационных технологий как инструмента исследований окружающей среды и оценки антропогенного воздействия на нее позволило разработать для такого рода задач информационно-вычислительную технологию получения, обработки и анализа многофакторной информации о территории, начиная с подготовки исходных данных для численного моделирования атмосферных процессов и заканчивая анализом и представлением результатов расчетов по математическим моделям в виде, удобном и понятном для конечных пользователей, принимающих решения [1-3].

Информационно-вычислительный комплекс основан на негидростатической мезорегиональной модели динамики атмосферы и переноса примеси в областях со сложным рельефом [1, 4-6]. Основными уравнениями модели динамики атмосферы являются три уравнения движения, уравнения притока тепла и влаги, уравнение неразрывности. Взаимодействие атмосферы с подстилающей поверхностью учитывается в параметризованном виде в рамках модели приземного слоя. Процессы переноса загрязнения приближенно описываются уравнением конфекции-диффузии пассивной примеси.

Численная реализация уравнений модели основана на вариационном подходе в сочетании с методами расщепления [7]. На основе вариационного функционала – интегрального тождества специальной структуры – построены энергетически сбалансированные конечно-разностные аппроксимации второго порядка по пространству. Для конвективно-диффузионных уравнений получены дискретно-аналитические монотонные разностные схемы [8]. При учете в модели граничных условий наибольший интерес представляют условия на нижней границе воздушных масс в условиях сложного рельефа подстилающей поверхности. В работе для учета орографии использованы идеи метода "фиктивных" областей. Вариационный способ организации этого метода обеспечил точный учет естественных краевых условий на границах области моделирования [9], в том числе и на нижней границе.

Информационно-вычислительный комплекс для получения сценарных оценок включает в себя и два геоинформационных блока. Первый блок предназначен для получения входной информации для численной модели – построение в модельной области двумерной расчетной сетки, извлечение из существующих цифровых моделей данных о рельефе, категориях землепользования и типов подстилающей поверхности. Второй блок – для отображения и анализа результатов расчетов в среде ГИС. Построенные расчетные сетки имеют географическую привязку. Это дает возможность создать в среде ГИС различные картографические представления результатов моделирования, полученные с помощью этих сеток, наложить их на топографическую основу и проанализировать [2, 3].

Подготовка и обработка исходных данных о моделируемой области осуществляется в геоинформационной среде ArcGIS с использованием авторской технологии и ГИС-инструментария [2, 3]. Источники извлекаемых пространственных данных – данные дистанционного зондирования Земли, находящиеся в свободном доступе: цифровые модели рельефа (ЦМР), космоснимки разного разрешения. С помощью инструментария ArcGIS в узлы построенных регулярных расчетных сеток из цифровых моделей извлекаются значения высоты соответствующих узлам точек местности. Кроме того, на основе геоинформационного анализа близости и наложения с использованием картографических слоев базы данных, описывающих объекты гидрографии, населенные пункты и т.д., выделяются соответствующие им узлы для каждой сетки.

Данный информационно-вычислительный комплекс и авторская технология отрабатывались и совершенствовались на существующих и проектируемых промышленных объектах Западной (Богучанская и Мотыгинская ГЭС) и Восточной Сибири (Читино-Ингодинская впадина) [1, 2, 4-6, 10].

Для проведения модельных расчетов, кроме адаптации комплекса к физико-географическим и климатическим условиям Байкальского региона, была выполнена модернизация программного кода для ускорения его работы. Модификация заключалась в замене блоков модели, допускающих параллельную реализацию, на соответствующий параллельный код. Использовался открытый стандарт OpenMP.

В соответствии с идеями сценарного подхода были проведены серии численных экспериментов для типичных условий летнего и зимнего периодов для различных вариантов задания внешнего (по отношению к рассматриваемой территории) ветрового потока. При реализации модельных расчетов воспроизводился суточный ход метеорологических элементов для каждого сценария выбранного сезона, а затем на фоне этих параметров рассчитывались процессы переноса примесей от точечных источников выбросов, расположенных в основных промышленных районах региона.

Сначала адаптация модели к сезонным климатическим условиям проводилась на грубой сетке. На основании анализа результатов расчетов выделялись метеорологические ситуации, представляющие наибольший интерес с позиции выявления неблагоприятных погодных условий для качества атмосферы некоторых территорий Байкальского региона, и, в частности, для атмосферы над акваторией Байкала. Затем для ряда отобранных таким образом сценариев были повторены модельные расчеты на более подробной сетке с шагом 5 км по горизонтали. Такие расчеты позволили детализировать картины формирования атмосферных циркуляций, являющихся результатом взаимодействия крупномасштабных и локальных процессов. Как пример такого взаимодействия можно отметить отклонения фонового потока от заданного начального направления при прохождении складок рельефа, а также при прохождении

над границами водной поверхности и суши. Причем в летнее время направление отклонения фонового ветра часто зависит от времени суток, когда в результате неравномерного нагревания склонов формируются циркуляции горно-долинного типа. Такая же суточная зависимость наблюдается и при влиянии на фоновый поток локальных циркуляций типа бриза. Для еще большего уточнения и детализации процессов распространения примеси проводились дополнительные расчеты на сетке с горизонтальным шагом 1 км.

Для области интегрирования (рис. 1) с размерами по горизонтали 1340x1290 км² и 6 км по вертикали использовались два варианта расчетных сеток: первый – горизонтальные шаги $\Delta x = \Delta y = 10$ км, второй – $\Delta x = \Delta y = 5$ км. По вертикали для всех вариантов – первые 30 шагов по 100 м, а далее по 150 м и 200 м. Более подробная сетка с горизонтальными шагами $\Delta x = \Delta y = 1$ км применялась для прибайкальской территории меньшего размера (рис. 1а, красный прямоугольник) – 660x710 км². Базовый шаг по времени $\Delta t = 60$ с.

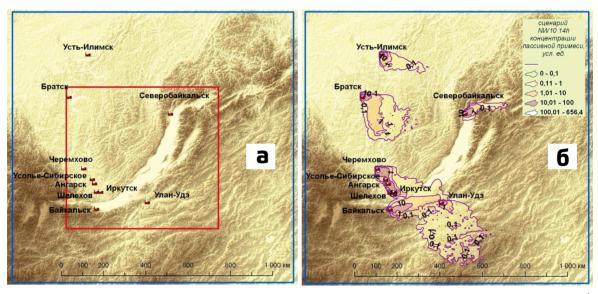


Рис. 1. а) Рельеф подстилающей поверхности области моделирования. Синим ограничена территория 1350х1290 км², красным — 660х710 км²; б) изолинии концентрации пассивной примеси (условные единицы) на высоте 100 м над поверхностью для 14 ч местного времени. Летний сценарий. Северо-западный фоновый ветер

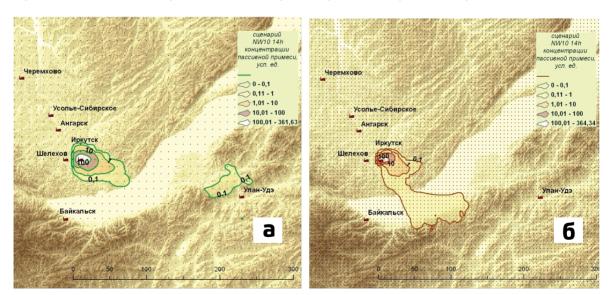


Рис. 2. Изолинии концентрации пассивной примеси (условные единицы) на высоте 100 м над поверхностью для 14 ч местного времени. Летний сценарий. Северо-западный фоновый ветер. а) расчет на сетке с горизонтальным шагом 10 км, 6) — с шагом 5 км

На рис. 1а синим и красным прямоугольниками выделены области моделирования, для которых проводились сценарные расчеты. На рис. 1б представлены изолинии полей распределения концентраций пассивной примеси от точечных источников, расположенных в основных промышленных центрах региона. Расчет был проведен на сетке с шагом 10 км по горизонтали. Здесь (рис. 1б) отображен один из наиболее неблагоприятных для летнего периода сценарий развития циркуляций, когда набегающий се-

веро-западный поток ветра переносит загрязнения от Иркутско-Черемховской промышленной зоны в сторону Байкала. На рис. 2 представлен тот же летний сценарий с северо-западным ветром, но выделено только распределение пассивной примеси от источника в г. Иркутске. Можно отметить, что расчеты на более подробной горизонтальной сетке с шагом 5 км схватывают больше деталей процесса переноса примеси (рис. 26), в то время как расчеты на более грубой сетке не отразили возможность выноса примеси из долины на акваторию Байкала со стороны истока Ангары (рис. 2а). В численных экспериментах для зимнего периода северо-западный фоновый ветер также способствовал переносу загрязнения от источников промышленной зоны в атмосферу акватории Байкала.

Анализ результатов модельных расчетов показал существенную пространственно-временную изменчивость в формировании локальных атомсферных циркуляций и, как следствие, в распределении примеси над территорией Байкальского региона. На данном этапе исследования выделен ряд неблагоприятных (с позиций качества атмосферы) метеорологических ситуаций для зимнего и летнего сезонов. Вероятность развития выявленных неблагоприятных сценариев необходимо учитывать при проектировании и эксплуатации промышленных объектов в исследуемом регионе.

Работа выполняется при поддержке Интеграционного проекта СО РАН № 8, Программы фундаментальных исследований № 4 Президиума РАН, проекта РФФИ № 14-01-00125-а, проекта IX.88.1.6 Фундаментальных исследований Сибирского отделения РАН.

Литература:

- 1. Пьянова Э.А., Фалейчик Л.М. Информационно-вычислительная технология для сценарных оценок динамики и качества атмосферы // Вычислительные технологии. 2012. Т. 17. № 1. С. 109-119.
- 2. Фалейчик Л.М., Пьянова Э.А. Использование ГИС-технологий и математического моделирования для оценки изменений состояния природной среды под влиянием хозяйственной деятельности человека // Вестник ЧитГУ, 2008. № 5(50). С. 117-127.
- 3. Фалейчик Л.М. Геоинформационное обеспечение численного моделирования локальных атмосферных процессов // Вестник НГУ. Серия: Информационные технологии. 2012. Т. 10. № 2. С. 14-24.
- 4. Пьянова Э.А. Численное моделирование атмосферного переноса примеси в Байкальском регионе // Современные проблемы математического моделирования. Серия "Математическое моделирование и современные информационные технологии", вып. 12. Ростов н/Д, изд-во ЮФУ. 2013. С. 215-219.
- 5. Пьянова Э.А. Исследование трансформации воздушного потока над термически и орографически неоднородной подстилающей поверхностью // Вычислительные технологии. 2005. Том 10. S3. C. 106–111.
- 6. Пьянова Э.А., Фалейчик Л.М. Исследование влияния искусственного водоема на температурные режимы прибрежных территорий // Современные проблемы математического моделирования. Серия "Математическое моделирование и современные информационные технологии", вып. 5. Ростов н/Д, изд-во ЮФУ. 2007. С. 239-247.
- 7. Пененко В.В., Алоян А.Е. Модели и методы для задач охраны окружающей среды. Новосибирск: Наука, 1985. 256 с.
- 8. Penenko V., Tsvetova E. Discrete-analytical methods for the implementation of variational principles in environmental applications // J. of Computation and Applied Mathematics. 2009. Vol. 226, iss. 1. P. 319-330.
- 9. Алоян А.Е., Фалейчик А.А., Фалейчик Л.М. Алгоритм численного решения метеорологических задач в случае криволинейной области // Математические методы рационального природопользования. Новосибирск: Наука, 1989. С. 14-35.
- 10. Пьянова Э.А., Фалейчик Л.М. Численное моделирование для оценки изменений режима циркуляции атмосферы при антропогенном вмешательстве в природную среду // Современные проблемы математического моделирования. Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ. Серия «Математическое моделирование и современные информационные технологии», вып. 8. Ростов-на-Дону, изд-во ЮФУ. 2009. С. 393-400.

Comparison of ionic structure of snow cover in the zone of influence of the industrial enterprises of Tomsk

- ^{1, 2}Lyapina E., ¹Filiminenko E., ¹Talovskaya A., ¹Osipova H.
- ¹ National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia
- ² Institute of Monitoring of Climatic and Ecological Systems SB RAS, Tomsk, Russia
- E-mail: fili.008@mail.ru, eeldv@mail.ru, talovskaj@yandex.ru, osipova@tpu.ru

In work data on studying of ionic structure, a mineralization, oxidation-reduction potential, and also the content of mercury are provided in snow waters in zones of influence of the industrial enterprises of Tomsk. As a result of carried-out earlier vulgar snow and soil shootings in the territory of Tomsk it was established that technogenic auras are observed in regions of an arrangement of the enterprises of fuel and energy complex, production of construction materials, petrochemical plant.

Studying of ionic composition of snow waters in zones of influence of the industrial enterprises of Tomsk revealed value of a mineralization within background values of a continental atmospheric precipitation for the taiga woods. The indicator of acidity alkalinity of snow waters testifies to their neutral reaction. Research of 2013 showed decrease by 3.2 times of the contents sulfate ion, by 2.6 times - chloride ion in Tomsk in comparison with this 2005. Value of a ratio of $SO_4^{2-}/C\Gamma$ in snow water in zones of influence of the industrial enterprises of Tomsk exceeds that for a sea precipitation by 17.7 times that testifies to rather strong technogenic receipt of compounds of sulfur in atmospheric air. Concentration of mercury in a soluble phase of a snow cover in zones of influence of the industrial enterprises of Tomsk as a whole are comparable to similar data for other regions of Russia and the world.

Сопоставление ионного состава снежного покрова в зоне воздействия промышленных предприятий г. Томска

- ^{1,2}Ляпина Е.Е., ¹Филимоненко Е.А., ¹Таловская А.В., ¹Осипова Н.А.
- 1 Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Томск, Россия
- ² Институт мониторинга климатических и экологических систем CO PAH, Томск, Россия E-mail: filimonenkoea@mail.ru, eeldv@mail.ru, talovskaj@yandex.ru, osipova@tpu.ru

Регулярные наблюдения за качеством атмосферного воздуха по данным исследования снежного покрова на территории г. Томске проводятся с 2009 г. Г. Томск, характеризуется деятельностью предприятий топливно-энергетического комплекса, нефтехимической, строительной отрасли, предприятий, занимающихся металлообработкой и имеющих чугунно-литейные цеха, которые являются источниками поступления в окружающую среду аэрозоля, содержащего широкий спектр химических элементов. Пылевые аэрозоли формируют основное антропогенное воздействие на экосистемы города и территории, находящиеся в зоне их непосредственного влияния. В результате проведенной ранее площадной снеговой и почвенной съемок на территории г. Томска было установлено, что техногенные ореолы наблюдаются в районах расположения предприятий топливно-энергетического комплекса, приборостроения, нефтехимического комбината и в жилых районах с преобладающим печным отоплением и локальными котельными [6].

Целью данной работы является изучение ионного состава, минерализации, pH и Hg в снежном покрове в зонах воздействия промышленных предприятий г. Томска в 2013 г.

В 2013 г. авторами производился отбор проб снега в зонах воздействия теплоэлектростанции, нефтехимического комбината, кирпичных заводов, заводов по производству железобетонных конструкций. Размеры зон воздействия промышленных предприятий определялись согласно [17], с учетом преобладающего направления ветра, высот труб, ландшафтных условий и характера жилой застройки. В каждой из рассматриваемых зон воздействия промышленных предприятий отбиралось по 5 проб снега. Все работы по отбору и подготовке снежных проб выполнялись с учетом методических рекомендаций [11], руководства по контролю загрязнения атмосферы [2, 14] и многолетнего практического опыта эколого-геохимических исследований на территории Западной Сибири [17]. Объектом исследования является снеготалая вода. В качестве фоновой площадки был выбран полигон «Фоновый» (станция ИОА СО РАН, с. Киреевск). Изучение содержания ртути в пробах осуществляли в учебно-научной лаборатории Международного инновационного научно-образовательного центра «Урановая геология» кафедры гео-

экологии и геохимии Томского политехнического университета. Содержание ртути в пробах определяли на атомно-абсорбционном спектрометре PA-915⁺ с помощью приставки РП-91 (метод «холодного пара»; предел обнаружения ртути - 0,005 мкг/дм³). Ионный состав проб снеготалой воды определяли в Научно-производственном центре «Вода» ТПУ комплексом методов ионной хроматографии, потенциометрии, титрометрии, фотоколориметрии (аналитики В.А.Шушарина, Е.В.Коваленко, М.Г.Камбалина).

Минерализация снеготалых вод в зонах воздействия промышленных предприятий г. Томска варьирует от 6 до 37 мг/л, в среднем составляя 17 мг/л. Минерализация континентальных атмосферных осадков в тундровых и таежных зонах районов, не испытывающих антропогенную нагрузку, составляет в среднем 10-15 мг/л [16]. Средние значения минерализации снеговых вод близки к фоновым значениям для снеговых вод вне зоны воздействия промышленных предприятий Тюменской области, которое составляет 10-30 мг/л [10], не превышает 40 мг/л, т.е. являются ультрапресными. Показатель рНснеговых вод в зонах воздействия промышленных предприятий г. Томска изменяется от 6,02 до 6,97 единиц и в среднем составляя 6,3, что говорит о слабокислой реакции.

Содержание сульфат-иона в снеговых водах изменяется от 1,1 до 3,6 мг/л, однако в большинстве пробона не превышает 2,5 мг/л. Среднее значение составило 1,97 мг/л. Сравнение с данными по содержанию сульфат-иона с данными сопредельных регионов показало весьма низкую концентрацию $SO_4^{2^-}$ на территории г. Томска. Так, на юге Средней Сибири среднее содержания сульфат-иона составляет 7,8 мг/л [13], а в снеговых водах Томской области по данным исследования Савичева (2005 г.) – 8,0 мг/л [15].

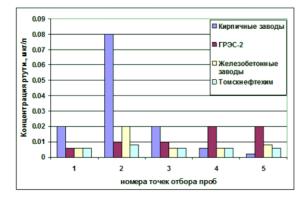
Концентрация хлорид-иона в снеговых водах варьирует от 0.17 до 7.94 мг/л, в среднем составляя 1.25 мг/л. Для Сибири в целом характерно увеличение содержания Cl^- в снеговых водах в юго-восточном направлении. На территории Тюменской области содержание Cl^- составляет 0.8-3.1 мг/л [20], в Томской области по данным [15] - 3.2 мг/л, на юге Средней Сибири значения хлорид-иона в среднем составляет 5.7 мг/л [13].

Соотношение $SO_4^{2-}/C\Gamma$ составило в среднем 2,48 мг/л, в то время как в морской воде оно равно 0,14 [5]. Для оценки степени трансформации атмосферных осадков используется коэффициент K, показывающий возрастание отношения $SO_4^{2-}/C\Gamma$ в снеговой воде к этому же эталонному отношению в морской воде. Обычно K>10 характеризует достаточно сильную трансформацию состава вод и степень их сульфатизации [1]. В зонах влияния исследованных промышленных предприятий на территории Томск-Северского промышленного узла значение K варьирует от 16,95 до 39,97, что свидетельствует о достаточно сильном техногенном поступлении соединений серы в атмосферный воздух.

Содержание соединений азота является индикатором уровня техногенной нагрузки на территорию. Концентрация иона NO³⁻в талой снеговой воде из зон воздействия промышленных предприятий г. Томска изменяется в пределах: 0,29-2,02 мг/л, значение среднего содержания составляет 1,52 мг/л. Сравнивая средние концентрации нитрат-иона в зонах влияния промышленных предприятий г. Томска с данными других исследователей можно отметить превышение над средними содержаниями для фоновых участков Тюменской области: 0,45 мг/л [9], участков месторождений п-ова Ямал: от 0,01 до 0,37 мг/л [4], Уральского региона: 0,7 мг/л [18], участков разведочного бурения и в районах размещения добывающих скважин: 1,28 и 1,24 мг/л соответственно, юга Средней Сибири: 0,098 мг/л [13], Прибайкалья: 0,7–1,6 мг/л [12], центра Восточноевропейской равнины (Верхнеокский бассейн): 1,33 мг/л [1].

Содержание железа в зонах влияния исследованных промышленных предприятий г. Томска в среднем составляет $0.26 \,\mathrm{mr/n}$, изменяясь от $0.10 \,\mathrm{do}\ 0.73 \,\mathrm{mr/n}$. Средние концентрации железа в снеговых водах таежной зоны Западной Сибири весьма разноречивы - от $0.04 \,\mathrm{mr/n}\ [18] \,\mathrm{do}\ 0.2-0.33 \,\mathrm{mr/n}\ [3]$. Влияние техногенных источников вызывает существенное увеличение содержания Fe в снеговых водах.

Концентрации ртути в растворимой фазе снегового покрова из зон воздействия промышленных предприятий г. Томска (от 0,006 до 0,082 мкг/л) в целом сопоставимы с аналогичными данными для других регионов России и мира: фоновые показатели содержания ртути в снеговых водах полярных и приполярных районов оцениваются на уровне 0,0042 мкг/л[21], 0,001-0,09 мкг/л [19], 0,025-0,16 мкг/л [20], 0,01-0,07 мкг/л [3]. На территории Тюменской области среднее содержание ртути составляет 0,036 мкг/л [9]. Наибольшее содержание ртути в талой снеговой воде (от 0,006 до 0,082 мкг/л,при средней



концентрации 0,028 мкг/л) зафиксировано в зоне воздействия кирпичных заводов, наименьшие —в зоне воздействия нефтехимического завода (от 0,006 до 0,008 мкг/л), что находится на уровне фона (0,006 мкг/л, пос. Киреевск). Выявлена достоверная закономерность увеличения концентрации ртути в снеготалой воде с возрастанием доли слабосвязанной (свободной) формы нахождения ртути в составе твердого осадка снега.

Коэффициент подвижности ртути в снеговом покрове принимает значения от -0,80 до 0,59, при среднем значении -0,02 и показывает, что в ртуть

является очень подвижным элементом, интенсивно переходящим в раствор в процессе таяния снега. Наиболее интенсивный переход ртути в раствор наблюдается в пробах из зоны воздействия железобетонных заводов (коэффициент подвижности от -0,80 до 0,02), где на долю водорастворимой формы ртути приходится от 32 до 81 % всей ртути, содержащейся в составе снега. Для снеговых проб из зоны воздействия нефтехимического завода характерны наибольшие значения коэффициента подвижности (от 0,09 до 0,36), что свидетельствует о наименее интенсивном переходе ртути в состав раствора. От 55 до 82 % ртути в снеговых пробах из зоны воздействия нефтехимического завода находится в составе твердого осадка снега. В пробах снега, отобранных на территориях из зон воздействия кирпичных заводов и теплоэлектростанции, ртуть практически в равных пропорциях распределена между твердым осадком снега (от 40 до 80 %, в среднем 56 %) и снеготалой водой (от 20 до 60 %, в среднем 44 %).

Изучение ионного состава снеготалых вод в зонах воздействия промышленных предприятий г. Томска выявило значение минерализации в пределах фоновых значений континентальных атмосферных осадков для таежных лесов. Показатель кислотности-щелочности снеготалых вод свидетельствует о нейтральной реакции. Исследование 2013 г. показало снижение в 3,2 раза содержания сульфат-иона, в 2,6 раза - хлорид-иона в г. Томске по сравнению с данными 2005 г. [15] Значение соотношение SO⁴²⁻/СГ⁻ в снеготалой воде в зонах воздействия промышленных предприятий г. Томска превышает таковое для морских осадков в 17,7 раза, что свидетельствует о достаточно сильном техногенном поступлении соединений серы в атмосферный воздух.

Исследование снеготалой воды показало, что концентрации ртути в растворимой фазе снегового покрова из зон воздействия промышленных предприятий г. Томска (от 6 до 82 нг/дм³) в целом сопоставимы с аналогичными данными для других регионов России и мира. Наиболее интенсивный переход ртути в раствор притаяние снега наблюдается в пробах из зоны воздействия железобетонных заводов, где на долю водорастворимой формы ртути приходится от 32 до 81 % всей ртути, содержащейся в составе снега. Все растворимые соединения ртути в результате активного весеннего снеготаяния попадут в поверхностные водотоки, частично испарятся, частично поступят в почвы. В результате химических, фотохимических и биохимических превращений в круговороте ртути растворимые ее формы внесут свой вклад в содержание ртути в атмосферном воздухе, почвах и биоте. Нерастворимые формы также поступят в атмо-, педо- и биосферу, однако, вовлечение их в локальный и региональный круговорот будет протекать медленнее и будет иметь отдаленный во времени отклик [8].

Работа выполнена при финансовой поддержке Гранта Президента для поддержки молодых российских ученых (МК 951.20013.5).

Литература:

- 1. Головина В.В., Еремина А.О., Головин Ю.Г., Щипко М.Л. Химический состав снега вблизи объектов топливно-энергетического комплекса // Вод.ресурсы, 1998, т. 25, № 1, с. 62–71.
- 2. ГОСТ 17.1.5.05.-85. «Охрана природы. Гидросфера. Общие требования к отбору проб поверхностных и морских вод, льда и атмосферных осадков», М., Гидрометеоиздат, 1985.
- 3. Дорожукова С.Л. Эколого-геохимические особенности нефтегазодобывающих районов Тюменской области: Автореф. дис. канд. геол.-мин. наук. М., 2004, 25 с.
- 4. Ермилов О.М. Воздействие объектов газовой промышленности на северные экосистемы и экологическая стабильность геотехнических комплексов в криолитозоне / О.М. Ермилов, Г.И. Грива, В.И. Москвин. Новосибирск, Изд-во СО РАН, 2002, 147 с.
- 5. Котляков В.М. Изотопная и геохимическая гляциология / В.М. Котляков, Φ .Г. Гордиенко. Л., Гидрометеоиздат, 1982, 282 с.
- 6. Ляпина Е.Е., Таловская А.В. Ртуть в снеговом покрове г. Томска // Контроль и реабилитация окружающей среды: Мат-лы симпоз. / под общ. Ред. М.В. Кабанова, А.А. Тихомирова. Томск: Аграф-пресс, 2008. с. 299-301.
- 7. Макаренкова И.Ю. Экологическая оценка воздействия нефтегазовой деятельности на водные объекты Среднего Приобъя: Автореф. дис. канд. геогр. наук. Ростов н/Д, 2007, 25 с.
- 8. Методические рекомендации по геохимической оценке загрязнения территории городов химическими элементами. М.: ИМГРЭ, 1982.-112 с.
- 9. Московченко Д.В., Бабушкин А.Г. Особенности формирования химического состава снеговых вод на территории Ханты-Мансийского автономного округа // Криосфера Земли, 2012, т. XVI, № 1, с. 71–81. 10. Московченко Д.В. Нефтегазодобыча и окружающая среда: эколого-геохимический анализ Тюменской области. Новосибирск, Наука, 1998, 112 с.
- 11. Назаров И.М., Фридман Ш.Д., Рене О.С. Использование сетевых снегосъемок для изучения загрязнения снежного покрова // Метеорология и гидрология, 1978, № 7, с. 74 78.
- 12. Нечаева Е.Г., Макаров С.А. Снежный покров как объект регионального мониторинга среды обитания // География и природ.ресурсы, 1996, № 2, с. 43–48.
- 13. Покатилов Ю.Г. Биогеохимия биосферы и медико-биологические проблемы (экологические проблемы химии биосферы и здоровья населения). Новосибирск, Наука, 1993, 168с.

- 14. Руководство по контролю загрязнения атмосферы. РД 52.04.186-89. М.: Госкомгидромет, 1991. 693 с.
- 15. Савичев О.Г. Условия формирования ионного стока в бассейне Средней Оби // Изв. Том. политехн. ун-та, 2005, т. 308, № 2, с. 54–58.
- 16. Селезнева Е.С., Дроздова В.М.О естественном фоне загрязнения атмосферы в составе осадков на территории СССР // Современные проблемы климатологии. Л., Гидрометеоиздат, 1966. с. 292–299.
- 17. Таловская А.В., Филимоненко Е.А., Осипова Н.А., Язиков Е.Г. Ртуть в пылеаэрозолях на территории г. Томска // Безопасность в техносфере. 2012. № 2. с.30-34.
- 18. Черняева Л.Е. Химический состав атмосферных выпадений (Урал и Уральский район) / Л.Е. Черняева, А.М. Черняев, А.К. Могиленских. Л., Гидрометеоиздат, 1978, 178 с.
- 19. AMAP, 2005. AMAP Assessment 2002: Heavy Metals in the Arctic. Arctic Monitoring and Assessment Programme (AMAP), Oslo, Norway, 265 p. (Электрон. ресурс). URL: www.amap.no
- 20. Lu J.Y., Schroeder W.H., Barrie L. et al. Magnification of atmospheric mercury deposition to polar regions in springtime: the link to tropospheric ozone depletion chemistry // Geophys. Res. Lett., 2001, vol. 28, p. 3219–3222.
- 21. Snyder-Conn E., Garbarino J.R., Hoffman G.D., Oelkerss A. Soluble trace elements and total mercury in arctic Alaskan snow // Arctic, 1997, vol. 50, No. 3, p. 201–215.

Lead and mercury in the peat cores of ridge-hollow complex in West Siberia

Veretennikova E., Lyapina E.

Institute of Monitoring of Climatic and Ecological Systems SB RAS, Tomsk, Russia E-mail: lena2701@yandex.ru, eeldv@mail.ru

his paper presents the results of the study of lead (Pb) and mercury (Hg) concentrations and pattern of distribution in the two cores of ridge-hollow complex (RHC) of taiga zone of West Siberia (56°58'N 82°36'E). One of core was formed on the ridge (Rc); the second - at hollow (Hc). The study site was located 10 km away from nearest settlement. Peat cores provided history of 5400 and 2600 years of Pb accumulations.

The local assessment shows that of Pb and Hg concentration in the peat cores is generally low comparing to other country in Europe and varies from 0.21 to 7.15 mg/kg and 12-96 μ g/kg, respectively. The Pb and Hg in both the core profile show typical pattern of distribution: concentrations increasing significantly in the top layers with maximal concentrations after then state progressively decreased to the mineral sediment. Also, the background values for Pb (0.37 \pm 0.29 and 0.39 \pm 0.26 mg/kg) and for a Hg (30 \pm 8 and 28,8 \pm 8,3 μ g/g) are similar between two cores and have good agreement to peat achieves from pre-anthropogenic times in Europe (Sweden, Spain, Germany, England and Switzerland).

The separate natural and anthropogenic Pb was selected over Ti as a conservative, reference element which is supplied by soil dust aerosols derived from rock weathering. The results show that anthropogenic source have dominated the supply of atmospheric Pb to the peat core continuously since 800 cal yr BP. Pb concentrations from that time began to increase sharply reaching maximum values that are found in the upper layers in the both cores are correspond to 100 ca yr BP. The results of our study show that Pb concentrations in RHC are generally low and therefore atmospheric deposition and terrestrial pathways do not seem to represent a major environmental hazard.

The highest rate of accumulation of Pb (0.44-0.73 mg/m²/yr) and Hg (2.26-10.08 μ g/m²/yr) corresponds to 150-26 cal. yr. BP (~ 1800-1925 yr). The maximum Pb accumulation rate is (0.69 mg/m²/yr) and Hg (8.18 μ g/m²/yr) per 100 BP (~ 1850 yr). The data obtained are significantly lower compared with peat bogs in Europe (Denmark, Ireland, Spain).

Свинец и ртуть в торфяных залежах грядовомочажинного комплекса на юге Западной Сибири

Веретенникова Е.Э., Ляпина Е.Е.

Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, Томск, Россия E-mail: lena2701@yandex.ru, eeldv@mail.ru

орфяные отложения болотных экосистем способны аккумулировать вещества, привносимые из атмосферы, поверхностных и грунтовых вод, что позволяет использовать их в качестве индикаторов загрязнения окружающей среды тяжелыми металлами не только в настоящий момент времени, но и в динамике их аккумуляции в различные временные интервалы. Среди тяжелых металлов свинец и ртуть занимают особое место, т.к. представляют интерес как с экотоксикологической точки зрения, так и с геохимической.

В работе представлены результаты по изучению содержания, распределения и накопления свинца (Pb) и ртути (Hg) в торфяных залежах (т.з.) грядово-мочажинного комплекса (ГМК), одна из которых расположена на мочажине, вторая – на гряде. Исследованный ГМК относится к Бакчарскому болотному массиву (56°58' с.ш., 82°36' в.д.), который является частью северо-восточных отрогов Васюганского болота.

Отбор образцов торфа на болоте произведен ручным геологическим буром ТБГ-1, послойно с интервалом 10 см, в сентябре 2012 года. Определение Рb выполнялось атомно-эмиссионным анализом с кварцевым спектрографом СТЭ-1 в Лаборатории минералогии и геохимии ТГУ. Определение Hg в пробах торфа осуществлялось в учебно-научной лаборатории Международного инновационного научнообразовательного центра «Урановая геология» кафедры геоэкологии и геохимии ТПУ на атомно-абсорбционном спектрометре PA-915⁺ с помощью пиролитической приставки ПИРО-915. Установление абсолютного возраста отдельных слоев было проведено с применением метода радиоуглеродного датирования и описано в работе (Веретенникова, Курьина, 2014). Полученные даты были откалиброваны при помощи программного приложения Calib 7.0html (http://calib.qub.ac.uk/calib/) в системе BP.

ПОЛУЧЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Свинец (Pb)

Концентрация Рb в исследуемых торфяных залежах варьирует от 0,21 до 6,97 мг/кг (на мочажине) и от 0,25 до 7,15 мг/кг – на гряде (рис. 1). Наиболее высокие концентрации Рb обнаружены в верхних слоях торфяных залежей: на мочажине в слое 0-110 см - 3,08±1,48 (1,31- до 6.97); на гряде – 4,03±1,66 (2,31 до 7,15). Эти значения не превышают таковые для подстилающих пород исследуемой территории (4,57 мг/кг), что может свидетельствовать о поступлении Рb с атмосферными осадками, привносимыми в результате выветривания подстилающих пород и почв региона. Концентрация Рb в торфяных залежах ГМК сопоставимы с данными, полученными ранее для т.з. Васюганского болота (Веретенникова, Головацкая, 2012), но меньше по сравнению с данными для северной и ценральной Европы (Ukonmaanaho et al., 2004; Bindler et al., 2004; Shotyk et al., 1998, 2003; Goggins et al., 2006)

Фоновые значения Pb, рассчитанные как среднее в интервале глубин 130-270 см (в т.з. на мочажине) и 60-210 см (в т.з. на гряде) составляют 0.37 ± 0.29 и 0.39 ± 0.26 мг/кг, соответственно. Эти значения близки к концентрациям, соответствующим доантропогенному периоду, полученным для торфяных болот Европы (0.10-0.78 мг/кг) (Shotyk et al., 2001; Klaminder et al., 2003; Le Roux et al., 2004, 2005; Kylander et al., 2005). Максимальные концентрации Pb (6.97 и 7.15 мг/кг)

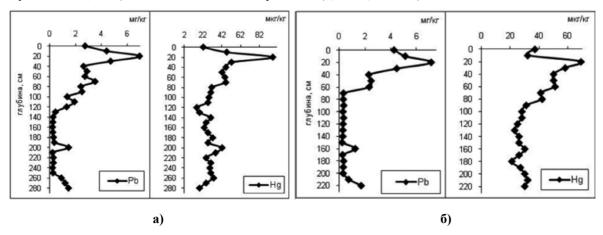


Рисунок 1. Профильное распределение Pb и Hg в торфяных залежах ГМК: a) – на мочажине, б) – на гряде.

Концентрация Рb в вертикальном профиле не зависит от физико-химических свойств т.з. (зольность, степень разложения, кислотность), уровня болотных вод и степени гумификации, что подтверждается отсутствием корреляционных связей с данными параметрами. Ботанический состав также не оказывает влияние на его концентрацию. Таким образом, Pb в т.з. является немобильным элементом и поступает в т.з. исключительно с атмосферными осадками в течение всей истории развития исследуемого болотного ландшафта.

Для того чтобы отделить Pb, привносимый в т.з. за счет природных источников (эрозия почв, выветривание горных пород) от Pb, поступающего в результате антропогенной деятельности, использовали формулу, приведенную в работе W. Shotyk (2001):

где: индекс [Pb/Ti] рассчитан для интервала глубин 130-270 см и 60-210 см в торфяных залежах на мочажине и гряде, соответственно. Среднее значение концентрации Pb (мг/кг) в интервале указанных глубин составило 0,36 и 0,39; Ti (мг/кг) – 302 и 305, соответственно. Таким образом, значение индекса [Pb/Ti] мочажина - $(0,36 \,\mu g \, g^{-1})/(302 \,\mu g \, g^{-1})=0,001$; [Pb/Ti] гряда $(0,39 \, \text{мг/кг})/(305 \, \text{мг/кг})=0,001$.

"Антропогенный" Рь вычисляли:

$$[Pb]_{anthropogenic} = [Pb]_{total} - [Pb]_{lithogenic}.$$

Результаты расчетов представлены на рис. 2 и свидетельствуют, что начало поступления «антропогенного» Рb в торфяные залежи соответствует периоду 800-750 кал.л.н. Концентрация «антропогенного» Рb в торфяных залежах изменяется от 0,60 до 6,54 мг/кг. Полученные данные хорошо согласуются с данными по умеренно климатической зоне Западной Сибири. Отмечается, что увеличение атмосферных выпадений металлов (Pb, Cu, Fe) в этом регионе происходило значительно позже (600-700 лет назад) по сравнению с территорией европейской части России, где воздействие антропогенных источников на поступление Pb отмечено в слоях верховых торфяников возрастом 1,5-2,0 тыс. лет. Предположительно процесс запыленности атмосферы на территории Западной Сибири связан с распространением земледелия, сопровождавшегося выжиганием лесов (широкое распространение земледелия началось в этом районе с приходом русского населения, около 450 лет назад) (Московченко, 2006).

Таким образом, увеличение концентрации Pb в верхних слоях торфяных залежей происходит преимущественно за счет антропогенной активности. Максимальные концентрации «антропогенного» Pb (5,89-6,54 мг/кг) в торфяных залежах обнаружены в слое 20 см, который соответствует $\sim 100 \text{ л.н.}$ BP (по калиброванной шкале).

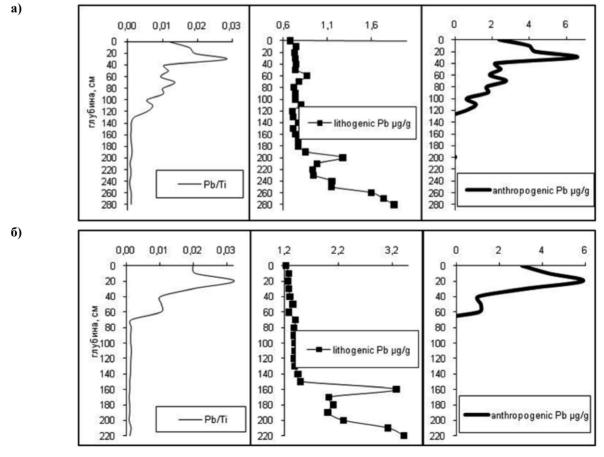


Рис. 2. Отношение Pb/Ti, расчетные концентрации Pb $_{\text{lithogenic}}$ и Pb $_{\text{anthropogenic}}$ в торфяных залежах a) — на мочажине, б) — на гряде.

Ртуть (Нд)

Характер профильного распределения Hg подобен Pb, что обусловлено общностью геохимического поведение этих элементов в процессе торфонакопления. Концентрация Hg в профиле торфяных залежей не обнаруживает связи с зольностью, pH, степенью разложения, уровнями болотных вод. Довольно высокая корреляционная связь выявлена между содержанием в профиле Hg и Mn (r=0,65 и 0,72), что наводит на мысль о влиянии окислительно-восстановительных условий на распределение элемента в профиле торфяных залежей, что отмечалось также в работе (Головацкая, Ляпина, 2009).

Наиболее высокие концентрации Hg соответствуют верхним торфяным слоям 0-110 (на мочажине) - 53,6±18,9 мкг/кг (22-96) и 0-60 см (на гряде) - 49,6±11,4 мкг/кг (32-69). Эти концентрации выше, чем в подстилающих породах (25 мкг/кг) в 2 раза, что свидетельствует о незначительной роли подстилающих пород в поступлении металлов в торфяные слои залежей ГМК. Фоновые значения, полученные для Hg в обеих торфяных залежах сопоставимы и составили 30±8 и 28,8±8,3 мкг/кг на мочажине и гряде соответственно. Как и в случае со Pb, максимальные концентрации Hg (96 — на мочажине и 69 мкг/кг — на гряде) соответствуют слою 20 см. Полученные данные соответствуют характеру распределения содержания ртути в торфяных разрезах Патагонии (Biester H. et al., 2000), Испании (Martlnez-Cortizas A et al., 1999), Норвегии (Steinnes E. et al., 2005), США (Benoit J.M. et al., 1998) и др.

Источниками увеличения поступления ртути в атмосферу могут быть как освоение новых пахотных угодий, и связанных с ними выжигание лесов и распашка земель, так и разработка в Западной Сибири месторождений полезных ископаемых (уголь, золото, серебро, медь и др.) и, как следствие, строительство металлургических заводов, образование золотодобывающих артелей и развитием транспортной речной и железнодорожной сетей (Гузаров, 2012).

Скорость аккумуляции Pb и Hg рассчитывалась по формуле, приведенной в работе (Ettler et al., 2008):

(3)
$$AR_{elem} = 10*[Hg]or[Pb]*BD*PAR(cm/roд),$$

где BD – плотность торфа (г/см³); PAR – скорость аккумуляции торфа (см/год).

Средняя скорость накопления торфа в торфяных залежах мочажины и гряды составила $1,14\pm0,65$ и $1,72\pm0,73$ мм/год, соответственно. На мочажине минимальная скорость составила 0,12 мм/год, в период 5500-3000 л.н., затем резко возросла до 1,1 мм/год. В торфяной залежи на гряде высокая скорость (2,42 мм/год) характерна на начальном этапе формирования, в период 2600-1600 л.н.; к 1500 кал. л.н. она снизилась до 0,19 мм/год, в то время как на мочажине она начала, напротив, возрастать. Примерно 250 кал. л.н. скорость торфонакопления на мочажине и гряде стала приблизительно равной и составляет 2,0 и 1,67 мм/год, соответственно.

Наиболее высокая скорость накопления Pb $(0,44-0,73 \text{ мг/m}^2/\text{год})$ и Hg $(2,26-10,08 \text{ мкг/m}^2/\text{год})$ соответствует периоду 150-26 л.н. (~1800-1925 гг). Максимальная скорость накопления Pb $(0,69 \text{ мг/m}^2/\text{год})$ и Hg $(8,18 \text{ мкг/m}^2/\text{год})$ приходится на 100 л.н. (~1850). Полученные данные значительно ниже по сравнению с торфяниками Европы (Дания, Ирландия, Испания).

Увеличение скорости накопление Рb и Hg синхронно, особенно в верхней части торфяных залежей, что свидетельствует об одновременном загрязнении атмосферы этими элементами и возможно общем источнике их поступления (сжигание угля и древесины). Следует отметить, что в торфяной залежи на гряде, картина профильного распределения элементов и их накопления сильно отличается. Высокая скорость накопления элементов обнаружена на гряде в период 2600-2100 л.н. Характер скорости накопления металлов в профиле определяется главным образом скоростью торфонакопления, которая в указанный период на гряде была максимально высокой. На мочажине увеличение скорости накопления элементов отмечается в период 3000-2600 л.н. Подобные особенности в скорости накопления металлов отмечалось и ранее (Biester et al., Pratte et al., 2013).

Влияние мегаполиса на аэрозольный состав нижней атмосферы по данным самолетного зондирования

¹Царюк В.В., ²Белан Б.Д., ²Козлов А.В., ²Симоненков Д.В., ²Толмачев Г.Н.

E-mail: tsaruk.viky@yandex.ru, simon@iao.ru

тмосферный воздух является самой важной жизнеобеспечивающей природной средой и представляет собой смесь газов и аэрозолей приземного слоя атмосферы, сложившуюся в ходе эволюции Земли, деятельности человека и находящуюся за пределами жилых, производственных и иных помещений. К природным источникам загрязнения относятся: извержения вулканов, пыльные

¹ Томский университет систем управления и радиоэлектроники, Томск, Россия

² Институт оптики атмосферы им. В.Е.Зуева СО РАН, Томск, Россия

бури, лесные пожары, пыль космического происхождения, частицы морской соли, продукты растительного, животного и микробиологического происхождения. Уровень такого загрязнения может рассматриваться в качестве фонового, который мало изменяется со временем. Помимо природных, или естественных, аэрозолей, в атмосферу проникает большое количество так называемых искусственных (промышленных или антропогенных) аэрозолей, которые зачастую наносят непоправимый ущерб растительному и животному миру, нередко представляют весьма серьезную опасность для здоровья людей, как сами по себе, так и участвуя в различных физико-химических превращениях в атмосфере.

Антропогенный вклад в аэрозольную массу атмосферы Земли оценивается в среднем величиной 12 %. При этом, почти все выбросы искусственных аэрозолей осуществляются на урбанизированных 3-4 % площади территории суши, где проживает больше половины населения планеты [1]. Конечно, многие параметры аэрозолей различного происхождения в немалой степени изучены в предшествующие десятилетия. Особенно это касается химического и микрофизического состава аэрозольных частиц, в том числе и антропогенного происхождения, но, как правило, отобранных в приземном слое атмосферы. Однако, невозможно утверждать, что имеется достаточно данных о параметрах аэрозоля во всём слое его формирования в воздушной среде над городом, то есть, по крайней мере, в пограничном слое атмосферы, который служит аккумулятором и интегратором как приземных, так и высокорасположенных источников. Вероятно, в этом слое больше всего информации имеется лишь о химическом составе аэрозолей [2, 3] и, отчасти, о морфологической структуре частиц, причем, как правило, довольно крупных [3, 4]. Поэтому очевидно, что довольно важно и актуально знать современные масштабы влияния крупных городов на формирование аэрозольных полей атмосферы регионов их расположения; отслеживать не только пространственную, но и временную, в том числе сезонную динамику концентрации аэрозоля, особенно, самой долгоживущей, а потому и наиболее влиятельной на биоорганизмы, субмикронной его фракции. Для измерения концентраций присутствующего в атмосферном воздухе аэрозоля уже давно применяются фотоэлектрические счетчики [1], которые позволяют без специальной калибровки одновременно определить счетную концентрацию и размеры частиц в интервале 0,3-20 мкм и более.

В 2011 году ИОА СО РАН совместно с СибНИА им. С.А. Чаплыгина (г. Новосибирск) был создан самолет-лаборатория Ту-134 «Оптик», дающий возможность исследовать состав и параметры атмосферы во всем достигаемом пространственном диапазоне установленными на его борту средствами измерения [5]. Комплекс оборудования включает в себя контактные и дистанционные приборы и датчики, позволяющие измерять газовый и аэрозольный состав атмосферы на разных высотах, при одновременном контроле метеорологических величин и навигационных параметров. Для измерения субмикронного и крупнодисперсного аэрозоля использовался лазерный спектрометр аэрозоля фирмы GRIMM, модель 1.109, диапазон измеряемых частиц: 0,25 – 32 мкм, с близкой к логнормальной разбивкой на 31 канал; погрешность 5%; продолжительность одного измерения (частота) – 6 сек.

Зондирование атмосферы на самолете-лаборатории Ту-134 «Оптик» проводится, начиная с марта 2011 года, с почти ежемесячной периодичностью в тропосферном слое высотой до 7 км над Караканским бором, расположенном юго-западнее Новосибирска на границе с Алтайским краем (условно фоновый район). В фоновом районе зондирование производилось на 8 высотных эшелонах: 7000, 5500, 4000, 3000, 2000, 1500, 1000 и 500 м. Взлёт и посадка выполнялись на северо-восточной окраине Новосибирска, то есть набор высоты сразу после взлёта и снижение перед посадкой осуществлялось над мегаполисом или в непосредственной близости от него. Учитывая, что в самом начале полета выход приборов на стационарный режим измерений не всегда достигался над городом, мы использовали обратный полетный трэк для выборки городских измерений, тем более, что возвращение в город осуществлялось, как правило, на высотных эшелонах 2100-1800 м, позволявшее получать данные по дисперсному составу аэрозоля не только в фоновой, но и в городской атмосфере, по крайней мере, в нижнем слое тропосферы (< 2км), характеризуемом в последнем случае как пограничный слой городской атмосферы.

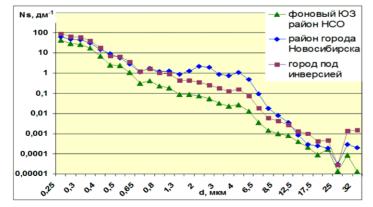


Рис. 1. Средние счётные концентрации аэрозоля с размером частиц больше 0,25 мкм, построенные по измерениям над фоновым и городским районами в 2011-2013 гг.

По полученным за 3 года данным дисперсного состава аэрозоля от 0,25 мкм были построены средние кривые счётной концентрации аэрозоля для нижней тропосферы (2000-500 м) фонового района юго-запада Новосибирской области и на тех же высотах и ниже, для района города Новосибирска, а также для нередко наблюдаемой при снижении над городом подинверсионной зоне отдельно, что представлено на рис. 1.

График (рис. 1) показывает, что в районе города Новосибирска содержание аэрозольных частиц по всему измеряемому лазерным спектрометром аэрозоля GRIMM 1.109 диапазону, превышает содержание частиц в фоновом районе. Такая закономерность связанна с тем, что большой вклад в район города Новосибирска вносят аэрозольные частицы искусственного (промышленного) происхождения. Превышение содержания частиц с размером в диапазоне от 2 до 6,5 мкм над городом по сравнению с фоновым районом достигает полутора порядка величины. Это показывает, что в районе мегаполиса идут активные процессы укрупнения частиц из субмикронной области спектра, вероятно, за счёт всевозможных процессов взаимодействия, ввиду высокой концентрации выбрасываемых городом мелких аэрозолей, газов-предшественников и паров аэрозолеобразующих соединений.

Однако, если рассматривать осреднения распределений счётной концентрации в зависимости от времени года, то окажется, что рис. 1 формируется измерениями за тёплый период (с апрель по октябрь). Средние кривые счётной концентраций аэрозоля для фонового района и района города Новосибирска, а также в подинверсионном слое в городе или вблизи него отдельно за холодный период – с ноября по март – дадут совсем другую картину: рис. 2.

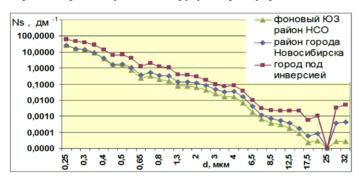


Рис.2. Средние счётные концентрации аэрозоля с размером частиц больше 0,25 мкм, построенные по измерениям только за холодные месяцы 2011-2013 гг.

Рисунок 2 показывает, что в холодный период в районе города Новосибирска содержание аэрозольных частиц по всему измеряемому диапазону незначительно превышает содержание частиц в фоновом районе. При этом в холодный период отмечается явное накопление частиц аэрозоля в подинверсионном слое атмосферы мегаполиса и его пригородов от полупорядка величины в микродисперсной области до 2-х порядков величины для грубодисперсной фракции, по сравнению с фоновым районом. Причем диффузия примесей через инверсионный слой городской шапки весьма незначительна: почти отсутствует для самых мелких частиц, и постепенно растет к области крупных частиц.

Таким образом, рассмотрение распределения счетной концентрации аэрозоля в районе крупного мегаполиса, каковым является г.Новосибирск, обнаруживает существенно различающийся характер распространения аэрозоля в ПСА в непосредственной близости от города и в подинверсионном слое в городе или вблизи него. Большее развитие инверсий в холодный период года способствует накоплению антропогенного аэрозоля над городом.

Работа выполнена при поддержке Фонда глобальных исследований окружающей среды для Национальных институтов Министерства окружающей среды Японии, программы Президиума РАН №4, программы ОНЗ РАН №5, междисциплинарных интеграционных проектов СО РАН №35, №70 и №131, грантов РФФИ № 14-05-00526, №14-05-00590.

Литература:

- 1. Аэрозоль и климат. Под ред. К.Я.Кондратьева. Л.: Гидрометеоиздат, 1991. 544 с.
- 2. Arshinov M.Yu., Belan B.D., Simonenkov D.V., Tolmachev G.N. Results of direct measurements of aerosol composition in emissions from several enterprises in Russia and Kazakhstan. Proceedings of SPIE. N 3108. 1997. P.89-97.
- 3. Физика и химия атмосферных аэрозолей. // Проблемы физики атмосферы. Вып. 20. СПб.: Изд-во СПбГУ, 1997. 296 с.
- 4. Ивлев Л.С., Довгалюк Ю.А. Физика атмосферных аэрозольных систем. –СПб.: Изд-во НИИХ СПбГУ, 2000.– 258 с.
- 5. Анохин Г.Г., Антохин П.Н., Аршинов М.Ю., Барсук В.Е., Белан Б.Д., Белан С.Б., Давыдов Д.К., Ивлев Г.А., Козлов А.В., Козлов В.С., Морозов М.В., Панченко М.В., Пеннер И.Э., Пестунов Д.А., Сиков Г.П., Симоненков Д.В., Синицын Д.С., Толмачев Г.Н., Филиппов Д.В., Фофонов А.В., Чернов Д.Г., Шаманаев В.С., Шмаргунов В.П. Самолёт-лаборатория Ту-134 «ОПТИК». Оптика атмосферы и океана. 2011. Т. 24. N 9. Cc. 805-816.

Urban heat islands of the Russian Federation: the main characteristics and problems of studying

Konstantinov P.I., Kukanova A.E.

Moscow State University, Moscow, Russia E-mail: kostadini@mail.ru

The main idea of this study is evaluate spatial and temporal dynamics of Urban Heat Island (UHI) phenomenon for biggest Russian cities. In current investigation data created by regular state meteorological observation ROSHYDROMET network was used. For every city we selected selected couple of stations: one located into city in high and midrise buildings area (extensive lowrise and high-energy industrial LCZ classification) and second one located in rural site (sparsely built or open-set and lightweight lowrise according LCZ classification). Also couples of stations must be close by distance (less than 100 km) and altitude. For selection operation was constructed spatial database in ESRI ArcGIS Desktop environmental.

Advantage investigation UHI of Russian city is diversity of climate condition. Selected cities locate within territory from 40N to 70N latitude and from 20E to 160E. That fact allows research UHI phenomenon in space term. Were detected intensity UHI patterns depends on geographical location of the city. For 16 cities were obtained numerical evaluations for UHI climate dynamics, UHI dependence of synoptic situations and total UHI climatology on monthly and daily averages.

Городские острова тепла Российской Федерации: основные характеристики и проблемы изучения

Константинов П.И., Куканова Е.А.

Московский государственный университет им. М.В.Ломоносова, Москва, Россия E-mail: kostadini@mail.ru

астоящее исследование посвящено изучению пространственно-временной изменчивости островов тепла российских городов (Urban Heat Islands (UHI) – климатических феноменов, заключающихся в относительном превышении приземной температуры воздуха в населенных пунктах по сравнению с фоновыми условиями) в начале XXI века. Попутно обсуждаются методологические проблемы подобных исследований, связанные с недостатком фактических метеорологических данных и пути их решения.

Очевидно, что в идеале для решения данной задачи необходимо рассмотреть температурные ряды наблюдений как внутри городской застройки, так и вне ее на небольшом удалении; провести детальное сравнение температурных полей, вычислить аномалии и изучить их динамику. При неограниченных возможностях наблюдений за температурой, исследование стоит проводить, опираясь как минимум на три «городские» метеорологические станции и четыре «фоновые» [1]. Это позволит наилучшим способом, с микроклиматической точки зрения [1] изучить пространственную структуру явления UHI. Однако на данный момент не существует подобных условий для какого-либо города России кроме Москвы.

В данной работе была предпринята попытка исследовать внутригодовую динамику UHI и частоту экстремальных значений этого параметра путем анализа данных пар станций (городская – фоновая), подвергнутых строгому методу отбора, включающему следующие критерии:

- Известно точное положение городской станции;
- Городская станция находится максимально близко к центру города и обязательно внутри городской застройки;
- Фоновая станция находится в застройке не плотнее и высотнее, чем дачная/сельская застройка (отдельно стоящие невысокие дома, разделенные участками естественного ландшафта)
- Выбранная пара станций находится на небольшом удалении друг от друга (не более 100 километров, желательно не более 50 километров);
 - Абсолютные высоты обеих станций максимально совпадают;
 - Обе выделенные станции, находятся в схожих ландшафтных условиях
 - Выбранные станции являются сетевыми.

വ

Однако, неутешительная статистика была получена для крупнейших 100 городов России с населением более 100 000 постоянных жителей. Для 55 из них не было найдено городской станции: станция либо полностью отсутствовала, либо находилась на окраине города вне городской застройки. Еще для 11 городов оказалось невозможным подобрать репрезентативную пару станций, отвечающую установленным условиям: либо станции находились на значительно разных высотах, либо в различных ландшафтах, либо на удалении друг от друга более 100 километров. Еще для 13 городов оказалось невозможным получить непосредственно данные измерений. Также 5 городов были удалены из выборки, так как за выделенный для исследований период времени 2000 — 2012 года доступные данные измерений составили ряд менее чем в 10 лет (подробнее Рис.1).

В итоге для проведения исследований были выбраны следующие города: Москва, Санкт-Петербург, Екатеринбург, Воронеж, Краснодар, Иркутск, Томск, Киров, Курск, Улан-Удэ, Архангельск, Якутск, Северодвинск, Петропавловск-Камчатский, Южно-Сахалинск и Елец.

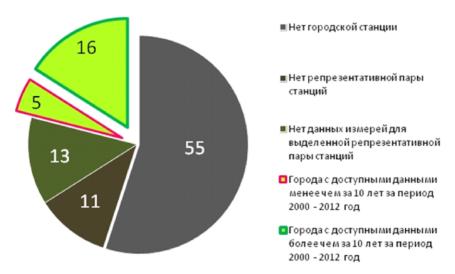


Рис. 1 Пригодность данных крупнейших 100 городов России для проведения исследования

Изучение городского острова тепла в данной работе было комплексным. Был найден типичный суточный ход для каждого из городов и выявлены закономерности его сезонной динамики. Были рассмотрены средние значения острова тепла за год, и их распределение по месяцам, изучена их связь с характеристиками города. Отдельное внимание было уделено случаям наиболее интенсивного UHI (более 5 градусов). Экстремальные случаи также рассматривались в различных преломлениях: их суточное распределение, сезонная динамика, многолетние тренды. Автором работы были становлены наиболее типичные синоптические ситуации, при которых наблюдаются наиболее значительные разности температур между городом и пригородами. Также в данной работе были рассмотрены долгопериодные тренды (1966-2012) среднегодовых значений UHI для четырех городов: Москва, Санкт-Петербург, Екатеринбург, Курск. Была проведена приблизительная оценка общего вклада всех городов ЕТР в региональное и локальное потепление климата. Получены следующие результаты:

Главным результатов явилась типизация явления UHI для различных городов Российской Федерации, в рамках которой выделены подтипы явления более характерные для прибрежных и внутриконтинентальных городов. В ходе нее было обнаружено, что формирование городского острова тепла у прибрежных городов сочетается с (а иногда и подавляется) постоянным влиянием морской подстилающей поверхности, что приводит к особому виду графиков как суточного хода так и сезонной динамики. Степень влияния зависит от взаимного расположения городской и фоновой станций относительно моря.

Кроме того, было выделено два типичных вида суточного хода для континентальных городов: с максимумом в ночные часы и минимумом в дневные, и максимумом в рассветные часы и минимумом в вечерние. Вид суточного хода для того или иного города зависит от скорости процесса ночного выхолаживания, что является прямым следствием параметров городской застройки. Интересно отметить, что связь между величиной среднегодового значения интенсивности городского острова тепла и количеством постоянного населения города для России надежным образом не была обнаружена.

Определенный наиболее сильный по итогам осреднения за 2000-2012 года UHI отмечается в Москве и составляет 1,79 С, для остальных городов колеблется от -0,87 С до 1,3 С. Общее количество экстремально сильных UHI зависит не только от величины города, но и от повторяемости синоптической ситуации, благоприятствующей его развитию. За период 2000-2012гг значимых тенденций к увеличению кол-ва случаев экстремальной интенсивности UHI не обнаруживается.

Для всех рассмотренных городов (кроме Петропавловска-Камчатского) случаи экстремальных значений городского острова тепла наблюдаются при антициклональном поле давления, чаще всего в центре антициклона и составляют до 13-15 градусов. Был выявлен слабоположительный тренд среднегодовых значений UHI для всех четырех из рассмотренных городов, однако особенности данных изменений для каждого города свои (см рис.2):

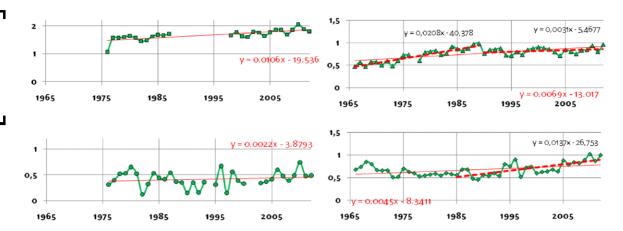


Рис.2 Изменение среднегодовой интенсивности городского острова тепла для Москвы, Санкт-Петербурга, Екатеринбурга и Курска (сверху вниз) за период 1965-2012.

- для Москвы за последние 37 лет рост UHI составил 0,3 C,
- для Санкт-Петербурга за тот же период 0,1 С
- для Екатеринбурга 0,3 С за период с 1966 по 2012 год, причем в последние 20 темпы роста резко замедлились, а в период с 1966 по 1990 тренд составлял 0,50С
- для Курска $0.2~\mathrm{C}$ за период с $1966~\mathrm{no}~2012$, причем в последние $30~\mathrm{лет}$ темпы роста, наоборот, увеличились.

Также был вычислен дополнительный вклад в повышение температуры, вносимый UHI городов ETP на всей ETP, который составил 0.00418 С. Рассчитанный вклад Москвы на региональном уровне (при расчете на территорию Московской Области) составляет 0.2 С. Работа выполнена при поддержке гранта Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых — кандидатов наук МК-1497.2013.5.

Исследование выполнено при финансовой поддержке именного гранта Ученого Совета географического факультета МГУ имени М.В.Ломоносова для молодых сотрудников на 2012-2014 гг.

Литература:

1. T.R. Oke. Boundary layer climates. London: Routledge; 1987. 464 pp

СЕКЦИЯ 6

Инструментальная и информационно-вычислительная инфраструктура региональных исследований окружающей среды

Председатели В.А. Крутиков и М.В. Кабанов

SESSION 6

Observational and ICT infrastructure support of regional scale environmental studies

Organizers
Vladimir Krutikov and Michael Kabanov

New methods in the analysis of geophysical data

Krutikov V.A., Volkov Yu.V., Kuskov A.I., Tartakovsky V.A.

Institute of Monitoring of Climatic and Ecological Systems SB RAS, Tomsk, Russia E-mail: post@imces.ru

It hardly had in mind complex natural systems, when deriving the classical equations of mathematical physics. Perhaps, for this reason there are problems in modelling of climate processes. Obviously, it is impossible any new knowledge about climate to get and stay within the classical ideas. In this regard it is important to revert to the instrumental measurements. It is necessary to install the new attributes of objects, to formulate concepts, patterns of functioning, and the model - it is at the final stage.

In this paper, the study targeted the temperature fields in the atmospheric boundary layer. This is due to the fact that the temperature can be regarded as the primary climate characteristics. This is confirmed by its daily and annual course associated with the motion of the solar system. As a result, the temperature has the form of periodic (quasi periodic) modulated oscillation. Data sets with average monthly temperatures from 818 weather stations of the Northern Hemisphere for 56 years from 1955 to 2010 were taken on the site http://www.metoffice.gov.uk. Series of mean monthly values of the Wolf numbers for the same time interval is taken on the site of the Pulkovo Observatory.

The specific objectives of this study are the discovery in data series of spatial-temporal structures, revealing their properties and relationships. To solve such problems methods of multivariate statistics are now widely used. However, formal approaches limit the development. Therefore, we have developed approaches that use physical principles and rules of selection, based on the experience of meteorological analysis.

- (i) The method of structure extraction is proposed; it based on cluster analysis. It has allowed to discovery sources, which form the climate structures throughout Northern Eurasia.
- (ii) First to study climate processes the theory of the analytical signal is applied. The phase of temperature fluctuations during the year was calculated, which ceteris paribus is the most low-frequency characteristic of fluctuations. A new iterative algorithm for separating climatic zones, based on phasing temperature series with a typical phase.
- (iii) The new idea is that the external forcing, that initiates the processes of different nature, is

manifested in a similarity of their essential features. It is defined the common signal, in which the essential features are integrated, the original series are decomposed into two components, which are differed by coincidence or non coincidence of the essential features. It was found that the components of mean temperature form the areas with positive or negative temperatures. In the same areas, delimited by zero-isotherm, the respective components of the Wolf-number series are located. It is found that the coefficient of synchronicity in the basins of the Siberian rivers characterizes the transition from the heating stage to the stage of heat radiation of the water.

Новые подходы в анализе геофизических данных

Крутиков В.А., Волков Ю.В., Кусков А.И., Тартаковский В.А.

Институт мониторинга климатических и экологических систем CO PAH, Томск, Россия E-mail: post@imces.ru

нализ динамики сложных природных систем, к которым несомненно относится исследование климатических процессов, связано с необходимостью учёта нелинейного взаимодействия многих геофизических факторов, имеющих существенно различные как механизмы воздействия на климатическую систему, так и пространственно-временные масштабы этого воздействия. В том числе и по этой причине существуют проблемы при моделировании климатических процессов. В этой связи актуальным является целевое обращение к данным инструментальных измерений с попыткой установления новых признаков и закономерностей функционирования климатической системы, которые бы в дальнейшем могли быть адекватно учтены и использованы при численном моделировании.

В данной работе объектом исследования были температурные поля в приземном слое атмосферы. Это связано с тем, что температура в наибольшей степени может расцениваться как первичная климатическая характеристика. Подтверждением этого является ее суточный и годовой ход, связанный с устройством, свойствами и параметрами солнечной системы. В результате температура имеет вид периодического (квазипериодического) модулированного колебания. Ряды среднемесячных температур с 818 метеостанций Северного полушария Земли за 56 лет с 1955 по 2010 были взяты на сайте http://www.metoffice.gov.uk. Ряд среднемесячных значений чисел Вольфа за этот же интервал времени взят на сайте Пулковской обсерватории.

Конкретными целями исследования является обнаружение в рядах данных устойчивых пространственно-временных структур, выявление их свойств и взаимосвязей. Для решения подобных задач в настоящее время широко используются методы многомерной статистики. Однако формальные подходы ограничивают их применимость и интерпретацию полученных результатов. Поэтому нами были разработаны подходы, в которых важную роль играют физические принципы и правила отбора, основанные на опыте метеорологического анализа.

- (i) Предложен метод выделения структур, на основе кластерного анализа. Он позволил выделить источники формирования климатических структур на территории Северной Евразии.
- (ii) Впервые для исследования климатических процессов применена теория аналитического сигнала. Вычислена фаза температурных колебаний в годовом ходе, которая при прочих равных условиях является наиболее низкочастотной характеристикой колебания. Разработан новый итерационный алгоритм выделения климатических зон, на основе фазировки температурных рядов с некоторой типовой фазой.
- (iii) Новая идея состоит в том, что внешнее вынуждающее воздействие, инициирующее процессы различной природы, проявляется в сходстве их существенных признаков. Даны определения общих сигналов, в которых интегрированы существенные признаки, введены составляющие исходных рядов, отличающиеся совпадением и несовпадением существенных признаков. Обнаружено, что эти составляющие температуры в среднем формируют зоны положительных и отрицательных температур. В эти же зоны, разграниченные нулевой изотермой, попадают средние значения аналогичных составляющих ряда чисел Вольфа. Установлено, что поле коэффициента синхронности в бассейнах Сибирских рек характеризует переход от стадии прогрева к стадии излучения тепла водными массами.
- (i) Разработанный метод выделения структур (MBC) основан на предположении о том, что любая система обладает структурой, и эта структура должна проявляться в данных измерений, проводимых над этой системой. Более того, если структура воспроизводится, то это уже закономерность, которая требует создания гипотез для своего объяснения. Подход, основанный на выявления структур, может выделять «естественные» структуры и структуры, заданные заранее с помощью определенных правил. Под «естественными» структурами понимается совокупность элементов, связанных между собой сильнее, чем с другими элементами. Данный подход относится к классу кластерных методов, т.е., является процедурой,

9

позволяющей либо провести разложение данных на структуры, либо обнаружить в них заранее заданные структуры. Структуры, если они существуют, отражают совокупное проявление связей между переменными системы, которые не всегда очевидны, и по этой причине часто являются скрытыми.

Алгоритм выделения структур, реализующий МВС, может быть описан на языке теории графов. Соотнесем с каждым объектом вершину x_i некоторого графа G, а ребру (x_i, x_i) связывающему вершины x_i и x_i в качестве стоимости припишем величину, равную расстоянию D_{ij} между соответствующими объектами в пространстве Х. Если теперь последовательно удалять из графа ребра с большими значениями $D_{i,i}$, то, начиная с некоторого $D_F = D_{\max}$, исходный граф станет несвязным. Дальнейшее уменьшение порога D_F приводит к увеличению числа компонент связности. Каждый такой k-й подграф можно охарактеризовать двумя пороговыми значениями: D : D^k_{\max} — значение порога, при котором этот подграф отделяется от остального графа; и D^{k}_{\min} – значение порога, при котором из этого подграфа выходит одна вершина или сразу несколько вершин. Таким образом, величина D^k_{\min} в какой-то степени определяет степень компактности k-го подграфа; чем меньше эта величина, тем сильнее связь между всеми элементами данного кластера. D_{\max}^k для k-го кластера показывает, насколько он связан с остальной частью графа, а максимальная величина этого параметра $D_{\max} = \max(D^k), k = 1, N_d$, т.е. значение порога, при котором из графа выделяется первый подграф, характеризует степень связности всего графа. По разности η $=D_{\max}^{k}-D_{\min}^{k}$ можно судить о степени изолированности этой структуры от остальной части графа. При вычислении расстояния D_{ij} между объектами i и j обычно используют метрику Евклида, Хемминга или Махаланобиса. Исследования, проведенные автором, во всех случаях давали практически одинаковые разбиения с использованием метрик Евклида и Хемминга.

Разработанный подход к исследованию периодических и непериодических геофизических полей, состоящий из разложения временных рядов на составляющие (тренд, сезонная и аномалии) и последующей кластеризации каждой из составляющих, дает возможность получить разнообразную информацию о системе в виде: набора параметров, характеризующих результаты разложения, и параметров, связанных с описанием структуры системы. Такая информация вместе с эмпирическими функциональными зависимостями между параметрами может рассматриваться в качестве экспериментальных данных о системе. Кроме того, получаемые закономерности могут служить основой для создания гипотез и моделей о факторах, влияющих на исследуемую величину.

(ii) Метод на основе аналитического сигнала реализует формальную классификацию климата. Температурный сигнал рассматривается в виде колебательного процесса. Оригинальность подхода заключается в том, что в основу группировки климатических параметров положена такая характеристика температуры, как фаза. Фазовая характеристика более устойчивая характеристика колебательного процесса, чем амплитуда и, конечно, чем сами исходные данные рядов измерений. Кроме того, из фазы довольно просто убирается годовой ход, что позволяет выявлять региональные особенности климатических структур.

В силу устройства солнечной системы, смены времен года, температурные ряды являются периодическими (квазипериодическими) колебаниями. Характерный период равен одному году для стабильного климата, а нестабильность может проявляться в изменениях этого годичного периода и в возникновении квазипериода. Кроме того, при численном анализе возникает период равный интервалу наблюдений. В данной работе в расчет принимается только годичный период и период, равный длине интервала, на котором определен исследуемый ряд.

Колебание может быть охарактеризовано двумя составляющими: огибающей (амплитудой) и фазой. Аналитический сигнал (АС), введенный в 1946 г. Д. Габором, позволяет непротиворечиво и однозначным образом определить амплитуду, фазу и частоту. Аналитический сигнал W(x) является комплексной функцией, которая представляет исходное действительное колебание U(x) как естественное обобщение представления, используемого для гармонических колебаний:

$$W(x) = U(x) + iV(x), V(x) = \frac{1}{\pi} v.p. \int_{-\infty}^{\infty} \frac{U(s)}{x - s} ds$$
.

Мнимая составляющая аналитического сигнала – V(x) является Гильберт-трансформантой его действительной части U(x). Введение AC W(x) позволяет определить амплитуду и фазу известным способом:

$$a(x) = \sqrt{U^2(x) + V^2(x)}, \quad \phi(x) = \operatorname{arctg} \frac{V(x)}{U(x)}$$

На основе теории АС для рядов среднемесячных температур за 56 лет, измеренных на 332 метеостанциях Евразии, рассчитаны фазы как главные значения функции в пределах годичного периода.

Для каждого ряда температур получена непрерывная функция фазы на всем интервале наблюдения путем увеличения главных значений фазы последующего года на максимальное значение предыдущего. В годовом ходе фазы преобладает линейная составляющая с одинаковым наклоном для любого года, но с разными начальными и конечными значениями. Вычитая из функций фаз соответствующие линейные функции и центрируя остатки, получаем среднемесячные фазовые флуктуации $\varphi_m: m \in [1, M]$, где M

есть число метеостанций. Заметим, что при прочих равных условиях эти функции будут наиболее низкочастотными, что полезно для численного анализа. Учитывая, что каждая полученная функция имеет географическую привязку, применим их для классификации температурного поля на всей территории.

С целью группировки и оценки пространственного распределения разработан алгоритм выделения климатических групп на основе анализа полученного набора фазовых функций. В соответствии с алгоритмом для набора $\{\varphi_m\}$ рассчитывается корреляционная матрица $C_{m,n}: m \in [1, M], n \in [1, M]$. Затем формируют группы метеостанций, данные которых имеют парные коэффициенты корреляции с данными других метеостанций выше заданного порога r. Для каждой группы определяется своя типовая фаза $_i$ Ф (i — номер итерации) как среднее арифметическое фаз попавших в группу. Для сгруппированных станций исходные фазовые функции заменяются на типовые. Далее запускается итерационный процесс по описанному алгоритму, в котором группировка происходит до тех пор пока изменяются типовые фазы. Эксперимент показал сходимость итерационного процесса, для анализируемых данных оказалось достаточным 15 итераций.

В результате итераций алгоритма группировки с заданным коэффициентом взаимной корреляции $r \in [0.8; 1]$ выделены девять типовых фаз, характеризующих климатические процессы, отразившиеся в изменениях температуры. Таким образом, исходное 332-мерное пространство температурных рядов сократилось до 9-мерного пространства типовых фаз, которые характеризуют климатические особенности зон, где расположены метеостанции и где изменения температуры происходят синхронно.

(iii) На основе выделения существенных признаков реализуется декомпозиция геофизических рядов. Основная задача подхода состоит в том, чтобы, не делая конкретных предположений о характере процессов различной природы на разных уровнях, отыскать элементы согласованности между рядами данных. Реализуется подход на примере ряда Вольфа и рядов температуры, полученных на метеостанциях, находящихся в Европе, России и на прилегающих территориях.

Солнце основной источник и регулятор внешнего воздействия на процессы, формирующие климат на Земле. Это вынуждающее воздействие имеет сложную структуру. Принимая во внимание физическую предпосылку, состоящую в том, что вынуждающее воздействие, по своей природе, должно проявляться в некотором априорном сходстве элементарных процессов, вызванных этим воздействием. Сходство определим совпадением существенных признаков, которые надо установить. Тогда можно ввести и выделить составляющие с совпадающими существенными признаками и составляющие с несовпадающими признаками. Меру синхронности составляющих оценим коэффициентом корреляции. Будем решать задачу декомпозиции рядов путем их сортировки в спектральной области.

Сходство рядов, связанное с их происхождением, существенно уменьшится, если для различных рядов и одинаковых частот коэффициенты Фурье будут иметь разные знаки. Причем, чем больший вклад вносит базисная функции в разложение, тем больше будет нарушение требуемого сходства. Таким образом, знак коэффициентов Фурье является существенным признаком.

Впервые обозначенный подход был применён для выделения из выборочных рядов общего сигнала, в котором в наибольшей степени выражена согласованность или синхронность со всеми другими рядами. Был разработан алгоритм «совместной фильтрации» и, как вариант, - алгоритм «мажорирующей фильтрации», которые предназначены для вычисления общих сигналов.

Для ряда, характеризующего солнечное влияние, и для каждого из рядов, связанного с климатическими процессами, вводятся составляющие с совпадающими существенными признаками и составляющие с несовпадающими признаками. Декомпозиция исходных рядов на такие составляющие производится алгоритмом «попарной декомпозиции». Этот алгоритм предполагает наличие выделенного ряда, в данном случае ряда чисел Вольфа, характеризующего солнечную активность. Предложенная формальная теория соответствует физике климатообразующих процессов, что подтверждается совпадением сезонного температурного цикла с изменением зон, формируемых введенными составляющими.

Литература:

- 1. Тартаковский В.А., Кусков А. И. О признаках согласованности природно-климатических процессов. Оптика атмосферы и океана. 2011. Т.24, №1, 35-39.
- 2. Крутиков В. А., Кусков А. И., Иванова Э. В., Тартаковский В. А. О связности региональных и глобальных полей температуры над азиатской территорией России. Оптика атмосферы и океана. 2012. Т.25, №2, 117-121.
- 3. Крутиков В.А., Тартаковский В.А., Кусков А.И., Иванова Э.В. Основные статистические характеристики поля температуры в приземном слое атмосферы над территориями России и сопредельных государств. Оптика атмосферы и океана. 2013, Т.26, №2, 108-112.
- 4. Тартаковский В.А., Кусков А.И Декомпозиция наблюдаемых рядов температуры и чисел Вольфа. Свойства средних величин. Оптика атмосферы и океана. 2013, Т.26, №5, 414-421.
- 5. Крутиков В.А., Катаев С.Г., Тартаковский В.А., Кусков А.И., Иванова Э.В Метод выделения структур как способ увеличения связности региональных и глобальных полей температуры. Оптика атмосферы и океана. 2014, Т.27, №3, 224-231.

Classification of species and age composition of forest stands from hyperspectral airborne remote sensing data

¹Dmitriev E.V., ²Kozoderov V.V., ³Sokolov A.A.

- ¹ Institute of Numerical Mathematics RAS, Moscow, Russia
- ² Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia
- ³ Laboratoire de PhysicoChimie de l'Atmosphère, Université du Littoral Côte d'Opale, Dunkerque, France E-mail: yegor@inm.ras.ru

The problem of recognition of species and ages of forest stands from hyperspectral images in the visible and near-infrared spectral range is considered. The classification algorithms used are based on the Bayesian decision rule. The feature space is constructed by employing spectral and texture characteristics of recognized objects. Approximation of probability density functions of considered classes is based on the Gaussian mixture model. At that, the dependence of the spectral reflectance of the forest canopy on the portion of the direct solar radiation in the total illumination is taken into account. The method of the selection of the most informative features providing the stable solution of the classification problem with the given accuracy is proposed. The training of classifiers is based on the data obtained during airborne measurement campaign on the territory of Tver forestry with the use of instruments produced by NPO Lepton. The local forest inventory data are used for the validation of recognition results.

The work was supported by Russian Foundation for Basic Research (projects N 14-05-00598, 13-01-00185 and 14-07-00141).

Классификация породного и возрастного состава лесной растительности на основе данных гиперспектрального аэрозондирования

- ¹Дмитриев Е.В., ²Козодеров В.В., ³Соколов А.А.
- 1 Институт вычислительной математики РАН, Москва, Россия
- ² Московский государственный университет им. М.В.Ломоносова, Москва, Россия
- ³ Лаборатория физики и химии атмосферы Университета Литтораль, Франция E-mail: yegor@inm.ras.ru

ассматривается задача распознавания породного и возрастного состава лесной растительности по гиперспектральным изображениям в видимом и ближнем инфракрасном диапазоне. Основой применяемых алгоритмов классификации является Байесовское решающее правило. Для построения признакового пространства используются спектральные и текстурные характеристики распознаваемых объектов. Аппроксимация плотностей распределений признаков распознаваемых классов производится на основе модели гауссовых смесей. При этом принимается во внимание зависимость спектральной отражательной способности лесного полога от степени освещения прямым солнечным излучением. Предлагается методика выделения наиболее информативных признаков обеспечивающих устойчивое решение задачи распознавания с заданной точностью. Для обучения классификаторов используются данные, полученые в ходе кампаний самолетных измерений на территории Тверского лесхоза с использованием аппаратуры НПО Лептон. Валидация результатов проводится на основе имеющихся данных лесотаксации.

Данные дистанционного аэрокосмического зондирования активно используются для классификации и определения параметров древесной лесной растительности для самых различных территорий. Наибольшее количество приложений относится к обработке мультиспектральных изображений аппаратуры низкого и среднего пространственного разрешения (MODIS, ASTER и ETM+). Значительная часть исследований идет в направлении усовершенствований "вегетационного индекса нормализованной разности" (Normalized Difference Vegetation Index/NDVI). Разрабатываются новые индексы, призванные компенсировать воздействие почвенного покрова (Bannari et al., 1995; Rondeaux et al., 1996) с учетом влияния атмосферы (Karnieli et al., 2001). Многие авторы пытаются использовать спектральные индексы для изучения фотохимических процессов, которые ассоциируются с фотосинтетической активностью и эффективностью использования света для оценки содержания пигментов в листьях растений (Кіт et al., 1994). Однако, несмотря на все усилия, возможности данной концепции имеют сущест-

венные ограничения. Вегетационные индексы не являются однозначной мерой содержания пигментов и далеко не всегда чувствительны к параметрам, описывающим состояние растительности (Govaerts et al., 1999).

С увеличением пространственного и спектрального разрешения аппаратуры аэрокосмического зондирования возникла задача сегментации крон отдельных деревьев и точной классификации породы. В работе (Clark et al., 2005) подобного рода задача рассматривалась применительно к древесной растительности тропических лесов. Для проведения тематической обработки использовались данные HYDICE (HYperspectral Digital Imagery Collection Experiment). Рассмотрен вопрос зависимости точности классификации от пространственного разрешения для некоторых базовых алгоритмов. Полученные результаты подтверждают перспективность использования гиперспектральной аппаратуры с высоким пространственным разрешением для определения характеристик лесного покрова.

В данной работе рассматривается задача распознавания породного состава и возрастных классов древостоев на основе гиперспектральных изображений, полученных с помощью отечественной гиперспектральной аппаратуры. Используемый нами легкий авиационный видеоспектрометр АВ-ВД производства НПО Лептон (г. Зеленоград, г. Москва) имеет 287 активных каналов в диапазоне 401-1017 нм и позволяет получать гиперспектральные изображения размером 500 пикселей в направлении перпендикулярном траектории полета. Спектральное разрешение прибора зависит от длины волны и увеличивается от 0,36 до 14 нм при движении в инфракрасную область. Пространственное разрешение составляет 0,55 м при высоте полета 1 км.

В августе 2001 года была проведена кампания авиационных измерений, в ходе которой были получены перекрывающиеся гиперспектральные изображения, покрывающие тестовый участок размером 4х10 км расположенный на территории Савватьевского лесничества (Тверской лесхоз). Породный состав леса на тестовой территории представлен в основном древостоями сосны и березы различных возрастных классов. В небольшом количестве присутствуют также осинники и ельники. Наземная информация по распределению породного и возрастного состава представлена стандартными табличными и картографическими данными лесотаксации.

Построение алгоритма распознавания основано на известном принципе байесовской классификации. Общий вид алгоритмов такого типа представляется в виде

$$a(x) = \arg\min_{y \in Y} P(y) p(x \mid y),$$

где x — признаки объектов, y — наименования классов, P(y) — априорная вероятность класса y, $p(x \mid y)$ — плотность вероятности распределения признаков x внутри класса y. Априорные вероятности классов определяются на основе текстурного анализа изображения в выбранном наиболее контрастном спектральном канале. Данная процедура позволяет повысить точность распознавания основных классов — водная поверхность, открытые почвы, луговая растительность, лесная растительность. Внутри-классовые распределения признаков строятся на основе модели Гауссовских смесей

$$p\left(x \mid \left\{w_{i}(y), \mu_{i}(y), \Sigma_{i}(y)\right\}_{1}^{M}\right) = \frac{1}{\sqrt{(2\pi)^{N_{x}}}} \sum_{i=1}^{M} \frac{w_{i}(y)}{\sqrt{\det(\Sigma_{i}(y))}} \exp\left[-\frac{1}{2}(x - \mu_{i}(y))^{T} \Sigma_{i}^{-1}(y)(x - \mu_{i}(y))\right]$$

где M – число компонент смеси, w_i , μ_i и Σ_i – соответственно, весовой коэффициент, вектор математических ожиданий и ковариационная матрица i-й компоненты. В качестве признаков объектов рассматриваются соответствующие им значения спектральных плотностей энергетической яркости (СПЭЯ) нормализованные на интегральное значение по длине волны.

Оценки параметров w, μ , Σ производятся на основе априорной информации в виде множества спектров и соответствующих им наименований распознаваемых классов, составляющих обучающее множество. Для составления базы данных эталонных спектров были выделены участки с однородным породным составом. Полученные данные для сосновых и березовых древостоев позволили рассмотреть задачу классификации возрастного состава. Наибольшее разрешение по возрасту получилось для сосновых древостоев (14 возрастных градаций).

Изображения лесного полога имеют характерную текстуру которую составляют перемежающиеся освещенные и затененные участи крон, а также межкроновые просветы. Измеряемые СПЭЯ отраженного излучения освещенных участков определяются в основном оптическими свойствами кроны, текущими атмосферными условиями и высотой солнца. При этом гиперспектрометр должен обеспечивать достаточно хорошее соотношение сигнал/шум. Отражение затененными участками крон происходит гораздо более сложным образом. Здесь начинает играть роль многократное рассеяние света внутри кроны и спектральные свойства подстилающей поверхности. Кроме того, уровень сигнала гиперспектрометра с этом случае значительно ниже и влияние собственной шумовой составляющей на формирование СПЭЯ отраженного излучения становится гораздо более существенным, чем для освещенной части кроны.

Освещенные и затененные участи кроны могут быть разделены на основе значений интегральной яркости (СПЭЯ интегрируется методом трапеций по всем центральным длинам волн измерительных каналов). Для полученных обучающих выборок были рассчитаны интегральные яркости и разделены

на 3 градации с помощью процентных интервалов. Таким образом участки лесного полога были разделены на освещенные, полуосвещенные и затененные.

Для повышения соотношения сигнал/шум было проведено редуцирование полученных данных аэрозондирования к спектральному разрешению не превышающим 5 нм. Из полученных 87 объединенных каналов мы определили и исключили из рассмотрения те, которые имеют значимые радиометрические помехи. Коррекция малых радиометрических помех на основе известных статистических подходов невозможна и требует более точной калибровки прибора. При совместном использовании таких каналов, в качестве признаков может произойти накопление ошибки, что, в свою очередь, может существенно исказить результат, даже при распознавании хорошо различаемых объектов.

При решении задачи распознавания объектов по гиперспектральным данным мы неизбежно сталкиваемся с проблемой "проклятия размерности". При попытке использовать в алгоритме большое число каналов, как правило, невозможно обеспечить статистическую устойчивость оценки неизвестных параметров по имеющимся ограниченным данным. В связи с этим, априорные оценки ошибки распознавания могут быть существенно меньше соответствующих оценок, получаемых методом кросс-валидации.

Для решения данной проблемы необходимо эффективно сократить размерность признакового пространства. Стандартный пошаговый метод, как правило, приводит к неустойчивому результату, т.е. малые изменения обучающего ансамбля влекут за собой существенные изменения выбранной последовательности каналов. Мы предложили модификацию данного метода, которая позволяет в значительной мере избежать данной проблемы.

Метод состоит в следующем. На первом этапе выделяется главный спектральный канал, который обеспечивает точное распознавание наибольшего числа рассматриваемых классов. Далее производится серия запусков пошагового метода выбора каналов. При каждом запуске обучающий ансамбль случайным образом разделяется на две приблизительно равных части, одна часть используется для оценки параметров, вторая для оценки ошибок классификации. В результате данного процесса получаем набор последовательностей выбранных каналов. На конечном этапе из данного набора выбирается наиболее вероятная последовательность.

Результат применения данного алгоритма к имеющимся данным представлен в таблице 1. В качестве главного канала был выбран канал ближнего инфракрасного диапазона с центральной длиной волны 790.39 нм. Рассмотрены различные задачи классификации, связанные с распознаванием сосновых и березовых древостоев различных возрастных групп с учетом освещенности крон.

Таблица 1. Результаты оптимизации спектральных каналов для различных задач классификации. Приведены номера каналов (НК) и центральные длины волн (ЦДВ).

Сосна, береза осина; молодняк; освещенные кроны										
нк	64	25	46	18 43						
ЦДВ, нм	790,39	534,89	662,34	495,93	642,78					
Сосна, береза осина; молодняк; затененные кроны										
нк	64	23	47	53	25	49	9			
ЦДВ, нм	790,39	523,59	669,38	719,08	534,89	684,40	446,60			
Сосна, береза осина; спелый древостой; освещенные кроны										
нк	64	70	85	1						
ЦДВ, нм	790,39	834,91	990,02	404,21						
Сосна, береза о	Сосна, береза осина; спелый древостой; затененные кроны									
нк	64	43	66	1						
ЦДВ, нм	790,39	642,78	804,37	404,21						
Сосна; возраст	Сосна; возрастной состав, освещенные кроны									
нк	64	53	35	81	52 24		47			
ЦДВ, нм	790,39	719,08	595,69	941,27	709,75	529,10	669,38			
Береза; возрастной состав, освещенные кроны										
нк	64	52	17, 18	47, 48	30	50				
ЦДВ, нм	790,39	709,75	495,93, 490,36	676,72, 669,38	564,14	692,44				

Длина полученных оптимальных последовательностей составила от 4 до 7 спектральных каналов. Повторные запуски алгоритма позволили выяснить, что наиболее информативные каналы, лежащие в начале последовательности определяются устойчиво. При этом возможна неопределенность выбора между двумя соседними каналами. Каналы, изменяющиеся случайным образом при повторных запусках алгоритма выделены серым цветом. Полученная неустойчивость связана с достаточно мягким критерием остановки алгоритма пошагового отбора. Неустойчивые каналы имеют наименьшую информативность в указанных последовательностях и не оказывают существенного влияния на решение.

Необходимо отметить, что полученные последовательности могут измениться при использовании другого рода классификаторов. По данным таблицы 1 можно видеть, что для решения указанных задач необходимо использовать самые разнообразные каналы видимого и ближнего инфракрасного диапазона. Поэтому, если требуется решать совокупность этих задач, то целесообразно использовать данные гиперспектральных измерений. Кроме того, в ходе дальнейших исследований длина последовательностей может быть увеличена за счет привлечения дополнительной обучающей информации.

На основе полученных данных были проведены численные эксперименты по распознаванию породного и возрастного состава древостоев на тестовом участке. На рис.1 приведена матрица ошибок для выбранных возрастов березовых (16, 51 и 71 лет) и сосновых насаждений (16, 76 и 136 лет), которые соответствуют основным возрастным классам. Оценка точности решения задачи распознавания полученная методом кросс-валидации находится в пределах 80-88% для березняков и 95-99% для сосняков. Распознавание всей совокупности возрастов (на примере сосняков от 13 лет до 136 лет с шагом 10 лет) по данным самолетного гиперспектрального зондирования приводит к более существенным ошибкам.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проекты N 14-05-00598, 13-01-00185 и 14-07-00141).

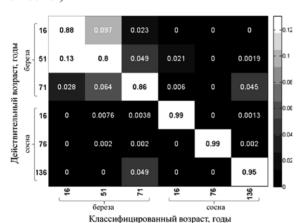


Рис.1. Матрица ошибок (вероятности) для полностью освещенных Солнцем участков крон чистых березовых (возраст 16, 51 и 71 год) и сосновых выделов (возраст 16, 76 и 136 лет) на выбранных участках наземных обследований тестовой территории.

Литература:

- 1. Clark, M.L., Roberts, D.A., Clark, D.B. (2005) Hyperspectral discrimination of tropical rain forest tree species at leaf to crown scales // Remote Sensing of Environment, 96(3–4), 375-398
- 2. Bannari, A., Morin, D., Bonn, F., & Huete, A. R. (1995). A review of vegetation indices. Remote Sensing Reviews, 13, 95–120.
- 3. Govaerts, Y.M., Verstraete, M.M., Pinty, B., & Gobron, N. (1999). Designing optimal spectral indices: A feasibility and proof of concept study. International Journal of Remote Sensing, 20, 1853–1873.
- 4. Karnieli, A., Kaufman, Y. J., Remer, L., & Wald, A. (2001). AFRI—aerosol free vegetation index. Remote Sensing of Environment, 77, 10–21.
- 5. Kim, M.S., Daughtry, C.S.T., Chappelle, E.W., McMurtrey III, J.E., & Walthall, C.L. (1994). The use of high spectral resolution bands for estimating absorbed photosynthetically active radiation (Apar). Proceedings of the 6th Symp. on Physical Measurements and Signatures in Remote Sensing, Jan. 17–21, 1994, Val D'Isere, France (pp. 299–306).
- 6. Rondeaux, G., Steven, M., & Baret, F. (1996). Optimization of soil-adjusted vegetation indices. Remote Sensing of Environment, 55, 95–107.

Web mapping applications and geoportals as a basis of modern software technologies and tools for environmental monitoring problems

Yakubailik O.E.

Institute of Computational Modelling SB RAS, Krasnoyarsk, Russia E-mail: oleg@icm.krasn.ru

ne of the leading trends in the development of geographic information systems in recent years has become their deep integration with Internet technologies. A few years ago mapping website often seen as a relatively simple toolkit to visualize interactive maps or satellite imagery mosaic. Modern web mapping software use more complex models of information systems. It usually includes geoportals and complex thematic web mapping applications, spatial data infrastructure (SDI) services for the creation and processing of geospatial information in a distributed computing environment. Also becoming increasingly popular new technology and Internet capabilities – from the popular social networking services, blogs and wiki documents to cloud services and distributed computing.

As to environmental monitoring, its effectiveness is largely determined by its information and analytical software. In order to successfully manage the territory and its resources, their generalized characteristics must be available as soon as possible in visual form; it is necessary for decision-making. These requirements can be achieved through the establishment of modern information and communication infrastructure for environmental monitoring, which allows you to objectively assess the situation in real time.

Geoportal and web mapping services were considered as technology basis for modern software system for environmental monitoring. This system should be viewed as a distributed information-analytical system based on hybrid technology – client-server and multitier internal system architecture, distributed storage and processing of data, GIS and web technologies, applications and web services standards for information exchange. The elements of this system can and should be resource-intensive application subsystems that perform a significant amount of computation, including – with the use of supercomputers, and on the "light" application of simple data visualization, which can run on today's mobile devices (phones and tablets, etc.).

Analysis of existing approaches and trends, personal experience in this field has allowed to formulate some backbone "universal" parts for considered class of information systems –

- Subsystem for base geospatial data archive management;
- Applied web services subsystem
- Spatial metadata management subsystem
- Web application for access the data and their processing (web mapping portal).

Web services of information system for environmental monitoring can be divided into two main categories:

- Private services (restricted access).
- Public applied services.

The author was directly involved in the development and implementation of projects of eco-logical monitoring software. There were many different software libraries and components which were used in developing program code. Web mapping user interface was created using a number of open source libraries. To create a serverside web application authors used GIS platforms MapGuide Open Source and Minnesota Mapserver. GeoWebCache was another essential component of distributed web mapping environmental monitoring applications. There were a number of other tools, components, libraries, etc. which were used in software implementation.

By analyzing and summarizing the experience gained creating information systems to environmental monitoring support, it should be noted that the use of web-based solutions in this area, can dramatically improve the efficiency of environmental problems solving.

Картографические веб-приложения и геопорталы как основа современного программно-технологического обеспечения задач экологического мониторинга

Якубайлик 0.3.

Институт вычислительного моделирования СО РАН, Красноярск, Россия E-mail: oleg@icm.krasn.ru

дной из ведущих тенденций в развитии геоинформационных систем в последние годы стала их глубокая интеграция с технологиями Интернет. Однако представления о том, какой должна быть эта интеграция постоянно меняются, уточняются. Еще несколько лет назад картографический веб-сайт чаще всего рассматривался как относительно простое средство для визуализации инте-

рактивной карты и/или мозаики спутниковых изображений. Сегодня обычно используют более сложные модели информационных систем. Как правило, говорят о геопорталах и комплексных картографических веб-приложениях различной тематической направленности, инфраструктуре пространственных данных (ИПД), сервисах для создания и обработки геоинформации в распределенной информационновычислительной среде. Также все большую популярность приобретают новые технологии и возможности Интернет – от популярных социальных сетей, блогов и вики-документов до сервисов облачных и распределенных вычислений. Все чаще собственные прикладные разработки интегрируются со становящимися все более доступными в Интернет различными картографическими пространственными данными, в том числе – спутниковыми снимками высокого разрешения.

В свою очередь, эффективность мониторинга состояния окружающей природной среды в значительной степени определяется его информационно-аналитическим обеспечением. Чтобы успешно управлять территорией и рационально распоряжаться ее ресурсами, нужно хорошо представлять себе обобщенные характеристики ее состояния и иметь возможность в кратчайшие сроки в наглядной форме получать необходимые для принятия решений детальные сведения об объектах управления. Эти потребности могут быть обеспечены путем создания современной информационно-коммуникационной инфраструктуры экологического мониторинга, которая позволяет объективно оценивать ситуацию в оперативном режиме и формировать различные варианты управленческих решений.

В результате комплексного анализа существующих подходов, проблем и решений, собственного опыта прикладных разработок в рассматриваемой предметной области, был сформирован перечень основных технических требований, которые можно предъявить к программному обеспечению системы экологического мониторинга. Прежде всего, ее целесообразно рассматривать как распределенную информационно-аналитическую систему, основанную на гибридных технологиях — клиент-серверная и многозвенная внутренняя архитектура системы, распределенное хранение и обработка данных, ГИС и веб-технологии, прикладные веб-сервисы и стандарты информационного взаимодействия. Элементами этой системы могут и должны быть как ресурсоемкие прикладные подсистемы, выполняющие значительный объем вычислений, в том числе — с использованием производительных суперкомпьютеров, так и относительно "легкие" приложения для простой визуализации данных, которые могут работать и на современных мобильных устройствах (смартфонах и планшетах, не говоря уже о нетбуках и ультрабуках).

Геопортал представляется целесообразным рассматривать как основной системообразующий элемент информационной системы экологического мониторинга. Представление о его целях и задачах поэтапно формировалось на протяжении последних 20 лет. Примерно в 1992-94 впервые формулируется концепция геопортала – в рамках национальной инфраструктуры пространственных данных США (NSDI Clearinghouse Network), формирование которой началось с 1994 г. под руководством Федерального комитета по геоданным (Federal Geospatial Data Committee – FGDC). Позднее, в 2003 г., в рамках инициативы «электронное правительство», был создан геопортал Geospatial One-Stop (GOS). В отличие от NSDI Clearinghouse Network, в основе геопортала GOS лежала централизованная база каталогов метаданных, которые связывают клиентов с поставщиками геоданных и геопродуктов. Пользователь GOS по своему усмотрению может использовать обычный веб-браузер (тонкий клиент) или работать с пространственными данными в режиме прямого доступа из ГИС (толстый клиент). В 2011 г. геопортал GOS стал составной частью проекта Data.gov – новой инициативы администрации США в рамках концепции создания открытого правительства. Похожим образом геопорталы в это же развивались и в других странах. В России в 2006 г. Правительством РФ принята «Концепция создания и развития инфраструктуры пространственных данных Российской Федерации», а в 2012 г. в Росреестре запущен в опытно-промышленную эксплуатацию Геопортал ИПД РФ. В соответствии с введенными в России регламентами, государственные структуры, создающие и использующие пространственные данные, должны предоставлять их в государственные картографо-геодезические фонды для последующей публикации.

Понятие геопортал не ограничивается только задачами национальной или региональной ИПД. Сегодня создаются и успешно внедряются геопорталы различной направленности — отраслевые и ведомственные, научно-исследовательские и образовательные, узкоспециализированные и проблемно-ориентированные. Геопорталы стали особым классом программных систем, а в некоторых случаях — составной частью более сложных программных комплексов.

Веб-картография за последнее десятилетие превратилась из известной только узкому кругу специалистов технологии в широко распространенную динамично развивающуюся отрасль деятельности, в сферу интересов которой вовлекаются все новые задачи. Программное обеспечение для веб-картографии можно охарактеризовать как комплекс взаимодополняющих программных средств, которые решают различные задачи — от ввода и редактирования элементарных векторных данных до настройки параметров картографических веб-сервисов в каталоге пространственных метаданных. Одним из компонентов в этом наборе программных средств являются геопорталы — прежде всего как инструмент поиска геопространственной информации, обеспечения доступа к геоданным. Роль геопорталов возрастает по мере роста объемов данных, развития информационной инфраструктуры.

В соответствии с общепринятым современным пониманием термина "геопортал", его программное обеспечение как минимум должно обеспечивать решение следующих двух основных задач:

- ведение каталога пространственных метаданных, с набором необходимых операций ввод, редактирование, удаление метаданных, и т.д.; средства поиска по метаданным по категориям, пространственному местоположению, ключевым словам, и т.п.
- обеспечение «веб-сервисов» средств визуализации представленных на портале пространственных данных и их загрузки на компьютеры пользователей, интерфейсов для обеспечения прямого доступа к данным, их преобразования, и проч.

Геопорталы обычно имеют возможности разграничения прав доступа пользователей, что позволяет создавать ресурсы ограниченного доступа, формировать персональные настройки и ресурсы.

Решение рассмотренных двух задач нередко обеспечивается различными программными продуктами, которые работает совместно, дополняя друг друга. Типичный пример – поддержка каталога пространственных метаданных с помощью программного обеспечения GeoNetwork Opensource, а «вебсервисов» – средствами комбинированной программной платформы GeoServer, объединяющей в себе сервер приложений и сервер веб-приложений, которая позволяет создавать стандартные картографические веб-сервисы и представлять их в виде интерактивных карт.

Как и в других категориях программного обеспечения, можно условно разделить существующие программные решения на два типа – коммерческие программные продукты и свободное программное обеспечение с открытым исходным кодом. Нередко используют и комбинированные решения – система может быть построена на основе компонентов разной степени открытости. Также стоит упомянуть "особые случаи", которые в последнее время стали нередкими – когда компании, занимающиеся разработкой коммерческих продуктов, выпускают и поддерживают свободное программное обеспечение – продукты с открытым исходным кодом. Примеры: компанией Autodesk создана и развивается геоинформационная платформа MapGuide Open Source, а один из ведущих разработчиков ГИС – компания ESRI – выпускает на рынок ESRI Geoportal Server. Оба этих продукта распространяются как свободное программное обеспечение ГИС с открытым исходным кодом.

Поддержка базы метаданных при создании геопорталов сегодня обычно не вызывает проблем у разработчиков – структура данных относительно простая, и она хорошо формализована стандартами в виде UML-диаграмм. Примерами "готовых" серверов баз пространственных метаданных в классе свободных программ с открытым исходным кодом являются GeoNetwork Opensource, ESRI Geoportal Server, EasySDI. Клиентское программное обеспечение, которое обеспечивает ввод и редактирование пространственных метаданных, обычно интегрируется в прикладные ГИС, например ESRI ArcCatalog, МарInfo Manager, модуль расширения NextGIS Metatools для QuantumGIS, и проч.

При разработке картографических веб-сервисов могут быть использованы различные инструментальные программные средства. Среди зарубежных продуктов следует, прежде всего, назвать ESRI ArcIMS и ArcGIS Server, Autodesk MapGuide, Intergraph GeoMedia, Pitney Bowes MapXtreme, Bentley Geo Spatial Server и Bentley Geo Web Publisher, и проч., среди российских – «ГеоКонструктор Web-сервер» (ЦГИ ИГ РАН), «ИнГео МарW» (ЦСИ «Интегро», Уфа), GIS WebServer (КБ «ПАНОРАМА»), WebMap (ЗАО «Резидент»), и др.

Будем рассматривать технологии геопортала и картографических веб-сервисов как системообразующий элемент программного обеспечения современных систем экологического мониторинга. Анализ существующих подходов и тенденций, опыт собственных разработок в данной области позволил сформулировать несколько системообразующих «универсальных» компонент для рассматриваемого класса информационных систем:

• Подсистема ведения архива базовых геопространственных данных.

Должна обеспечивать организацию хранения и управления данными, средства для их загрузки и удаления, резервного копирования, и т.п. Должна быть предусмотрена возможность регистрации в архиве внешних баз данных, в т.ч. – пространственных, с организацией прозрачного доступа к ним, через единый программный интерфейс – т.е. пользователь, который получает данные из архива базовых геопространственных данных не обязан знать, откуда именно берутся геоданные – из размещенного на этом же сервере shp-файла или через подключение к стороннему серверу (ArcGIS Server и аналоги).

• Система прикладных программных (картографических) веб-сервисов.

Предполагается создание набора средств для различного доступа к данным, организации запросов к ним, в том числе — на основе стандартных отраслевых протоколов/интерфейсов типа широко используемых открытых стандартов Консорциума ОGC — картографических веб-сервисов WMS, WFS, и т.п. Также должна быть предусмотрена возможность организации ресурсоемких вычислений на стороне сервера — сегодня существует несколько альтернативных решений в данном направлении — WPS (Web Processing Service) Кон-сорциума ОGC, и проч.

• Подсистема управления пространственными метаданными.

Подсистема предназначена для поиска и навигации по имеющимся пространственным данным, в том числе – с помощью пространственных запросов. Подсистема должна предусматривать возмож-

ность работы с различными классификаторами данных, быть совместимой с существующими стандартами на метаданные, допускать соответствующий импорт/экспорт. Основа подсистемы – каталог метаданных – должен обеспечивать весь комплекс задач управления/администрирования метаданными. Предполагается глубокая интеграция со всеми прочими рассматриваемыми здесь компонентами прикладной геоинформационной системы.

• Веб-приложение – интерфейс пользователя к данным и средствам их обработки (геопортал, картографический веб-портал).

Современное программно-технологическое решение чаще всего строится на основе веб-технологий системы управления контентом (веб-сайт). В рамках централизованного веб-интерфейса должны быть разработаны средства поиска и навигации по имеющимся пространственным и прочим данным, в том числе — с помощью пространственных запросов. Сервисы визуализации информации должны предоставлять пользователю данные в текстовом, картографическом и табличном виде. Подсистема должна предусматривать возможность работы с различными классификаторами, формами представления информации по настаиваемым шаблонам, и т.д. Должна быть обеспечена загрузка и выгрузка данных разного типа. Вся информация должна предоставляться на основе разрешений (разделение прав доступа), желательно наличие возможности персонализации интерфейса пользователя.

Веб-сервисы информационной системы экологического мониторинга можно условно разделить на две категории:

• Служебные сервисы (ограниченного доступа).

Модульная архитектура разработки информационной системы экологического мониторинга формирует необходимость строгой формальной спецификации информационного обмена между ее компонентами. В этом контексте необходим набор веб-сервисов как инструмент для приема/передачи данных внутри системы, между ее составными частями. Например, модуль «Веб-портал» с помощью реализованного в нем интерфейса пользователя для поиска данных формирует запрос подсистеме «Каталог пространственных метаданных» для получения информации. Далее — подсистема «Каталог пространственных метаданных» обращается к модулю «Архив геоданных» для получения списка ресурсов определенного типа. Ограничения в доступе к служебным сервисам связаны с тем, что с их помощью можно много чего сделать, и в том числе — нарушить работоспособность системы в целом (при неумелом использовании). Именно поэтому доступ к ним чаще всего ограничен разработчиками.

• Публичные прикладные сервисы.

В отличие от упомянутых выше служебных сервисов – эти сервисы являются публично доступными. Они обеспечивают выполнение различных запросов пользователей к данным, хранящимся в системе экологического мониторинга. Технологически они практически не отличаются от служебных, но нарушить работоспособность системы они не могут. Примерами сервисов являются различные операции визуализации тематической мониторинговой информации, которые используются при формировании информационных страниц веб-портала.

Анализируя и обобщая накопленный опыт создания систем информационной поддержки наблюдений за состоянием окружающей природной среды, следует отметить, что использование веб-ориентированных решений в этой области – автоматизированных информационных систем, которые изначально спроектированы для работы в сети Интернет, может кардинально повысить эффективность решения природоохранных задач.

Литература:

- 1. Ерунова М.Г., Гостева А.А., Якубайлик О.Э. Геоинформационное обеспечение задач экологического мониторинга особо охраняемых территорий // Журнал Сибирского федерального университета. Серия: Техника и технологии. 2008. T. 1. N = 4. C. 366-376.
- 2. Кадочников А.А., Попов В.Г., Токарев А.В., Якубайлик О.Э. Формирование геоинформационного Интернет-портала для задач мониторинга состояния природной среды и ресурсов // Журнал Сибирского федерального университета. Серия: Техника и технологии. − 2008. − Т. 1. − № 4. − С. 377-386.
- 3. Якубайлик О. Э. Геоинформационная Интернет-система мониторинга состояния окружающей природной среды в зоне действия предприятий нефтегазовой отрасли // Вестник СибГАУ. 2010. Т. 1(27). С. 40-45.

Detection and classification of Siberian pine stands decline and mortality based on high spatial resolution satellite data

¹Kharuk V.I., ²Pestunov I.A., ²Dubrovskaya O.A., ²Melnikov P.V., ²Rylov S.A.

In recent years Russian Federation has seen the phenomenon of drying of dark coniferous forest stands formed by Siberian pine (*Pinus sibirica*), fir (*Abies sibirica*) and spruce (*Picea obovata*). The possibility of using multispectral images of high spatial resolution for detection and classification of damaged forest stands is studied in this work. The source of input data is an image of pine stands on the east macroslope of Kuznetsk Alatau Mountains obtained by Pleiades satellite on June 1, 2012. Fieldworks, dendrochronology data and climate variables analysis have shown that the main cause of stands decline and mortality was water stress due to climate change-induced dryness and extreme droughts increase [1]. Image analysis is performed using effective ensemble segmentation algorithms that use both spectral and spatial features.

The proposed image processing algorithm consists of three stages.

The first stage is selection of informative subset of spectral features. In order to do so, statistically clean training samples were generated from preliminary segmentation of four source image's channels. The segmentation was performed by EMeanSC clustering algorithm [2].

The clean training sets helped to produce an informative subset of 4 features: channels 1, 3, 4 and NDVI. These features were present in subsets of features with high descriptiveness criterion. The Jeffries-Matusita distance [3] which is an estimate of the upper limit of the misclassification probability was used as such criterion.

The second stage of the scheme is segmentation of the original image using subset of features generated earlier. A non-parametric ensemble clustering algorithm ECCA [4] is used at this stage.

At the third stage the cluster map obtained at the second stage is generalized and refined. The post-processing is performed in order to reduce fragmentation of the cluster map and to refine the boundaries of clusters. An algorithm that takes image spatial context (information about pixel neighborhood) into account is used for this purpose. This algorithm is based on the ensemble of morphological segmentation algorithms that use graph representation of the image. Image pixels correspond to vertices of the image graph, and the edges are added to graph according to pixel neighborhood. The weight of each edge is equal to the value of the selected measure of pixel spectral similarity. A minimum spanning forest is built from the image graph with the help of markers selected on the cluster map generated at the second stage. Majority vote decision rule is applied to ensemble elements. The accuracy of the final cluster map generated at the third stage is estimated by checking 210 test points obtained by fieldwork. The segmentation error is equal to approximately 3%.

The proposed technique of high spatial resolution image processing helped to locate areas of damaged pine stands in the Kuznetsk Alatau Mountains. The usage of spatial context made it possible to generate a series of maps of various resolution well-suited for subsequent interpretation. The algorithm is implemented as a software tool that can be used for a wide range of applications.

References:

- 1. Kharuk V.I., Im S.T., Oskorbin P.A., Petrov I.A., Ranson K.J. Siberian Pine Decline and Mortality in Southern Siberian Mountains. Forest Ecology and Management. Forest Ecology and Management. 2013. Vol. 310. P. 312-320.
- 2. Pestunov I.A., Berikov V.B., Sinyavskiy Yu.N. Algorithm for multispectral image segmentation based on ensemble of nonparametric clustering algorithms // SibSAU. 2010. Vol. 31. No. 5. P. 45-56 (in Russian)
- 3. Davis S.M., Landgrebe D.A., Phillips T.L. et al. Remote sensing: The quantitative approach. Mc-Graw-Hill International Book Co. 1978. 396 pp.
- 4. Pestunov I.A., Berikov V.B., Kulikova E.A., Rylov S.A. Ensemble of clustering algorithms for large datasets // Optoelectronics, instrumentation and data processing. 2011. Vol. 47. No. 3. P. 245-252. DOI: 10.3103/S8756699011030071. Analysis and Synthesis of Signals and Images.

¹ Forest Institute SB RAS, Krasnovarsk, Russia

² Institute of Computational Technologies SB RAS, Novosibirsk, Russia E-mail: kharuk@ksc.krasn.ru

Обнаружение и классификация усыхающих кедровых древостоев по спутниковым данным высокого пространственного разрешения

¹Харук В.И., ²Пестунов И.А., ²Дубровская О.А., ²Мельников П.В., ²Рылов С.А.

- 1 Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, Красноярск, Россия
- ² Институт вычислительных технологий СО РАН, Новосибирск, Россия

E-mail: kharuk@ksc.krasn.ru

ВВЕДЕНИЕ

В конце 20-го начале 21-го столетия в лесах России наблюдается усыхание темнохвойных древостоев, сформированных кедром (*Pinus sibirica*), пихтой (*Abies sibirica*) и елью (*Picea obovata*) [1].

Традиционно для оценки состояния поврежденных древостоев широко используются спутниковые изображения низкого и среднего пространственного разрешения (NOAA/AVHRR, Terra+Aqua/MODIS, Landsat, SPOT) [2-5]. В последнее годы, благодаря стремительному прогрессу в области создания и развития средств и технологий дистанционного зондирования Земли, коммерческим, производственным и научно-исследовательским организациям стали доступны данные высокого разрешения (4 м и лучше) [6]. Эти данные позволяют существенно расширить круг решаемых задач [7].

В работе исследуется возможность использования мультиспектральных изображений высокого пространственного разрешения для обнаружения и классификации поврежденных кедровых древостоев восточного макросклона Кузнецкого Алатау. Полевые исследования данного района, анализ дендрохронологических данных и климатических переменных показали, что первичной причиной усыхания и гибели древостоев является водный стресс, обусловленный климатически-индуцированным возрастанием индекса сухости и возникновением экстремально засушливых периодов.

ОБЪЕКТ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИСХОДНЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Изучаемая зона расположена в горах Кузнецкого Алатау, на высотах от 640 до 1040 м над уровнем моря, и ограничена областью 54°29'24" и 54°31'12" с.ш., 88°48' и 88°52'12" в.д. Древостои сформированы кедром (>95%) с примесью пихты и ели. Древостои спелые, средний возраст деревьев около 160 лет (максимальная продолжительность жизни кедра – 600–800 лет). Растительный покров мезофитный, с преобладанием осочки; толщина подстилки 3–5 см. Почвы светло-серого лесного типа глубиной 10–15 см, лежащие на слое каменистой глины. Признаков пожара внутри исследуемой зоны обнаружено не было. Наблюдения усыхания кедровых древостоев проводились с 2006 по 2012 годы (рис. 1).

В качестве исходного материала для обнаружения и классификации повреждений использовалось спутниковое изображение бассейна р. Черный Июс (восточный макросклон Кузнецкого Алатау), полученный 1 июня 2012 года со спутника Pleiades (пространственное разрешение 2,8 м) (рис. 2). Для оценки достоверности результатов обработки использовались данные полевых наблюдений в 210 тестовых точках, полученные сотрудниками ИЛ им. В.Н. Сукачева СО РАН.

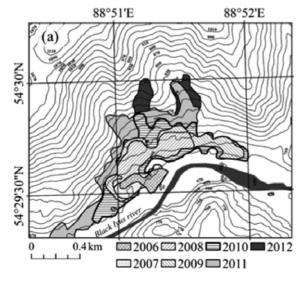


Рис. 1. Фрагмент картосхемы усыхания древостоев в исследуемой зоне с 2006 по 2012 годы.



Рис. 2. RGB-композит исходного изображения, полученного со спутника Pleiades 01.06.2012 г.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Обработка изображения с целью обнаружения поврежденных территорий и их картирования включала в себя три этапа.

На первом этапе производился выбор информативной подсистемы спектральных признаков. Для этого формировались статистически «чистые» обучающие выборки на основе картосхемы, полученной в результате предварительной сегментации изображения по спектральным яркостям четырех каналов спутника Pleiades. Сегментация осуществлялась с помощью алгоритма кластеризации EMeanSC [8], для статистического анализа использовался программный комплекс ENVI 4.8.

На основе «чистых» обучающих выборок была получена информативная подсистема из четырех признаков: 1, 3, 4 каналы и нормализованного вегетационного индекса (NDVI). В качестве критерия информативности использовалось расстояние Джеффриса-Матусита [9], которое является оценкой верхней границы вероятности ошибки классификации.

На втором этапе производилась сегментация исходного изображения по выбранной информативной подсистеме признаков с помощью ансамблевого алгоритма непараметрической кластеризации ECCA [10].

На третьем этапе для уменьшения раздробленности и уточнения границ сегментов картосхемы, полученной на предыдущем этапе, выполнялась ее постобработка алгоритмом сегментации, учитывающим пространственный контекст изображения (информацию о соседстве пикселов). Этот алгоритм основан на графовом подходе, при котором используется граф $G \le V$. Е изображения, где V – множество пикселов, а E – множество взвешенных ребер, соединяющих каждый пиксел с восемью соседними. Вес ребра равен значению функции, определяющей похожесть пикселов. В качестве такой функции выбрано евклидово расстояние в пространстве выбранных признаков. Затем на графе G строится минимальное остовное дерево T (минимальный по суммарному весу ребер граф без циклов, соединяющий все вершины из V) с помощью классического алгоритма Крускала [11]. Построенное дерево T используется в качестве источника пространственной информации для последующей сегментации. На картосхеме, полученной на втором этапе, выбирается заданное количество точек (маркеров). Из остовного дерева удаляются ребра так, чтобы в каждую из получившихся компонент связности попало по одному маркеру. Таким образом, минимальное остовное дерево превращается в минимальный остовный лес. Распространение меток кластеров от маркеров на компоненты связности, которым они принадлежат, позволяет построить разбиение исходного изображения на сегменты. Чтобы обеспечить независимость результата от выбора маркеров, применяется ансамблевый подход. Для каждого элемента ансамбля выбирается случайный набор маркеров. Количество маркеров для каждого кластера определяется пропорционально размеру кластера. При получении итоговой сегментации изображения ансамблевое решающее правило формируется на основе правила простого большинства.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

На первом этапе обработки были выделены статистически «чистые» обучающие выборки для шести основных классов: «усохший древостой», «вырубки усохшего древостоя на южном склоне», «вырубки на северном склоне», «здоровый древостой», «территории, не покрытые растительностью» и «водная поверхность». Статистический анализ обучающих выборок показал, что спектральные характеристики классов «вырубки усохшего древостоя на южном склоне» и «вырубки на северном склоне» очень близки, поэтому эти классы объединены в класс «вырубки».

С использованием выбранной информативной подсистемы признаков, включающей 1, 3, 4 каналы и NDVI на втором этапе проведена сегментация с помощью алгоритма ECCA. Так как этот алгоритм является попиксельным, полученная в результате картосхема, фрагмент которой представлен на рисунке 3а, обладает высокой степенью раздробленности, что существенно затрудняет ее интерпретацию. Для устранения этого недостатка на третьем этапе осуществлялась постобработка картосхемы контекстным алгоритмом сегментации. Рассмотрено два случая постобработки. В первом случае в качестве маркеров было выбрано 5% пикселов, во втором – 10%. В результате получены картосхемы с различной степенью генерализации тематических областей (рис. 3б, 3в). Для оценки качества сегментации использовалась картосхема с 10% маркеров. Под ошибкой сегментации считается попадание тестовых точек из разных классов в один сегмент картосхемы. В нашем случае, ошибка сегментации составила ~ 3% (6 тестовых точек), и как показал последующий анализ, ошибочное отнесение точек из разных классов в один сегмент обусловлено рельефом местности.

Таким образом, данная схема обработки мультиспектральных изображений позволяет с высокой степенью достоверности выявлять очаги повреждений кедровых древостоев на исследуемой территории. Предложенный алгоритм сегментации, учитывающий пространственный контекст, позволил получить серию картосхем с различным уровнем детализации. Использование данных высокого пространственного разрешения позволяет получить подробную картину динамики изменений лесной растительности при лесопатологическом мониторинге. Представленная схема обработки реализована в виде программно-алгоритмического инструментария, который может быть использован для широкого круга задач, связанных с оценкой экологического состояния лесов.

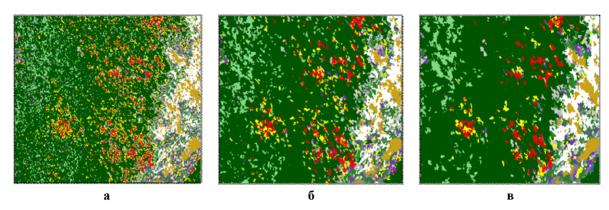


Рис. 3. (а) – фрагмент картосхемы, полученной с помощью попиксельного алгоритма ECCA; (б), (в) – фрагмент картосхемы полученной в результате постобработки картосхемы (а) контекстным алгоритмом кластеризации с использованием в качестве маркеров 10% и 5% пикселов изображения соответственно.

Литература:

- 1. Kharuk V.I., Im S.T., Oskorbin P.A., Petrov I.A., Ranson K.J. Siberian Pine Decline and Mortality in Southern Siberian Mountains. Forest Ecology and Management. Forest Ecology and Management. 2013. Vol. 310. P. 312-320.
- 2. Pestunov I.A. Algorithms for processing polyzonal video information for detection and classification of forests infested with insects // Patt. Recogn. and Image Analysis. 2001. Vol. 11, N 2. P. 368-371.
- 3. Харук В.И., Кожуховская А.Г., Пестунов И.А. и др. Съемка NOAA/AVHRR в мониторинге вспышек сибирского шелкопряда // Исследования Земли из космоса. 2001. № 1. С. 80-86.
- 4. Харук В.И., Рэнсон К.Дж., Кузьмичев В.В. Съемка Landsat в анализе шелкопрядников Южной Сибири // Исследование Земли из космоса. 2002. № 4. С. 1-12.
- 5. Им С.Т., Харук В.И., Рэнсон К.Д., Солдатов В.В. Съемка SPOT-VEGETATION в анализе динамики повреждения горно-таежных лесов Сибири шелкопрядом // Исследование Земли из космоса. 2007. № 1. С. 74-80.
- 6. Болсуновский М.А., Бутин В.В. Новейшие спутники ДЗЗ и ближайшие перспективы систем высокого и сверхвысокого разрешения // Тез. докл. Десятой Всерос. конф. «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса». Москва: ИКИ РАН, 2012. http://smiswww.iki.rssi.ru/d33_conf
- 7. Wang J., Sammis T.W., Gutschick V.P. et al. Review of satellite remote sensing use in forest health studies // The Open Geography J. 2010. Vol. 3. P. 28-42.
- 8. Пестунов И.А., Бериков В.Б., Синявский Ю.Н. Сегментация многоспектральных изображений на основе ансамбля непараметрических алгоритмов кластеризации // Вестник СибГАУ. 2010. Т. 31, N 5. C.45-56.
- 9. Davis S.M., Landgrebe D.A., Phillips T.L. et al. Remote sensing: The quantitative approach. McGraw-Hill International Book Co. 1978. 396 pp.
- 10. Пестунов И.А., Бериков В.Б., Куликова Е.А., Рылов С.А. Ансамблевый алгоритм кластеризации больших массивов данных // Автометрия. 2011. Т. 47, № 3. С. 49-58.
- 11. Кормен Т.Х., Лейзерсон Ч.И., Ривест Р.Л., Штайн К. Алгоритмы: построение и анализ, 2-е издание. Пер. с англ. М.: Издательский дом «Вильямс», 2010. 1296 с.

Коллекция данных о сечениях поглощения атмосферных молекул

¹Воронина Ю., ¹Лаврентьев Н., ¹Привезенцев В., ¹Фазлиев А., ²Фирсов К.М.

- ¹ Институт оптики атмосферы СО РАН СО РАН, Томск, Россия
- ² Волгоградский государственный университет, Волгоград, Россия E-mail: faz@iao.ru

ВВЕДЕНИЕ

Сечения поглощения необходимы для решения прикладных задач количественной спектроскопии и атмосферной химии. В спектроскопии они полезны при исследованиях преддиссоциации молекул, а в атмосферной химии при вычисления скоростей фотохимических реакций. Предшествовавшая работа по извлечению, моделированию и хранению сечений поглощений проведена нами при создании порта-

ла ATMOS [1], она была связана с размещением в портале вариантов экспертных значений сечений поглощения предложенных двумя организациями (JPL-NASA и IUPAC). В данной работе эти данные были дополнены полным набором опубликованных сечений поглощения. Подобная работа по организации коллекции первичных данных о спектральных функциях была проведена ранее в [2]. В технической реализации информационной системы (ИС) мы пошли дальше группы исследователей [2] и создали ИС со слоем знаний ориентированным, как на исследователей, так и на программных агентов.

В докладе описано информационное моделирование объектов предметных областей, связанных с сечениями поглощений, импорт-экспорт сечений поглощения и их представление в форме онтологической базы знаний в ИС W@DIS.

ПОДХОД К СИСТЕМАТИЗАЦИИ РЕСУРСОВ ПО СПЕКТРАЛЬНЫМ ФУНКЦИЯМ

При построении ИС используются многочисленные классификации веществ. В данной работе используется классификация веществ, описанная в [2]. Структурные особенности веществ, их наименования регламентируются многочисленными стандартами, большая часть которых используется в данной работе. Оригинальной частью работы являются построенные в ИС W@DIS информационные объекты, соответствующие веществам и каналам продуктов фотохимических реакций.

В работе JPL-NASA [3] появилась информация о каналах продуктов фотохимических реакций. Это дало нам возможность включить их в качестве метаданных для сечений поглощения, при этом мы руководствовались следующим принципом: конкретные каналы продуктов реакций добавляются в метаданные в случае, когда они входят в интервал измерений, и/или характерная длина волны канала продуктов близка к внешним границам интервала изменений длин. Наряду с каналами продуктов, следуя работе [3], в метаданные включались характеристики каналов продуктов фотохимических реакций.

Наконец, все опубликованные данные о сечениях поглощения были разделены на две группы: первичные данные и составные данные.

ФОРМАТЫ ФАЙЛОВ ДЛЯ ИМПОРТА И ЭКСПОРТА ДАННЫХ

В ИС W@DIS создана система импорта и экспорта сечений поглощения, повлекшая ограничения на допустимые форматы файлов. Файлы с импортируемыми данными в формате ASCII должны состоять из колонок, содержащих значения длин волн и сечение поглощения, причем они могут включать колонки содержащие погрешности измерений этих величин. Экспортируемые файлы представляются в том же виде что и импортируемые файлы, но в двух форматах (ASCII и Excel).

ИЗВЛЕЧЕНИЕ ДАННЫХ

На первом этапе извлечения сечений поглощения создана цифровая библиотека публикаций с использованием обширной библиографии обзорных статей NASA-JPL и IUPAC о сечениях поглощения. На втором этапе мы занимались сбором неопубликованных в печати данных размещенных на сайтах научных центров, особое место среди которых занимает сайт MPIfC Mainz [2]. В настоящее время собраны и оцифрованы сечения поглощения и связанные с ними спектральные функции для более чем 2000 публикаций. При сохранении данных в ИС W@DIS ключевой момент подхода состоит в использовании понятия первичный источник данных. Такой источник содержит данные из одной публикации, относящиеся к исследованиям, выполненным одним методом для одной молекулы. Все прочие источники данных мы называем составными источниками данных. Из публикации могут быть извлечены несколько первичных и/или составных источников данных.

ТЕХНИЧЕСКАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ КОЛЛЕКЦИИ

Коллекция предназначена для автоматического решения информационных задач (поиск, систематизация, хранение, ...) в количественной спектроскопии и атмосферной химии. Особенности этих двух предметных областей обусловливают разную детализацию модели вещества. В количественной спектроскопии основной задачей является систематизация и поиск сечений поглощения, а в атмосферной химии при построении кинетических уравнений необходимо знание поэлементного состава вещества. Потребовалось введение двух информационных объектов введенных нами ранее в количественной спектроскопии: источников данных и источников информации. Наконец, для описания процессов фотодиссоциации молекулы были собраны все каналы продуктов реакции.

БАЗА ДАННЫХ

Информационные объекты, соответствующие сечениям поглощения, веществам и источникам данных, размещены в СУБД MySQL. Приложения, реализующие доступ к данным, написаны на языке скриптов РНР. Метаданные и высказывания онтологии сечений поглощения размещены в отдельных таблицах, этой же базы данных. На рис.1 показана упрощенная схема базы данных

ФОРМИРОВАНИЕ ВЕЩЕСТВ И КАНАЛОВ ПРОДУКТОВ ФОТОХИМИЧЕСКОЙ РЕАКЦИИ

Для конструирования информационных объектов «Вещества» (см. рис.1) в БД ИС W@DIS созданы интерфейсы. Вещества входят в реагенты и продукты химических реакций. При описании сечений поглощения в метаданные входят каналы продуктов химических реакций, попадающие в интервал изменения длин волн или в ближайшую окрестность интервала.

ИМПОРТ СЕЧЕНИЙ ПОГЛОЩЕНИЯ

Импорт сечений поглощения в БД состоит из четырех этапов: выбора источника данных, описания термодинамических условий измерения, вещества и числа колонок в импортируемом в ИС файле, описания схемы данных размещенных в импортируемом файле и загрузки данных в ИС.

Модуль по сечению поглощения в ИС W@DIS реализует решение следующих информационных задач: загрузка и просмотр данных для источников информации, автоматическое вычисление метаданных источников информации, пользовательский ввод и просмотр метаданных, автоматическое преобразование метаданных в OWL-онтологии и экспорт из БД ИС онтологий метаданных источников информации в формате RDF/XML.

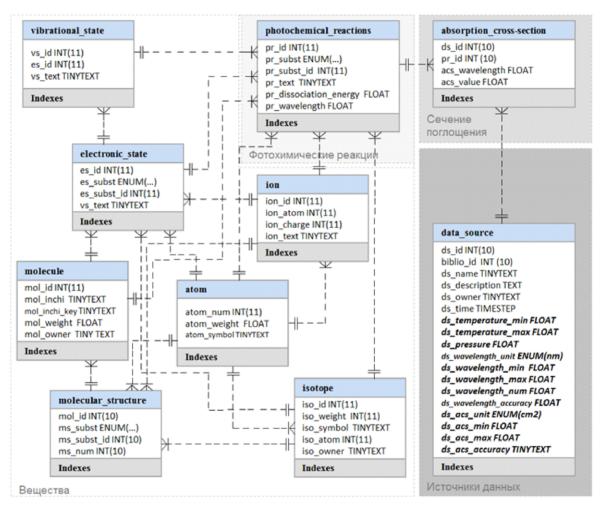


Рис. 1. Упрощенная схема базы данных

Для решения задачи автоматического вычисления количественных метаданных источников информации создана таблица absorption_cross_section_digest, в которой содержится следующая информация: идентификатор источника информации (ИИ), минимальное и максимальное значение длины волны массива данных ИИ, минимальное и максимальное значение сечения поглощения массива данных ИИ, количество элементов массива данных источника информации и др.. После выполнения программы загрузки данных в ИИ создается описание свойств загруженных данных.

Для решения задачи пользовательского ввода метаданных источников информации создана таблица meta_form, в которой содержится следующая информация: база данных для которой выполняется запись качественных значений метаданных о источнике информации, идентификатор источника информации, название характеристики качественных метаданных, значение характеристики качественных метаданных, идентификатор предметной задачи для которой выполняется запись качественных значе-

ний метаданных о источнике информации. Программный модуль создания записей о качественных характеристиках в таблице meta_form вызывается через меню пользователя и представляет собой форму ввода соответствующей информации.

Для решения задачи автоматического преобразования метаданных источников информации в OWLонтологии в формате RDF/XML созданы таблицы namespace, models, statements. Эти таблицы используются программной библиотекой pOWL(http://sourceforge.net/projects/powl/) для хранения онтологической модели в базе данных. Программный модуль автоматического преобразования метаданных источников информации в OWL-онтологии в формате RDF/XML автоматически вызывается после любых изменений связанных с источником информации: редактирование самого источника информации, редактирование массива данных источника информации, редактирование метаданных источника информации. Процесс построения онтологической модели для записи в базу данных состоит из следующих этапов:

- 1. Составление в динамической памяти ассоциативного массива всей доступной информации о источнике из таблиц: data source, absorption cross section digest, meta form.
- 2. Составление онтологии о источнике информации в формате RDF/XML по заранее подготовленному шаблону и ассоциативному массиву всей доступной информации о источнике с предыдущего шага.
- 3. Запись в базу данных онтологии о источнике информации в формате RDF/XML с предыдущего шага посредством использование функций библиотеки pOWL.

Для решения задачи экспорта из информационной системы онтологий метаданных источников информации в формате RDF/XML используется библиотека pOWL и связанные с ней таблицы namespace, models, statements для подготовки различных комбинаций вариантов экспорта.

МЕТАДАННЫЕ

В контексте данной работы метаданные представляют свойства измеренных или вычисленных сечений поглощения. Они играют вспомогательную роль при работе исследователя или программного агента с данными. Наряду со структурными свойствами данных они содержат свойства описывающие элементы постановки измерений, каналы продуктов фотодиссоциации и т.д. Для программных агентов эти свойства представляются в форме индивидов онтологической базы знаний.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В докладе представлено описание коллекции опубликованных и неопубликованных сечений поглощения и описана техническая реализация элементов ИС W@DIS ИОА СО РАН, используемые для импорта и экспорта данных, представления данных и создания информационных объектов для таких предметных областей как «Вещества», «Фотохимические реакции» и «Источники данных и информации».

Литература:

- 1. E.P.Gordov, V.N.Lykosov, A.Z.Fazliev, Web portal on environment sciences Atmos // Adv.Geosci., v.8, p.33-38, 2006.
- 2. H. Keller-Rudek, G. K. Moortgat, R. Sander, and R. Sörensen, The MPI-Mainz UV/VIS Spectral Atlas of Gaseous Molecules of Atmospheric Interest, Earth Syst. Sci. Data, 5, 365–373, 2013, doi:10.5194/essd-5-365
 3. S. P. Sander, R. R. Friedl, J. P. D. Abbatt, J. R. Barker, J. B. Burkholder, D. M. Golden, C. E. Kolb, M. J. Kurylo, G. K. Moortgat, P. H. Wine, R. E. Huie, V. L. Orkin, Chemical Kinetics and Photochemical Data for Use in Atmospheric Studies, JPL Publication 10-6, Evaluation Number 17 NASA Panel for Data Evaluation: National Aeronautics and Space Administration, Jet Propulsion Laboratory California Institute of Technology, Pasadena, California June 10, 2011.

Simulation of the World Ocean climate thermohaline structure by the INM – IO RAS numerical model

¹Ushakov K.V., ^{1,2}Ibrayev R.A.

- ¹ P.P Shirshov Institute of Oceanology RAS, Moscow, Russia
- ² Institute of Numerical Mathematics RAS, Moscow, Russia

E-mail: ushakovkv@mail.ru, ibrayev@mail.ru

he World Ocean model developed at INM RAS and IO RAS is designed for research of marine hydrothermodynamic processes in a wide range of spatial and temporal scales. The 3DPEM equations are approximated by the box-method on the three-polar B-type grid with z-type vertical coordinates. We use explicit difference time schemes (except for vertical viscosity and diffusion) with decomposition of the solu-

tion into barotropic and baroclinic components, free ocean surface with explicit description of salt and water fluxes, Boussinesq and hydrostatic approximations.

In the current work we consider results of a 110-year numerical experiment performed with the model in conditions of the CORE-I protocol. During the experiment the INM – IO model shows a slight increase of the global mean ocean potential temperature with a residual trend of 0.003 °C/decade. A more detailed spinup inspection shows that surface and thermocline properties stabilize during the first 50 years while deeper waters obtain a warm drift during the second half of the experiment. A positive salt anomaly develops at 600-1000 m depth. The distribution of surface temperature and salinity anomalies show general drawbacks of coarse-resolution simulations including the spurious extension of warm boundary currents to the north and poorly resolved coastal upwelling. Positive anomaly of zonal-mean decadal mean temperature at 60°N reveals too intensive vertical mixing and possibly accounts for the insufficient heat transfer to the North Atlantic.

Воспроизведение климатической термохалинной структуры вод Мирового океана с помощью численной модели ИВМ – ИО РАН

¹Ушаков К.В., ^{1,2}Ибраев Р.А.

- 1 Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва, Россия
- ² Институт вычислительной математики РАН, Москва, Россия

E-mail: ushakovkv@mail.ru, ibrayev@mail.ru

МОДЕЛЬ ОКЕАНА ИВМ — ИО РАН

Модель Мирового океана ИВМ – ИО РАН представляет собой программный комплекс, написанный на языке Фортран 95 и предназначенный для исследования циркуляции морских вод в широком диапазоне пространственных и временных масштабов. Система примитивных уравнений трёхмерной динамики океана в приближениях Буссинеска и гидростатики аппроксимирована методом конечных объёмов на сетке типа В. На вертикальной оси используются z-координаты. Для экономии вычислительных ресурсов описание баротропной динамики выполняется с помощью двумерной системы уравнений мелкой воды. В данной работе состояние морского льда описывается с помощью термодинамической модели [1], а потоки тепла, соли, импульса и воды на границе с атмосферой вычисляются моделью пограничного слоя ССЅМ [2]. Для описания горизонтального турбулентного перемешивания применяются операторы Лапласа и бигармонический с постоянными коэффициентами, для вертикального перемешивания — вязкостная параметризация Манка-Андерсона. Поверхность раздела воздух-вода — свободная, с явным описанием потоков воды, тепла, соли и импульса.

За исключением вертикального вязкого перемешивания, все процессы описаны с помощью явных численных методов. Благодаря этому стало возможным естественное распараллеливание программного комплекса в стандарте МРІ методом двумерной декомпозиции области. Тестовые расчёты показали успешную масштабируемость работы модели вплоть до 6000 процессорных ядер с пространственным разрешением до 1/20 градуса. Ввод-вывод данных также полностью распараллелен с помощью средств Программного комплекса совместного моделирования [3].

Численные схемы переноса объёма воды, переноса-диффузии тепла и соли в модели полностью согласованы, что при хранении данных в формате real (8) обеспечивает сохранение среднего уровня океана в численном эксперименте данной работы с точностью 10⁻¹¹ м, значение вертикальной скорости на дне в пределах 10-15 м/с, а сохранение средних температуры и солёности в тестовом расчёте на один год с отключёнными внешними потоками тепла и соли − с точностью 10⁻⁵ °C и 10⁻⁵ рѕи соответственно. Для расчёта переноса импульса используется схема центральных разностей, для переноса тепла и соли в данной работе применена схема с коррекцией потоков. Более подробное описание модели и первые результаты вихреразрешающих расчётов состояния океана приведены в работе [4].

ПОСТАНОВКА ЧИСЛЕННОГО ЭКСПЕРИМЕНТА

Проведённый в рамках данной работы численный эксперимент представляет собой расчёт установления собственного климата модели под воздействием циклически повторяющегося в течение 110 лет годового хода атмосферных параметров и солнечной радиации, заданного базой данных СОКЕ-I [2]. При этом во избежание дрейфа модели поверхностная солёность притягивается к среднемесячному климатологическому полю с помощью искусственного потока соли, пропорционального аномалии солёности с коэффициентом 50м/4 года. После этого на каждом шаге по времени применяется нормализация (вычитание среднего глобального значения) для потока влаги и искусственного потока соли.

Система координат трёхполярная [5]. Разрешение сетки в сферической части (южнее 60° с.ш.) составляет 0,5°. На границе сферической и биполярной сеток шаг по долготе меняется непрерывно, скачок шага по широте составляет менее 15% на большей части границы. Глубина расчётной области кусочно-постоянна и лежит в пределах от 12 до 6125 м. Топография дна взята из базы данных ЕТОРО5. Вертикальная дискретизация включает 49 горизонтов с шагом от 6 м в верхнем слое до 250 м в глубине. Шаг по времени составляет 12 минут для трёхмерных бароклинных уравнений и 0,6 минуты для баротропных уравнений мелкой воды.

Коэффициенты турбулентного обмена (вязкости и диффузии) подобраны исходя из необходимости обеспечить устойчивость счёта и при этом сохранить изменчивость океанской динамики настолько, насколько это возможно при данных разрешении и шаге по времени. Коэффициенты горизонтальной вязкости для баротропных и бароклинных уравнений составляют 1000 и 2500 м²/с соответственно, коэффициент горизонтальной диффузии для тепла и соли равен 850 м²/с, коэффициенты горизонтальных бигармонических вязкости и диффузии применяются только для бароклинных уравнений и составляют $-1.25 \cdot 10^{12}$ м⁴/с. Фоновые значения вертикальных вязкости и диффузии составляют 10^{-4} и 10^{-6} м²/с, максимальные значения в районах с малым числом Ричардсона равны соответственно 10^{-2} и 10^{-3} м²/с.

Начальные поля температуры и солёности взяты из базы данных World Ocean Atlas 2009, начальные значения скорости течений нулевые, морской лёд при старте эксперимента отсутствует.

Расчёты проведены на суперкомпьютере MBC10П Межведомственного суперкомпьютерного центра РАН. Использовалось до 1200 процессорных ядер, при этом модель показала полностью линейную масштабируемость.

РЕЗУЛЬТАТЫ ЧИСЛЕННОГО ЭКСПЕРИМЕНТА

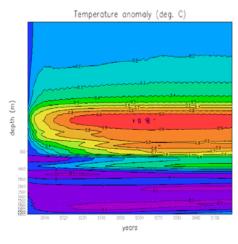
Горизонтально осреднённые температура и солёность

За 110 лет численного эксперимента средняя температура Мирового океана выросла на 0,11 °C, при этом остаточный тренд составил около 0.003 °C за 10 лет (под температурой будет пониматься потенциальная температура относительно поверхности океана). Для средней солёности соответствующие значения равны 0,01 рѕи и 0,0005 рѕи за 10 лет. Эти результаты достаточно реалистичны и лежат в диапазоне разброса результатов ведущих зарубежных моделей [2]. Тем не менее, наличие остаточного тренда говорит о том, что модель ещё не вышла на квазиравновесный климатический режим и в дальнейшем необходимы будут расчёты на более длительный срок.

Более детальную картину разгона модели можно получить, построив графики изменения свойств вод в зависимости от времени и глубины. На рис. 1 представлен временной ход аномалий среднегодовых модельных температуры и солёности. Аномалии рассчитаны относительно среднегодовых значений за первый год интегрирования модели.

Видно, что температура приповерхностных вод и термоклина практически стабилизируется в течение первых 50 лет, в то время как глубинные воды приобретают положительный дрейф во второй половине срока эксперимента. Нагрев верхнего слоя вод наиболее выражен на глубине около 150 м. Граница нагревающихся и охлаждающихся вод проходит на глубине около 1200 м. Схожее распределение трендов температуры наблюдается в расчётах с использованием z-координатных моделей POP, ORCA и MPI в работе [2], при этом у моделей с изопикническими или гибридными координатами (НІМ, МІСОМ, НҮСОМ) температурные графики качественно другие. В частности, для представленных изопикнических моделей оказалось характерным охлаждение всей толщи океана за исключением верхнего слоя до 300 м.

Диаграмма аномалии солёности показывает заметное распреснение с межгодовыми колебаниями в верхнем 300-метровом слое и ядро осолонения на глубинах 600-1000 м. Как и в случае с температурой, эта картина схожа с результатами расчётов по z-координатным моделям [2], с той разницей, что в нашем эксперименте не наблюдается распреснения глубинных вод.



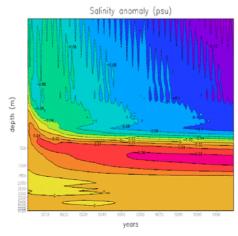


Рис. 1. Изменение горизонтально осреднённых температуры и солёности в зависимости от времени и глубины (аномалия относительно среднегодовых значений 1-ого года расчётов).

Поверхностные среднедекадные температура и солёность

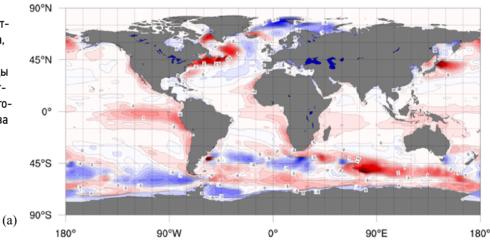
По полям поверхностных температуры и солёности (рис. 2) можно увидеть характерные недостатки данного типа моделей. Большие аномалии проявляются вдоль фронтальных зон, связанных с западными прибрежными течениями в Атлантике и Тихом океане. Известно, что пространственное разрешение порядка 0.1° определяет верное положение точки отрыва Гольфстрима от континентального склона у мыса Гаттерас. При недостаточном разрешении получаем смещение точек отрыва тёплых течений Гольфстрима и Куросио на север с одновременным размытием фронта, что наблюдается в модельном решении в виде тёплых и солёных аномалий в соответствующих районах. Одновременно мы получаем заниженный перенос тепла в Северную Атлантику. Аналогичные трудности модель испытывает вблизи побережья Аргентины. Недостаточное разрешение не позволяет правильно воспроизвести процессы апвеллинга, что, вероятно, является причиной возникновения тёплых аномалий у западных побережий Южной Америки и Африки. Обширная отрицательная аномалия в арктической солёности говорит о необходимости более точной модели морского льда. Отметим, что центральные районы Тихого, Индийского и Атлантического океанов воспроизводятся достаточно хорошо, однако, крупномасштабная динамика Антарктического Циркумполярного течения требует уточнения.

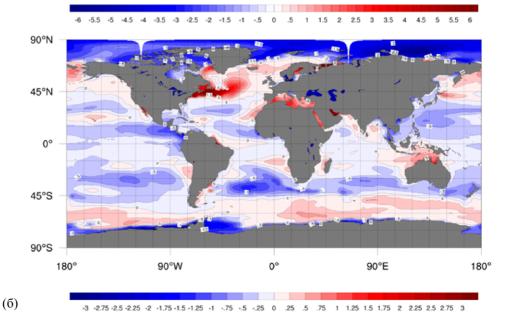
Зональные средние температура и солёность

Распределение температуры и солёности по широте и глубине напрямую отражает интенсивность меридиональной циркуляции. Хотя срок эксперимента существенно меньше характерного времени установления глубинной циркуляции, мы можем оценить направления дрейфа модели. Положительные аномалии около 60° с.ш. свидетельствуют об излишне интенсивном вертикальном обмене в этих районах и, в частности, могут объяснять недостаток теплопереноса в Северную Атлантику. Напротив, Антарктическая донная вода получается значительно холоднее, чем в данных измерений. Это может быть вызвано ошибками в данных внешнего форсинга, либо недостатком льда и, соответственно, завышенной интенсивностью конвекции вдоль антарктического континентального склона.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проекты 13-05-01141 и 12-05-01155).

Рис. 2. Аномалии средних поверхностных температуры (а, °C) и солёности (б, рѕи) за 100-110 годы эксперимента по отношению к среднегодовым значениям за первый год.





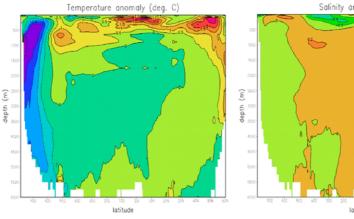


Рис. 3. Зональные средние значения аномалии среднедекадных температуры и солёности за 100-110 годы эксперимента по отношению к значениям за первый год.

Литература:

- 1. Schrum C., Backhaus J., 1999. Sensitivity of atmosphere-ocean heat exchange and heat content in North Sea and Baltic Sea. A comparative Assessment, Tellus, 51A, 526-549.
- 2. Griffies S.M. et al., 2009. Coordinated Ocean-ice Reference Experiments (COREs). Ocean Modelling, 26 (1-2), 1-46.
- 3. Калмыков В.В., Р.А. Ибраев, 2013. Программный комплекс совместного моделирования системы океан-лед-атмосфера-почва на массивно-параллельных компьютерах. Вычислительные методы и программирование, 14, 88-95.
- 4. Ибраев Р.А. и др., 2012. Вихреразрешающая 1/10° модель Мирового океана. Изв. РАН. ФАиО, 48(1), 45-55.
- 5. Murray R.J. 1996. Explicit Generation of Orthogonal Grids for Ocean Models, J. Comp. Physics, 126, 251-273.

The detection of atmospheric trace gas species by gas-analyzer based on Xe lamp

Smirnov S.S., Geiko P.P.

Tomsk State University, Institute of Monitoring of Climatic and Ecological Systems SB RAS, Tomsk, Russia E-mail: smirnov@imces.ru

ifferential optical absorption spectroscopy (DOAS) is a method to determine concentrations of trace gases by measuring their specific narrow band absorption structures in the UV and visible spectral region. A typical DOAS instrument consists of a continuous light source, i.e. a Xe-lamp, and an optical setup to send and receive the light through the atmosphere. It is also possible to use the sun or scattered sun light as light source. The typical length of the light path in the atmosphere ranges from several hundred meters to several kilometers. The DOAS instrument is able to scan the UV/Visible spectrum from 250 nm to 700 nm. This makes it possible to study the atmospheric chemistry of the measurement area and the boundary layer.

The basic equation of absorption spectroscopy, describing pure absorption of a single species in a homogeneous media

$$I(\lambda) = I_0(\lambda) \cdot \exp\left\{-L\left(\sum_{i=1}^{J} \sigma_j(\lambda)C_j + \sigma_M(\lambda)C_M + \sigma_R(\lambda)C_R\right)\right\}$$

where $I_0(\lambda)$ denotes the initial intensity emitted from some suitable source of radiation. $I(\lambda)$ is the intensity of the radiation after it has passed through a layer of thickness L, C_j is the average concentration of species j at wavelength λ . $\sigma_j(\lambda)$ denotes the absorption cross-section of gas species j, which can be measured in advance in the laboratory or can be taken from the literature. $\sigma_M(\lambda)$, $\sigma_R(\lambda)$ are the cross-sections of Mie and Rayleigh scattering.

Also, it is generally assumed that the attenuation due to Rayleigh scattering and Mie scattering, along with any optical transmission function of the system, is slowly varying with wavelength. As for the case of measured air spectra, the absorption cross-section of a given molecule can be split into two parts: "rapid" and "slow" variations with wavelength: $\sigma_j(\lambda) = \sigma_{j0}(\lambda) + \sigma'_j(\lambda)$, where $\sigma_{j0}(\lambda)$ varies monotonically with the wavelength λ , for instance, describing a general slope, (as for Mie Scattering, and Rayleigh Scattering). $\sigma'_j(\lambda)$ shows a rapid variations with λ , mostly due to an absorption line.

Advantages with DOAS: 1.Broad band features like Rayleigh and Mie scattering can be omitted. No need to estimate I_0 2. High specificity due to broad band spectra and long pathlengths. 3. Possible simultaneous measurements of atmospheric species

Disadvantages with DOAS: 1.Atmospheric turbulence induce intensity variations in the spectra. 2. Only a limited number of molecules have suitable absorptions in UV and visible region. 3. Rain, snow, fog and clouds make measurements impossible due to the strong attenuation in the UV-Visible region

In our research we used a modernized version of the gas analyzer DOAS-M1. The system consisted of a spectrometer with a photodiode array, a coaxial telescope, and an analyzer. A 150-W Xe arc lamp was employed as the light source. For recording the spectra, a monochrometer with a holographic grating and a photodiode array was adopted. The concentrations of the species in the atmosphere were extracted from the measured spectra by evaluating the measured spectra. The measured spectra were evaluated by using a least-squares method to obtain the average mixing ratio of several species in the atmosphere.

DOAS systems can also measure concentrations of many different trace gases, most of them involved in photochemical smog formation; O_3 , NO_2 , HCHO, HONO, H_2O , NO_3 , SO_2 , BrO, IO, OIO, and several aromatic hydrocarbons. A number of air pollutants concentration: CS_2 , NO_2 , O_3 , etc were trace measured with Xe lamp gas-analyzer, operating in UV spectral region. Minimally detected concentration is few ppb on pathlength 400 m with 2 min accumulation time. The results of the test measurements of pollutants near South sq., Tomsk are presented.

Измерение концентраций атмосферных газов трассовым газоанализатором на основе Xe-лампы

Смирнов С.С., Гейко П.П.

Национальный исследовательский Томский государственный университет, Томск, Россия Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, Томск, Россия E-mail: smirnov@imces.ru

помощью трассового газоанализатора в УФ области спектра проведены длительные измерения концентраций ряда загрязняющих атмосферу газов: O₂, NO_x, O₃, CH₂O и др., обсуждаются полученные результаты. Принцип работы газоанализатора основан на методе дифференциальной оптической абсорбционной спектроскопии. В качестве источника излучения использована дуговая ксеноновая лампа высокого давления.

Чистота атмосферного воздуха - один из важнейших показателей экологического состояния окружающей среды. В настоящее время среди классических методов (основанных на заборе проб) для измерения малых концентраций загрязняющих газов в атмосфере, широкое распространение находят и современные бесконтактные методы. Один из таких методов - метод дифференциальной оптической абсорбционной спектроскопии (ДОАС). Первые измерения с использованием принципов ДОАС были проведены в конце 1970-х годов. С тех пор этот метод все более широко используется как в научных исследованиях, так и в прикладных работах, связанных с мониторингом газовых загрязнений атмосферы.

На рис.1 приведена принципиальная схема, иллюстрирующая реализацию метода ДОАС. Излучение от источника проходит сквозь ослабляющий слой атмосферы и его спектр, после нормировки на спектр излучения анализируется и обрабатывается. С использованием базы спектральных данных газов удается восстановить их интегральную по трассе концентрацию.

Нетененные связывах поглотителей: $\mathcal{C}(\lambda)$ Потененные связывах погламенные связывах

Рис. 1. Ослабление оптического излучения.

Математически интенсивность принятого излучения на заданной длине волны описывается уравнением (1).

 $I(\lambda) = A(\lambda) \cdot I_0(\lambda) \cdot \exp\left\{-L\left(\sum_{j=1}^{J} \sigma_j(\lambda)C_j + \sigma_{Mie}(\lambda)C_{Mie} + \sigma_{Ray}(\lambda)C_{Ray}\right)\right\}$ (1)

где A (λ) — спектральная чувствительность, I_0 (λ) — исходная интенсивность, σ_j (λ) — сечение селективного поглощения газами σ_{Mie} (λ), σ_{Ray} (λ) — сечения рассеяния Ми и Рэлея, соответственно, C_j — концентрация j-го газа, C_{Mie} , C_{Ray} — концентрации аэрозольных и молекулярных рассеивателей [1].

Эффективность рассеяния Рэлея и Ми изменяются плавно с длинной волны, их спектральные зависимости можно представить в виде полинома малого порядка. Поперечное сечение поглощения газами, может быть разделено на высокочастотную (дифференциальную) и низкочастотную части:

$$\sigma_i(\lambda) = \sigma_{i0}(\lambda) + \sigma'_i(\lambda), (2)$$

где $\sigma_{i0}(\lambda)$, $\sigma'_{i}(\lambda)$ – низкочастотная и высокочастотная части, соответственно.

Подставим выражение (2) в формулу (1), при этом, низкочастотную часть включим в полином:

$$I(\lambda) = A(\lambda) \cdot I_0(\lambda) \cdot \exp\{-L \sum_{j=1}^J \sigma'_{\ j}(\lambda) C_j + \sum_p b_p \lambda^p \}_{\ ,\ (3)}$$
 где $\sum_p b_p \lambda^p$ — полином p -го порядка.

Прологарифмируем уравнение (3) и включим эффективность рассеивания в полином, получим выражение (4), зависящие от оптической глубины, полинома р-порядка, концентрации и длины атмосферной трассы.

 $\ln(I(\lambda)/I_0(\lambda)) = -L \cdot \sum_{j=1}^{J} \sigma'_{j}(\lambda)C_{j} + \sum_{p} b_{p}^* \lambda^{p}_{,} (4)$

где $\sum b_p^* \lambda^p$ – полином p-го порядка, с включенной эффективностью рассеивания. Уравнение (4) можно представить в дискретном виде:

$$S_k = \ln(I(\lambda_k)/I_0(\lambda_k)) = -L \cdot \sum_{j=1}^J \sigma'_j(\lambda_k) C_j + \sum_p b_p^* \lambda_k^{\ p} \ , \ k=1, \ n \ (5)$$
 Здесь n – число дискретных отсчетов сигнала.

По сути (5) представляет собой систему линейных уравнений, которую можно переписать в матричном виде и использовать тот или иной численный метод, обеспечивающий лучшую устойчивость, например метод регуляризации Тихонова [2].

В наших исследованиях мы использовали модернизированный вариант газоанализатора ДОАС-М1. На рис.2. приведена схема-диаграмма устройства. Для работы на атмосферной трассе используется телескоп, в котором совмещены передающий и приемный каналы.

Телескоп крепится на устройстве, ксеноновая лампа 1, мощностью 150 Вт, помещается вблизи фокуса главного сферического зеркала 4, формируется кольцевой пучок излучения, направляемый по атмосферной трассе на ретрорефлектор 7. Внутреннее кольцо сферического зеркала используется для приема отраженного ретрорефлектором излучения [3]. С помощью вторичного поворотного зеркала 3 принятое излучение направляется через центральное отверстие в сферическом зеркале на входную апертуру оптико-

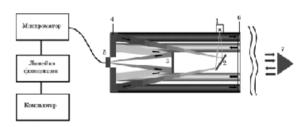


Рис.2. Схема-диаграмма устройства. 1 – Хе лампа; 2 – плоское поворотное зеркало.

волоконного световода (ОВС) 5. По оптическому волоконному кабелю световое излучение попадает на входную щель монохроматора. В плоском поле изображения устанавливается линейка фотодиодов, сигнал с которой оцифровывается и поступает в компьютер для дальнейшей обработки.

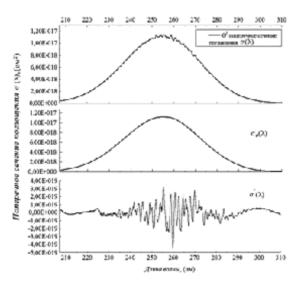


Рис.3. Разделения спектра поглощения озона (03).

Плавно изменяющиеся с длиной волны изменения в спектре, вызванные поглощением и рассеянием излучения атмосферным аэрозолем, а также молекулярным рассеянием света атмосферными газами исключаются из рассмотрения и не влияют на результаты измерений. Таким образом, в основе метода лежит разделение спектра на плавно меняющуюся $\sigma_{i0}(\lambda)$ и дифференциальную части $\sigma'_{i}(\lambda)$. Дифференциальная часть сравнивается со спектрами поглощения газовых компо-

Для того чтобы провести это сравнение, необходимо провести туже операцию по разделению спектра на плавно меняющуюся σ_0 (λ) и дифференциальную части $\sigma'(\lambda)$ для индивидуального спектра поглощения каждого газа. В качестве примера на рис.3 представлено выделение дифференциальной части из индивидуального спектра поглощения озона (О₃).

В период с 10 Января по 31 Марта 2014 года были проведены измерения концентрации озона, окислов азота и серы и др. газов в районе пл. Южная г. Томск. Длина светового пути (туда и обратно) составляла 484 м. Данные о погодных условиях брались с ультразвуковой метеостанции установленной в 15 метрах от места проведения измерений. Измерения проводились в среднем ультрафиолете (202 — 355 нм), что позволяло проводить суточные и дневные измерения для ряда газовых примесей в атмосфере — CH_2O , NO_X , O_3 , SO_2 , C_7H_8 , C_6H_6O , C_7H_6O , CS_2 .

Степень загрязнения атмосферного воздуха сильно колеблется во времени и в пространстве, причем колебания эти связанны как с особенностями источников поступления в воздух загрязняющих его веществ, так и с влиянием метеорологических и топографических факторов.

На рис.4 приведен график временного хода озона (O₃) за период проведения измерений. В интервале времени с 3:00 ночи по 17:00 дня за вес

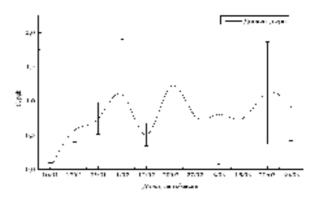


Рис.5. Временной ход концентрации диоксида серы.

интервале времени с 3:00 ночи до 17:00 дня за весь период измерений, замечено превышение среднесуточной ПДК. С 14:00 до 16:00 в 90% случаях превышение составляло более чем в 2 раза.

На рис.5 приведен график временного хода диоксида серы (SO_2). Замечено, что 60% всех измерений значение концентраций диоксида серы превышает среднесуточную ПДК в 1,2 раза. Детальный механизм трансформации соединений серы в тропосфере до настоящего времени не установлен. Наиболее вероятным представляется протекание реакций окисления с участием свободных радикалов:

$$H_2S + OH \rightarrow H_2O + HS,$$

 $HS + O_2 \rightarrow OH + SO.$

$$SO + HO_2 \rightarrow SO_2 + OH$$
.

Одним из основных источников диоксида азота (NO₂) являются двигатели внутреннего сгорания, топки промышленных котлов, печи. Выхлопные газы, содержащие реакционноспособные олефиновые углеводороды и оксиды азота, могут под действием солнечной радиации вступать в фотохимические реакции в атмосфере, приводящие к образованию токсичного смога, губительного для растений и конструкционных материалов и вредного для живых организмов.

Окисление оксида азота происходит также при взаимодействии с озоном:

$$NO + O_3 \rightarrow NO_2 + O_2$$

Под действием солнечного излучения происходит обратная реакция часть диоксида азота разлагается с образованием оксида азота и атома кислорода:

$$NO_2 \rightarrow NO + O^+$$
.

Атомарный кислород приводит к образованию в атмосфере озона. В результате взаимодействия диоксида азота с гидроксильным радикалом происходит образование азотной кислоты:

$$NO_2 + OH^- \rightarrow HNO_3$$
.

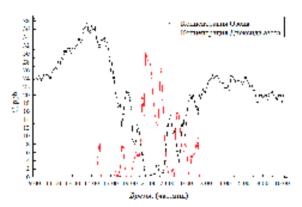


Рис.6. Суточный ход NO_2 и O_3 .

Образование азотной кислоты по вышеприведенной реакции является важной частью атмосферного цикла соединений азота. Около 44% HNO₃ в тропосфере образуется в результате именно этой реакции [4].

Анализируя график 6, можно наблюдать антикорреляцию концентраций диоксида азота и озона, что соответствует следующим рассуждениям: одним из основных источников озона являются атмосферные фотохимические реакции. С 9:00 до 21:00 наблюдалась высокая интенсивность солнечной радиации, в результате образовывались высокие концентрации озона (с пиком до 37ppb в 14:00). С 21:00 до часу ночи происхо-

дили окислительные процессы с образованием диоксида азота (с пиком до 30 ppb в 21:00). Поскольку с часу ночи и до раннего утра интенсивность автотранспорта минимальна, в результате происходит снижение концентрации диоксида азота до минимально детектируемых значений.

С помощью газоанализатора на основе ксеноновой лампы проведен ряд длительных параллельных измерений загрязняющих веществ, таких как O_3 , SO_2 , NO_X и др. Проведен анализ возможных трансформаций данных газов. Из анализа результатов измерений были выявлены некоторые особенности: -60% всех измерений, значение концентраций диоксида серы превышает среднесуточную ПДК в 1,2 раза; -для озона с 14:00 до 16:00 дня в 90% всех дневных измерений замечено превышение среднесуточной ПДК в 2 раза;

Литература:

- 1. Ulrich Platt, Jochen Stutz. Differential optical absorbtion spectroscopy. Springer, Springer-Verlag Berlin Heidelberg. 2008. 593 c.
- 2. Козинцев В.И., Белов М.Л., Городничев В.А., Федотов Ю.В.. Лазерный оптико-акустический анализ многокомпонентных газовых смесей. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2003.-352 с.
- 3. Коршунов В.А. // Оптический журнал, 2003.— Т. 70.—№ 6.— С. 53–56.
- 4. Бекетов В.Е., Евтухова Г.П., Коваленко Ю.Л.. Атмосфера: основные понятия и определения, физико-химические свойства пылей и газов. Харьков: ХНАГХ, 2009.- 46 с.

Application of ENPEMF method to engineering, geocryological studies and soil dynamics monitoring

Malyshkov S.Yu., Gordeev V.F., Malyshkov Yu.P., Polivach V.I.

Institute of Monitoring of Climatic and Ecological Systems SB RAS, Tomsk, Russia E-mail: msergey@imces.ru

Then designing and exploiter engineering structures, it is necessary to account for climate dynamics and technogenic impact onto surface as well as to assess a subgrade bearing value and to monitor these structures' state. Rules and regulations for geological survey for cold-weather building dictate necessity to forecast spatiotemporal variability of engineering and geocryological conditions of the territory under study in order to provide structure stability. In general, projected forecast time is determined by expected life of the built objects since changes of environmental conditions will occur and influence these objects during all period. Usually changes caused by environmental factors are very slow. However there are short-time unpredictable climate variations and technogenic geocryological changes that is impossible to take into account in long-term forecast but they are of serious hazard to constructions built on permafrost. Therefore a necessity arises to monitor soil state dynamics especially at industrial sites of high-risk facilities.

Method of Earth Natural Pulsed ElectroMagnetic Field (ENPEMF) allows one to determine all fault lines in natural rock including snaps, fractures, karst crack zones, permafrost, other inhomogeneities, as well as to monitor their dynamics in order to assess risks for constructions. The radiowave methods applied are based on electromagnetic emission, i.e. ability of dielectric materials to produce electromagnetic signals under external impact [1]. Electromagnetic emission appears in process of charges formation and relaxation on cracks when rock strain is changed. Rock strain arises under both material-dielectric troubles and break of electrolyte-filled capillars. In rocks, sources of natural electromagnetic fields are the following: soil structure inhomogeneities, occurrence of objects with different strain, cracks and microcracks. Mechanic-to-electric energy conversion under the effect of strain waves from the mantle, tides, microseisms, winds, and technological loads produces pulsed EM fields which make up the natural lithospheric EM background. According to long-term measurements in different areas, lithospheric ENPEMF responses have well-defined diurnal and seasonal rhythms because crustal strain waves are associated with Earth's rotation about its axis and about the Sun [2]. The diurnal cycles depend on the calendar dates, geographic coordinates, and geophysical properties [3]. Typical diurnal variations respond to changes in crustal rhythms, for instance, when a consolidated domain of several interlocked fault blocks forms during earthquake nucleation or when stress and strain change rapidly. Thus, EN-PEMF measurements can provide a universal tool for geophysical surveys and geodynamic monitoring or for any other application in geosciences.

The ENPEMF parameters are recorded with Multichannel Geophysical Recorder (MGR-01) using the patented procedure. The MGR-01 instruments are certified and registered in the State register of measuring equipment [4].

References:

- 1. Earth's Natural Electromagnetic Noises in a Very-Low Frequency Band / in: Electromagnetic Fields: Principles, Engineering Applications and Biophysical Effects. Editors: Jon M. Phillips.—Nova Science Publishers.—2012.—Chapter 1.
- 2. Eccentric Motion of the Earth's Core and Lithosphere: Origin of Deformation Waves and their Practical Application / in: The Earth's Core: Structure, Properties and Dynamics. Editors: Jon M. Phillips.—Nova Science Publishers.—2012.—Chapter 6. ISBN: 978-1-61324-584-2.
- 3. Malyshkov Yu.P., Malyshkov S. Yu. Periodic variation of geophysical fields and seismicity, their probable correlation with Erath core motion // Geology and Geophysics.—2009.—No.2.—p. 152-172.
- 4. Shtalin S.G. et al. Pulsed electromagnetic fields's recorder for monitoring of geodynamic processes and geophysical survey // Sensors and Systems.—2012.—No.4.—p. 32-37.

Метод ЕИЭМПЗ для инженерных, геокриологических исследований и мониторинга динамики грунтов

Малышков С.Ю., Гордеев В.Ф., Малышков Ю.П., Поливач В.И.

Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, Томск, Россия E-mail: msergey@imces.ru

В связи с естественной динамикой климата и техногенным изменением поверхностных условий при проектировании инженерных сооружений и их эксплуатации возникает острая необходимость, как оценки несущей способности грунтов, так и мониторинге их состояния. Свод правил ниженерногеологических изысканий для строительства в условиях многолетнемерзлых грунтов определяет необходимость прогноза изменений во времени и в пространстве инженерно-геокриологических условий исследуемой территории для сохранения устойчивости сооружений. Расчетный срок прогноза определяется в общем случае расчетным сроком эксплуатации проектируемых объектов, поскольку изменения условий будут происходить и воздействовать на эти объекты в течение всего времени их существования. Изменения, вызванные действием естественных факторов, большей частью сказываются весьма медленно, но существуют короткопериодные непрогнозируемые колебания климата и техногенные изменения геокриологических условий, учесть который в долгосрочном прогнозе невозможно, что подтверждается весьма значительной долей деформируемых зданий и сооружений от общего их числа, сооружаемого в районах распространения вечномерзлых грунтов. Поэтому возникает необходимость наблюдения за динамикой состояния грунтов, особенно на промышленных площадках объектов повышенной опасности.

Метод естественного импульсного электромагнитного паля Земли (ЕИЭМПЗ) позволяет локализовать все нарушения сплошности горных пород в условиях их естественного залегания, в том числе разломы, разрывные нарушения, зоны трещиноватости, карсты, талики, прочие неоднородности и контролировать их динамику с целью прогноза опасности для строительных объектов. Применяемые радиоволновые методы основаны на явлении электромагнитной эмиссии – способности диэлектрических материалов излучать электромагнитные сигналы при воздействии на них [1]. Электромагнитная эмиссия возникает в процессе образования и релаксации зарядов на плоскостях трещин при изменении напряженного состояния массива горных пород. Они возникают как при изменении сплошности материалов-диэлектриков, так и при разрыве, заполненных электролитом капилляров. В горных породах источниками естественных электромагнитных полей являются неоднородности структуры грунтов, разнонапряженные структуры, трещины и микротрещины. В результате механоэлектрических преобразований под действием деформационных волн из нижней мантии, приливных сил, микросейсмических колебаний, ветровой и техногенной нагрузки на этих источниках возникают импульсные электромагнитные поля, которые и создают естественный электромагнитный фон литосферного происхождения. Наблюдения за процессом электромагнитного излучения позволяет контролировать напряженно-деформированное состояние горного массива. Многолетние измерения в различных регионах показали, что ЕИЭМПЗ литосферного происхождения имеет ярко выраженный устойчивый суточный и сезонный ход. Это объясняется тем, что деформационные волны в земной коре связаны с неравномерным вращением Земли вокруг своей оси и вокруг Солнца [2]. Суточные хода, зависят от календарной даты, географических координат местности, ее геофизических особенностей [3]. Импульсные электромагнитные поля могут меняться как при изменении состояния грунтов, так при изменении воздействия на источники полей. Например, типичные суточные хода могут нарушаться в случаях изменения ритмичного движения земной коры в результате объединения ее отдельных блоков в консолидированную область при подготовке землетрясений или при изменении напряженно-деформированного состояния грунтов. Таким образом, метод регистрации ЕИЭМПЗ является универсальным инструментом для геофизической разведки, мониторинга геодинамической активности земной коры и научных исследований в области наук о Земле.

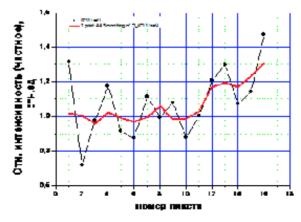


Рис. 1. Пространственные вариации электромагнитных шумов в местах отсутствия нарушений сплошности земной коры.

Проверка возможности картирования элементов экзогенной геодинамики в условиях вечномерзлых грунтов проводилась на Чаяндинском нефтегазоконденсатном месторождении в Якутии. В районе исследований площадь развития мерзлых грунтов достигает более 60 %. Наибольшая мощность мерзлой зоны на равнинах и плато составляет 100 –250 м. Максимальная глубина сезонного оттаивания составляет в песках – 3,0-4,6 м, в суглинках -2,0-2,7 м. Термокарстовые образования развиваются преимущественно в сильнольдистых аллювиальных и болотных отложениях. Прогрессируют процессы термокарста в парагенезисе с пучением. Причинами развития термокарста являются повышение среднегодовой температуры пород и изменение степени обводненности участков. В настоящее время процессы термокарста развиты на плоских вершинах водораздела, сложенных элювиальными образованиями на породах терригенно—карбонатной формации, и выражены в небольших котловинах глубиной до 0,5м. Связаны процессы термокарста с вытаиванием сегрегационных льдов. Интенсивно процессы термокарста стали развиваться с началом хозяйственного освоения в процессе разведки нефтегазового месторождения.

При камеральной обработке аномалии ЕИЭМПЗ сопоставлялись с результатами дистанционного морфотектонического анализа, предоставленного ООО "МГУ-Геофизика". Перед началом работ мы располагали обзорной морфологической схемой масштаба 1:200000, что не позволяло точно привязаться к имеющейся схеме на месте исследований. После завершения работ данные сопоставлялись с картами дешифрирования 1:50000.

Регистрация параметров ЕИЭМПЗ производится многоканальным геофизическим регистратором (МГР-01). Регистраторы «МГР-01» сертифицированы, зарегистрированы в государственном реестре средств измерений [4]. Методически выделение пространственных аномалий ЕИЭМПЗ проводилось путем сравнения данных, зарегистрированных на каждом пикете измерений с данными вариационной станции по оригинальной запатентованной методике.

На рис.1 представлены пространственные вариации ЕИЭМПЗ в местах отсутствия тектонических нарушений и экзогенной геодинамики земной коры. На этом и следующих графиках тонкой линией с точками приведены данные фактических измерений, жирной кривой результат их сглаживания скользящим окном по 3 точкам. Хотя в целом исследуемая территория имеет сложную тектоническую структуру, аномалии электромагнитных шумов на этом участке не превышают 40% относительно фоновых.

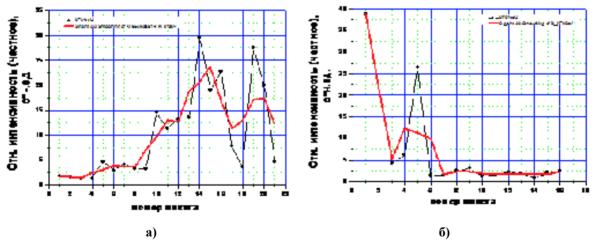


Рис. 1. Пространственные вариации электромагнитных шумов вблизи элементов экзогенной геодинамики. а) термокарстовая западина (воронка); б) карстовая западина (воронка).

На Рис.2 представлены пространственные вариации ЕИЭМПЗ при пересечении карстовой и термокарстовой воронки. На этих графиках аномальные значения шумов в 30 -40 раз превышают фоновые значения.

Возможность применения метода ЕИЭМПЗ для мониторинга динамики изменения напряженно-деформированного состояния грунтов подтверждена успешно действующими системами прогноза опасных геологических процессов на магистральных газопроводах [2]. Таким образом, метод естественных импульсных электромагнитных полей земли может применяться как при выборе мест для строительства инженерных сооружений в условиях вечномерзлых грунтов, так и для мониторинга состояния этих грунтов в условиях техногенной нагрузки.

Литература

1. Electromagnetic Fields: Principles, Engineering Applications and Biophysical Effects. Editors: Jon M. Phillips, 2012 Nova Science Publishers. (Chapter 1, Earth's Natural Electromagnetic Noises in a Very-Low Frequency Band).

- 2. The Earth's Core: Structure, Properties and Dynamics. Editors: Jon M. Phillips, 2012 Nova Science Publishers, Inc. ISBN: 978-1-61324-584-2 (Chapter 6 Eccentric Motion of the Earth's Core and Lithosphere: Origin of Deformation Waves and their Practical Application).
- 3. Малышков Ю.П., Малышков С.Ю. Периодические вариации геофизических полей и сейсмичности, их возможная связь с движением ядра земли. // Геология и геофизика 2009. №2, с. 152-172.
- 4. Шталин С.Г. и др. Регистратор импульсных электромагнитных полей для мониторинга геодинамических процессов и геофизической разведки// Датчики и системы. 2012. №4, с32-37.

Statistical model of cloudiness imagery texture by MODIS data

¹Kurianovich X.V., ^{1,2}Astafurov V.G., ¹Skorokhodov A.V.

- ¹ V.E. Zuev Institute of Atmospheric Optics SB RAS, Tomsk, Russia
- ² Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics, Tomsk, Russia

E-mail: astafurov@iao.ru, ksuyain@mail.ru, vazime@yandex.ru

oday is a very urgent problem of constructing effective mathematical models different cloud types for decision meteorological and climatological thematic tasks and improve efficiency of cloud classification algorithms on satellite imagery. Clouds are divided by 27 types, which include 10 main cloud forms, their subtypes and some combinations in accordance with the meteorological standard. Results of the earth remote sensing from space are the main source of obtaining information about global cloud field.

The methodology comparing archive data of ground weather station network from satellite imagery was used for searching specific imagery of cloud types. Sets of 200 pieces 21×21 pixel for everyone from the 25 cloud types were formed with using this method.

Three methods of statistical approach to texture images characterization Gray-Level Co-occurrence Matrix, Gray-Level Difference Vector and Sum And Difference Histogram were used for description of different cloud types imagery. All these methods based on obtaining statistical information about the mutual pixel arrangement with certain brightness in the studied image fragment. We used the set including 132 texture features for description of everyone cloudiness image fragment.

The report contains the results of constructing a texture features statistical model for 25 cloud types. Histograms of the textural features values and selected distributions and their parameters with used of criteria Kolmogorov-Smirnov are presented.

In the second part of the report discusses the redundancy of the statistical model for solving the problem of automatic cloud classification on satellite imagery MODIS. The report presents the results of effective texture features sets formation for algorithms N-nearest neighbors and probability neural network based on method Add. The sets of informative textures features consist of 17 signatures for N-nearest neighbors and 19 – for and probability neural network.

The constructed texture imagery statistical model of 25 cloud types is addition to the existing models of cloud fields. This model may be used for constructing more effective automatic cloud classifiers on satellite data, for example, based of fuzzy-logic methods. This will not only increase the number of allocated cloud types, but also to identify multilayer clouds.

Статистическая модель текстуры изображений облачности по данным MODIS

¹Курьянович К.В., ^{1,2}Астафуров В.Г., ¹Скороходов А.В.

- 1 Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, Томск, Россия
- ² Томский государственный университет систем управления и радиоэлектроники, Томск, Россия E-mail: ksuyain@mail.ru, astafurov@iao.ru, vazime@yandex.ru

рогноз погоды, моделирование климата и обеспечение безопасности полетов воздушных судов требуют сведения о типах облачности. Облачность является одним из основных факторов, влияющих на перенос потоков солнечной и земной радиации в системе «атмосфера — подстилающая поверхность». Согласно метеорологическому стандарту облака разделяются по 27 разновидностям, к ко-

торым относятся 10 основных форм облачности, их подтипы и некоторые сочетания [1]. В настоящее время актуальной является проблема построения эффективных математических моделей различных типов облачности, которые могут быть использованы при решении различных тематических задач, связанных с метеорологией и климатологией [2]. Такие модели могут также использоваться для повышения эффективности алгоритмов автоматической классификации облачности по спутниковым снимкам.

Основным источником получения информации о глобальном поле облачности являются результаты дистанционного зондирования Земли из космоса. В данной работе использовались спутниковые снимки MODIS с пространственным разрешением 250 м, полученные в видимой области спектра (0.62 – 0.67 мкм) в дневное время и при отсутствии снежного покрова. Для поиска характерных изображений различных разновидностей облаков, необходимых для построения статистической модели, применялась методика сопоставления архивных данных сети наземных метеостанций со спутниковой съемкой [3]. В результате исследований были найдены спутниковые снимки для 25 из 27 возможных типов облачности, кроме разновидности перисто-слоистых облаков и высококучевых облаков при хаотическом виде неба, что объясняется их низкой повторяемостью по всему земному шару [4]. При этом для каждой из 25 разновидностей был сформирован набор, состоящий из 200 фрагментов характерных изображений облачности размером 21 × 21 пиксель.

Для описания изображений различных типов облачности применялся текстурный подход, в соответствии с которым облака описываются как единая и целостная структура, а не попиксельно. При этом использовалось три метода статистического подхода к описанию текстуры изображений: Gray-Level Co-оссигтеnce Matrix [5], Gray-Level Difference Vector [6] и Sum And Difference Histogram [7]. Все эти методы основаны на получении статистической информации о взаимном расположении пикселей с определенной яркостью в исследуемом фрагменте изображения (в нашем случае облачности). На основе этих методов вычисляется текстурные признаки (ТП), к числу которых относятся математическое ожидание, дисперсия, контраст, энтропия и ряд других [5-7]. Для описания фрагментов изображения облачности использовался набор, состоящий из 132 ТП.

По наборам фрагментов изображений различных типов облачности для всех ТП были построены гистограммы значений ТП, с помощью которых были подобраны наилучшие распределения и найдены оценки их параметров. Для этого использовался критерий Колмогорова-Смирнова, основанный на определении меры расхождения

$$D_n = \sup_{|x| < \infty} \left| F_n(x) - \hat{O}(x) \right|$$

между теоретической $F_n(x)$ и эмпирической $\Phi(x)$ функциями распределения (гистограммой) [8]. Здесь $\sup(.)$ обозначает точную верхнюю границу рассматриваемой разности. Для каждого ТП и всех типов облачности выполнялся перебор распределений и делался выбор исходя из минимума величины D_n .

$$D_{\min} = \min_{i} D_n^{(i)}$$

Всего рассматривалось 41 распределение [9]. В докладе представлены результаты построения статистической модели текстуры изображений для 25 разновидностей облачности.

Во второй части доклада обсуждается избыточность построенной статистической модели на примере решения задачи автоматической классификации облачности по спутниковым снимкам MODIS. Очевидным, что информативность ТП различна, поэтому полный набор, состоящий из 132 характеристик текстуры, может являться не только избыточным, но и не давать наилучших результатов классификации. При этом могут существовать различные наборы ТП, эффективность которых является сходной. В докладе представлены результаты формирования наборов ТП для двух классификаторов.

Для выбора информативных ТП использовалась методика Add [10], которая основана на циклическом переборе всех характеристик текстуры и выбором наиболее эффективных из них по результатам классификации облачности на каждом шаге. Наборы информативных ТП сформированы с помощью классификаторов, выполненных на основе алгоритма N-ближайших соседей [11] и вероятностной нейронной сети [12]. Эти алгоритмы относятся к методам классификации без учителя, что существенно ускоряет процедуру формирования наборов эффективных ТП. По результатам применения методики Add с алгоритмом N-ближайших соседей был сформирован набор, состоящий из 17 ТП, а для вероятностной нейронной сети – из 19 признаков. Следует отметить, что полученные наборы ТП практически не имеют совпадающих признаков. При этом качество результатов классификации рассмотренными алгоритмами существенно не отличается. Ранее нами был предложен другой подход к формированию наборов эффективных ТП [13]. Таким образом, можно сделать вывод, что для решения задачи классификации облачности, построенная в работе статистическая модель текстуры ее изображений является избыточной и может быть сокращена до 17 или 19 ТП в зависимости от выбора типа классификатора. На рис. 1 приведен пример классификации облачности по 25 типам на снимке MODIS побережья Аргентины от 09.01.2009 с использованием алгоритма N-ближайших соседей (рис. 1б) и вероятностной нейронной сети (рис. 1в).

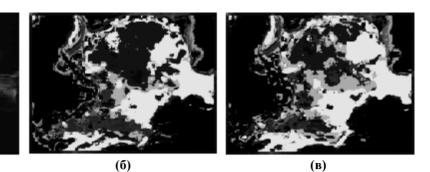


Рисунок 1 — Результат классификации облачности по 25 типам на спутниковом снимке MODIS побережья Аргентины (а) с использованием алгоритма N-ближайших соседей (б) и вероятностной нейронной сети (б).

Предложенную статистическую модель текстуры изображений облачности можно рассматривать как дополнение к существующим моделям облачных полей. Эту модель можно использовать для построения более эффективных автоматических классификаторов облачности по спутниковым данным, например, на основе методов нечеткой логики, что позволит не только увеличить число выделяемых типов облачности, но и идентифицировать многослойную облачность.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 14-07-31018 мол a.

Литература:

- 1. Код для оперативной передачи данных приземных гидрометеорологических наблюдений с сети станций Госкомгидромета СССР, расположенных на суше (включая береговые станции) КН-01, национальный вариант международного кода FM-12-IX SYNOP. Л.: Гидрометеоиздат, 1989. 64 с.
- 2. Baran A. A review of the light scattering properties of cirrus // Journ. Quant. Spectrosc. Radiative Transfer. 2009. V. 110. P. 1239–1260.
- 3. Астафуров В.Г., Скороходов А.В. Нейросетевой классификатор облачности по спутниковым данным // Информационные технологии. 2012. № 7. С. 32-37.
- 4. Облака и облачная атмосфера. Справочник / Под ред. Мазина И.П., Хргиана А.Х. Л.: Гидрометеоиздат, 1989. 647 с.
- 5. Haralick R.M., Shanmugam K, Dinstein I. Textural features for image classification // IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics. November 1973. V. SMC–3. N. 6. P. 610-621.
- 6. Weszka J.S., Dyer C.R., Rosenfeld A. A comparative study of texture measures for terrain classification // IEEE Transaction on Systems, Man and Cybernetics. April 1976. V. SMC-6. N. 4. P. 269-285.
- 7. Unser M. Sum and difference histograms for texture classification // IEEE Transaction on Systems, Pattern Analysis and Machine Intelligence. January 1986. V. PAMI–8. N. 1. P. 118-125.
- 8. Кобзарь А.И. Прикладная математическая статистика. Для инженеров и научных работников. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2006. 816 с.
- 9. MathWave [electronic resource] / EasyFit Easily Fit Distributions to Your Data! Electronic data. Dnepropetrovsk: 2004 2014. URL: http://www.mathwave.com/help/easyfit/index.html (access data 20.03.2014).
- 10. Загоруйко Н.Г. Прикладные методы анализа данных и знаний. Новосибирск: ИМ СО РАН, 1999. 270 с.
- 11. Гонсалес Р., Вудс Р. Цифровая обработка изображений. М.: Техносфера, 2005. 1072 с.
- 12. Specht D.F. Probabilistic neural networks // Neural Networks. 1990. V. 3. P. 109-118.
- 13. Астафуров В.Г., Скороходов А.В. Сегментация спутниковых снимков облачности по текстурным признакам на основе нейросетевых технологий // Исследование Земли из космоса. 2011. N 6. С. 10-20.

High-precision laser-based instrumentation system as a tool for assessment of post-fire effects on fresh burnt areas in Central Siberia

¹Bryukhanov A.V., ¹Panov A.V., ²Kalyakin S.V., ²Guziy V.M., ¹Sidenko N.V.

- ¹ V.N. Sukachev Institute of Forest SB RAS, Krasnoyarsk, Russia
- ² «Vostsiblesproject» Department of FSUE «Roslesinforg» Krasnoyarsk, Russia

E-mail: institute_forest@ksc.krasn.ru

urrently, for solution of the various scientific issues in the forestry and forestry pyrology an accurate determination of burning intensity remains a high-priority task. This parameter is valuable for determining of post-fire effects within the fire scarce areas (prediction of post-fire mortality of forest, reforestation and subsequent evaluation of the probable type of overgrowth, etc.), and for the assessment of carbon emissions during biomass burning.

A laser-based field instrumentation system together with the other measurements (assessment of biomass stores, forest conditions, undergrowth, vegetation and soil descriptions etc.) provides us a comprehensive picture of spatial development of wildfires within the plots. This system permits estimating the relationships between the spatial parameters and intensity of burning and thus giving us an extent of fire damage of trees with the other related characteristics within the plot (i.e. location of undergrowth, slash, etc.). Moreover it permits assessing the impact of landscape characteristics and natural barriers on the spread of fire edge.

We present our contribution to studying of fire influence on atmospheric composition and post-fire ecosystem C flux deduced from the large-scale wildfires that happened in 2012 year in the Zotino tall tower footprint area. The main task of this study was a comprehensive in situ estimation of wildfire influence on forest ecosystems to assess temporal changes in boreal forest carbon dynamics following fire. Further linking simultaneous instrumental atmospheric observations, GIS-based estimates of burned areas, and ecosystem carbon uptake calculations is vital for calculations of direct (biomass burning) and un-direct (ecosystem restoration) emissions of greenhouse gases to the atmosphere.

On the field we performed a comprehensive ecological description and mapping of five plots established in the dominant ecosystem types within the fire scarce areas (with max burn severity). The detailed maps with spatial distribution of trees and all other related characteristics (forest evaluation data, living conditions, damages), undergrowth and coarse woody debris within the plots have been obtained. Analysis of the obtained data set allowed to reconstruct the type of fire happened in 2012 y on the plot and assess the combustion efficiency for different biomass components.

Analysis of spatial distribution of trees with forest evaluation data, damages, and tree species has shown that the individual characteristics of the trees such as damage and main combustion conductors near the tree play as equally important role in the possibility of tree to survive during high - intense ground fire (coefficient of correlation - 0.81) as tree breed (correlation coefficient - 0.74) and as stem diameter (correlation coefficient - 0.86).

For the mature trees we found out that stores of woody debris, litter, duff, and forest floor serve the more critical parameters than close disposition of undergrowth or other mature trees.

The work was supported financially by project of RFBR #13-05-98053, and grant of president of RF for young scientists MK-1691.2014.5.

Применение методов наземной высокоточной лазерной съемки для оценки послепожарных последствий на свежих гарях и горельниках в Центральной Сибири

¹Брюханов А.В., ¹Панов А.В., ²Калякин С.В., Сиденко Н.В., ²Гузий В. М.

E-mail: institute_forest@ksc.krasn.ru

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время для решений различных научных вопросов в области лесной пирологии и лесоводства первостепенной задачей остается оценка точного определения интенсивности горения на конкретном участке. Данный показатель важен как для определения послепожарных последствий на прой-

¹Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, Красноярск, Россия

² Филиал федерального государственного унитарного предприятия «Рослесинфорг» «Востсиблеспроект», Красноярск, Россия

денных огнем лесных участках (прогнозирование послепожарной гибели взрослого древостоя, оценки последующего лесовосстановления и вероятного типа зарастания и т.д.), так и для оценки пожарных эмиссий углеродсодержащих газов произошедших во время горения с той или иной территории. Получить максимально точные данные можно только находясь непосредственно рядом с оцениваемой территорией во время горения, что на практике бывает очень редко, так как это очень опасно, и подобные исследования могут носить крайне локальный характер. Как правило, подобные высокоточные натурные данные специалисты получают в результате сложных в реализации и дорогостоящих экспериментальных природных пожаров или предписанных палов (Иванова и др. 2007, Валендик и др. 2011, Goldammer et. all, 2013). Такие исследования предполагают проведение различных измерений "до", "во время" и "после" прохождения огня.

На практике в большинстве случаев исследователи оказываются на пройденном огнем участке через несколько недель, месяцев или даже лет. В подобных ситуациях специалисты могут получить информацию о состоянии лесного участка уже "после" прохождения огня. И чем позже будет проведена такая оценка на обследуемой территории после пожара, тем адекватно ниже по качеству она будет. Между тем, чтобы корректно определить степень влияния пожара на растительный и животный мир конкретной территории подобная оценка должна быть максимально точной.

Использование наземной лазерной съемки совместно с другими видами исследовательских работ (оценка запасов горючих материалов, оценка состояния древостоя, подроста и подлеска, геоботанические и почвенные описания) позволяют получить достаточно полную пространственную картину развития пожара на конкретном участке. Применяя данный метод можно оценить взаимосвязи между расположением интенсивностью горения и как следствие степенью повреждения древостоя с расположением на пробной площади куртин подроста, подлеска, скоплениями валежа и т.д. А также оценить влияние рельефа и естественных преград на развитие кромки пожара.

Целью нашей работы было проведение комплексной оценки пожарного воздействия на лесные экосистемы на территории охвата измерений обсерватории "ZOTTO" – станции высокоточного атмосферного мониторинга, с целью дальнейшей интеграции данных лесобиологических исследований с инструментальными измерениями состава атмосферного воздуха, для оценки вклада прямых (при горении биомассы) и опосредованных (при трансформации биогеоценозов) эмиссий в атмосферу региона.

РАЙОН И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

В районе проведения работ в среднетаежной подзоне Приенисейской Сибири в непосредственной близости от обсерватории "ZOTTO" (60 с.ш. 90 в.д.) доминируют преимущественно светлохвойные лесные сообщества (прежде всего сосновые), а также различные виды редин, болот и нарушенные лесные участки (в первую очередь это еще не возобновившиеся гари и вырубки). Темнохвойные леса встречаются относительно редко, в основном вдоль рек и ручьев, лиственные насаждения также немногочисленны и тяготеют к гарям и вырубкам, где в силу разных причин не произошло лесовосстановление хвойными породами. В живом напочвенном покрове под пологом леса на возвышенностях доминируют очень горимые беломошниковые (кладониевые) сосняки, на пониженных участках наиболее распространены кустарничково-зеленомошные типы леса (брусничные, багульниковые, голубичные и т.д.), в заболоченных участках широко встречаются сфагновый покров.

Прежде чем приступить к закладке пробных площадей были проведены подготовительные работы включающие в себя изучение имеющихся лесоустроительных материалов, анализ космических снимков разного уровня разрешения, а также были проведены маршрутные обследования территории вдоль существующей дорожной сети. Общим критерием при подборе участков служила их максимальная однородность на необходимой площади (как по видовому составу и возрасту древостоя, так и по типу напочвенного покрова и видимым пожарным повреждениям). Для того, что бы данные можно было сравнивать с пирологической точки зрения подбирались участки с максимальной одинаковой степенью повреждения древостоя после низовых пожаров — со следами прохождения наиболее сильных устойчивых низовых пожаров.

Для оценки степени воздействия пожаров на древостой, лесовосстановление и оценки изменения структуры и видового разнообразия живого напочвенного покрова в 2013 году были заложены пять стационарных пробных площадей на гарях и горельниках 2012 г. Для исследования подобраны участки в доминирующих типах леса в районе обсерватории "ZOTTO". Пробные площади были заложены в сосняке лишайниковом, сосняке зеленомошном, сосняке сфагновом на болоте (сосновый рям), смешанном разнотравном типе леса, и насаждении с преобладанием темнохвойных пород деревьев. На каждом из участков находилось не менее 100 деревьев с высотой от 1,3 метров. Размеры пробных площадей варьировали от 30х30 м до 40х40 м в зависимости от густоты древостоя на участке.

Подбор, закладка и описание пробных площадей проводились согласно методическим указаниям, изложенным в работах (Мелехов, 1975; Сукачев, Зонн, 1961). При маршрутных исследованиях закладываются временные пробные площади, и делаются лесоводственно-геоботанические описания выделов. При этом указывается местоположение участка, а на гарях - вид и интенсивность пожара. Описание

подлеска, травяно-кустарничкового и мохово-лишайникового ярусов и учет всходов и подроста древесных пород на постоянных пробных площадях проводятся на площадках размером 2х2 м. Степень однородности состава и строения подчиненных ярусов на пробных площадях оценивались по коэффициентам сходства между учетными площадками по видовому составу (по формуле Серенсена) и по ценотической значимости слагающих их видов методом наименьших сумм (Василевич, 1969). Сравнение перечисленных показателей, полученных в лесу и гарях разных типов экосистем и интенсивности, характеризует динамические процессы, вызванные пожарами.

Для определения количественных и качественных характеристик насаждений на пробных площадях и оценки крупномерных древесных остатков использовалась стандартная методика сплошного перечета с помощью наземной высокоточной лазерной съемки применяемая при государственной инвентаризации лесного фонда (ГИЛ) предприятиями ФГУП "Рослесинфорг" на территории РФ (согласно Приказу Рослесхоза №472 от 10.11.2011 «Об утверждении методических рекомендаций по проведению государственной инвентаризации лесов»). Для оценки запасов остальных растительных горючих материалов (опад, лесная подстилка, живой напочвенный покров и т.д.) использовалась методика разработанная под руководством Н.П. Курбатского (1970, 1974 г.). Данная методика предполагает закладку небольших пробных площадок (20х25 см) на запас лесных горючих материалов (ЛГМ), где количество площадок четко регулируется в зависимости от размеров общей площади оцениваемого участка.

Дополнением к уже существующим методикам оценки состояния основного полога древостоя, подроста и подлеска путем сплошного перечета, стало пространственное картирование всех деревьев (с высоты 1,3 метра), с указанием детальной информации по повреждениям для каждого дерева. Данные исследования включали в себя оценку жизненного состояния по 10-ти бальной шкале, наличия имеющихся видимых до- и послепожарных повреждений, а также указание индивидуальных особенностей каждого дерева (двухвершинность, суховершинность, наклон ствола и т.д.). В дальнейшем для удобства работы 10-ти бальная шкала применяемая при ГИЛ была адаптирована к более распространенной 5-ти бальной лесоводственной методики оценки жизненного состояния деревьев по характеристике кроны (Алексеев, 1989; Руководство по проведению санитарно-оздоровительных мероприятий, 2007). Основным отличием являлось то, что уже существующий до пожара "старый" сухостой при оценке жизненного состояния не выделялся в шестую группу, а шел отдельной категорией при учете древостоя.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

При обработке полученных результатов натурных исследований были получены пространственные комплексные характеристики пробных площадей после устойчивых низовых пожаров в основных типах леса, как в виде визуального плана, так и в виде числовых данных. Объединение планов с другими данными позволили подготовить подробные карты пространственной структуры основного полога древостоя с учетом всех полученных *in situ* показателей (таксационные, жизненное состояние, повре-

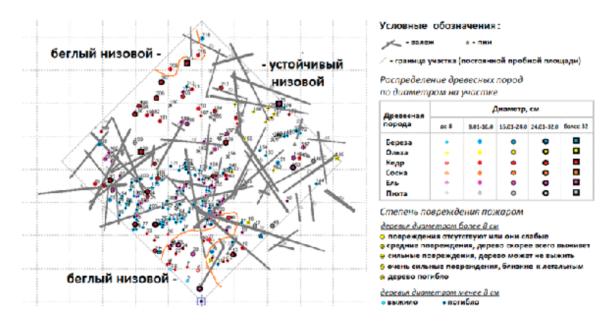


Рис. 1. Стационарная пробная площадь, обследованная с применением наземной лазерной съемки, для которой реконструирована детальная картина характера горения. На рисунке отмечено что до 94% территории пробной площади было пройдено устойчивым низовым пожаром, а оставшиеся 6% - беглым. Изменение интенсивности горения на данном участке определялось прежде всего запасами основных проводников горения, тогда как рельеф и ветер на интенсивность горения влияния практически не оказывали.

ждения), подроста и подлеска, и расположения сухостоя и крупномерных древесных остатков (Рис.). Анализ всего спектра полученных данных позволил реконструировать тип пожара произошедшего за год до полевых работ на стационарных пробных площадях в разных типах леса, и оценить полноту сгорания для различных групп лесных горючих материалов (ЛГМ).

В ходе сопряженного анализа пространственной структуры основного полога древостоя, его таксационных характеристик, породного состава, и характера повреждений, выявлено, что индивидуальные особенности дерева (характер повреждения, наличие вокруг дерева основных проводников горения) играют не менее важную роль в его способности пережить высоко-интенсивный низовой пожар (коэф. корреляции – 0,81), чем порода (коэффициент корреляции – 0,74) и диаметр ствола (коэффициент корреляции – 0,86). Как отмечалось ранее многими исследователями для взрослых деревьев высота нагара на стволах практически для всех пород является менее важным фактором влияющим на выживаемость деревьев, чем повреждение их корневой системы. В связи с этим для взрослых деревьев гораздо более критичным является приуроченность к стволу куртин подроста и подлеска или близкое расположение других взрослых деревьев, а также скопления валежа, большого запаса опада и лесной подстилки.

выводы:

- 1. В ходе проведенных исследований на практике показана эффективность методов высокоточной наземной лазерной съемки для решения научных задач в области лесоводства и лесной пирологии.
- 2. Наряду с породой и диаметром ствола, выявлено высокое значение индивидуальных особенностей дерева и его местопроизрастания по отношению к скоплению основных проводников горения и условий микрорельефа на участке для его пожароустойчивости.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 13-05-98053, и Гранта Президента Российской Федерации для Государственной поддержки молодых российских ученых МК-1691.2014.5.

Литература:

- 1. Алексеев В.А. Диагностика жизненного состояния деревьев и древостоев // Лесоведение. 1989. N = 4. C.51-57.
- 2. Баранов Н.М., Евдокименко М.Д., Курбатский Н.П. О методике определения запасов лесных горючих материалов. // Вопросы лесной пирологии. Красноярск: ИЛиД СО АН СССР, 1974. С. 149-166.
- 3. Валендик Э.Н., Верховец С.В., Кисиляхов Е.К., Иванова Г.А., Брюханов А.В., Косов И.В., Голдаммер Й. Технологии контролируемых выжиганий в лесах Сибири: коллективная монография. Красноярск: СФУ, 2011. 160 с.
- 4. Василевич В.И. Статистические методы в геоботанике. Ленинград: Наука. 1969. 232 с.
- 5. Иванова Г.А., Иванов В.А., Кукавская Е.А., Конард С.Г., Макрей Д.Д. Влияние пожаров на эмиссии углерода в сосновых лесах Средней Сибири // Сибирский экологический журнал. №6. Новосибирск: Российская академия наук, 2007. С. 885—895.
- 6. Курбатский Н.П. Исследование количества и свойств лесных горючих материалов. // Вопросы лесной пирологии. Красноярск: ИЛиД СО АН СССР, 1970. С. 5-58.
- 7. Мелехов И.С. Биология, экология и география возобновления леса. // Возобновление леса. М.: Колос, 1975. С. 4-21.
- 8. Приказ Рослесхоза от 10 ноября 2011 года №472 «Об утверждении Методических рекомендаций по проведению государственной инвентаризации лесов» (с изменениями от 05.04.2012) http:// www.rosleshoz.gov.ru/docs/leshoz/199
- 9. Приказ Рослесхоза от 29.12.2007 №523 "Об утверждении методических документов" (вместе с "Руководством по проектированию, организации и ведению лесопатологического мониторинга", "Руководством по проведению санитарно-оздоровительных мероприятий", "Руководством по планированию, организации и ведению лесопатологических обследований", "Руководством по локализации и ликвидации очагов вредных организмов") http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_129394/
- 10. Сукачев В.Н., Зонн. С.В. Методические указания к изучению типов леса. М.: Изд-во АН СССР, 1961. 144 с.
- 11. Goldammer, J.G. (ed.) 2013. Prescribed Burning in Russia and Neighbouring Temperate-Boreal Eurasia. A publication of the Global Fire Monitoring Center (GFMC). Kessel Publishing House, 326 p., ISBN 978-3-941300-71-2

Instrumental monitoring of climatic parameters at the «ZOTTO» observatory in the middle taiga subzone of Central Siberia

¹Sidenko N.V., ²Kolle O., ¹Panov A.V., ²Heimann M.

- ¹ V.N. Sukachev Institute of Forest SB RAS, Krasnoyarsk, Russia
- ² Max-Planck-Institute for Biogeochemistry, Germany

E-mail: institute_forest@ksc.krasn.ru

siberian forests play an important biospheric role which is attributed to large stores of phytomass and dead organic matter in the ecosystems and carbon cycle features. They comprise approximately 10% of the global carbon stored in vegetation and soils, and contribute up to 5-10% of the global terrestrial net primary productivity. During last decades Siberian forests were strongly affected by the industrial development and changes in land use and management in the region. It disturbs the ecological equilibrium of forest ecosystems, leads to changes of their biodiversity and evidently decreases their ecological potential as a carbon sink. How fast and how strong these feedback processes operate and interact is still an open question.

In 2006 as part of a global cooperative effort to provide this knowledge, in the framework of the ISTC partner project "Biogeochemical Responses to Rapid Climate Changes in Eurasia", the Zotino Tall Tower Observatory (ZOTTO; www.zottoproject.org) – scientific platform for long-term monitoring of atmospheric composition and climatic changes was constructed in Central Siberia (near 60°N, 90°E) by joint efforts of the German Max Planck Society and the V. N. Sukachev Institute of Forest SB RAS in Krasnoyarsk. On the base of this scientific platform consisting of a 304m-tall mast, a partially underground measurement laboratory, and auxiliary infrastructure facilities the continuous measurements of trace gases (CO₂, CH₄, CO, O₃, NO_x), atmospheric aerosols and meteorological variables are performed.

The aim of the study was to evaluate main climatic parameters of the middle taiga in Central Siberia, based on the meteorological data set from «ZOTTO» observatory. In the study we present the analysis of meteorological data obtained during 5 years (2009-2013) of measurements at «ZOTTO» observatory. This study reflects the variability of climatic parameters and can be used for identifying of the general patterns and trends in climatic conditions of the area. Due to relatively high homogeneity of landscape in study area the analyzed data set of meteorological variables is valid for the tall tower footprint (~1000 km²) and will be used for further study of GHG's behavior over Central Siberian forest ecosystems.

The work was supported financially by ISTC Project # 2757p, project of RFBR # 13-05-98053, and grant of president of RF for young scientists MK-1691.2014.5.

Инструментальный мониторинг климатических параметров на базе обсерватории «ZOTTO» в подзоне средней тайги центральной Сибири

¹Сиденко Н.В., ²Колле О., ¹Панов А.В., ²Хайманн М.

- 1 Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, Красноярск, Россия
- ² Институт биогеохимии им. М. Планка, Германия

E-mail: institute_forest@ksc.krasn.ru

В работе представлен анализ климатических данных, полученных в ходе непрерывных метеорологических наблюдений на базе обсерватории «ZOTTO» - высокотехнологичной научной платформе в Центральной Сибири для долговременного (> 30 лет) мониторинга газо-аэрозольного состава атмосферы и процессов атмосферно-экосистемного обмена. В течение 5 лет (2009-2013 гг.) регистрировался полный набор параметров, необходимых для изучения климатической обстановки в районе исследований. Числовые значения этих параметров отражают состояние атмосферы и характеризуют процессы, происходящие в ней. Результаты анализа климатических условий в районе интенсивных исследований атмосферно-экосистемного обмена будут использованы в будещем в качестве метеорологической компоненты в моделях углеродного баланса регионального масштаба.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследования базируется на потенциале обсерватории "ZOTTO" (www.zottoproject.org), расположенной в Туруханском районе Красноярского края, и оснащенной комплексом современного газоанали-

тического, аэрозольного, и метеорологического оборудования. Для изучения климатической обстановки в районе исследований в работе представлен анализ основных климатических элементов: температура воздуха, атмосферное давление, влажность воздуха, скорость и направление ветра, осадки для оценки климатической обстановки в районе исследований. Измерения климатических параметров производились комплексом метеорологического оборудования на 6 уровнях (301, 227, 158, 92, 52, и 4 м) высотной мачты (рис.1) и двух наземных метеорологических площадках (рис. 2а,б).



Рисунок 1 - Размещение метеорологического оборудования на мачте (высоты: 4, 52, 92, 158, 227 и 301 м).



Рисунок 2 - Расположение наземных метеорологических площадок: а – лесной участок; б – открытая площадка.

Массив климатических данных состоял из измерений 48 сроков суточных значений – для комплекса расположенного на профиле высот мачты, и 144 суточных сроков для наземных площадок. Регистраторы на мачте (рис.3) собирали данные измерений температуры воздуха, относительной влажности, и давления. Регистраторы на наземных метеорологических площадках осуществляли сбор данных измерений температуры и влажности почвы, потоков почвенного тепла, количества осадков, и ФАР.

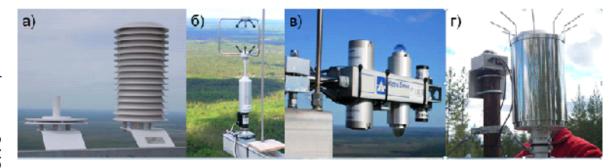


Рисунок 3 — Метеорологическое оборудование: а) датчик температуры и влажности (справа) и мембранный датчик атмосферного давления (слева); б) ультразвуковой 3-D анемометр; в) радиометр; г) измеритель осадков.

Для описания климатической характеристики района исследований был использован метод метеорологических наблюдений, соответствующий стандартам Всемирной Метеорологической Организации.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Полученные инструментальные данные характеризуют состояние атмосферы в районе исследований и позволяют дать описание климатических параметров. Так установлено, что самым теплым месяцем является июль $(+17^{\circ}\text{C} + 19^{\circ}\text{C})$, а самым холодным - декабрь $(-26^{\circ}\text{C} - 29^{\circ}\text{C})$. Среднегодовая температура воздуха не превышает -1,95°C (рис. 4а). Амплитуда летних и зимних температур в среднем значении достигает 50°C.

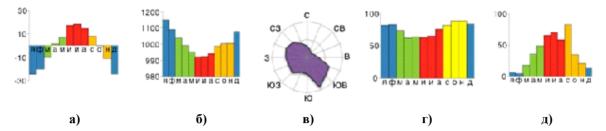


Рисунок 4 — Среднегодовые климатические показатели в районе исследований: а) температура воздуха; б) атмосферное давление; в) роза ветров; г) относительная влажность воздуха; д) количество осадков.

Среднегодовой показатель давления атмосферного воздуха (рис. 46) составляет 1000,31 hPa, с максимальными значениями в зимние месяцы, до 1021,18 hPa, и минимальными – летом (990,39 hPa). Преобладающие направления ветра – юго-восточное и северо-западное (рис. 4в), что обусловлено влиянием Азиатского максимума и приуроченностью района исследований к Приенисеиской равнине с характерными для нее ветрами. Средняя скорость ветра составляет 1-3 м/с.

Показатели относительной влажности воздуха (рис. 4г) в районе исследований достаточно высоки, что связанно с переносом влажных воздушных масс с акватории Атлантического океана, и температурным режимом почв. Среднегодовой показатель достигает 76,5%, с максимумом отмеченным в осеннезимний период (89,2%).

Среднегодовое количество осадков (рис. 4д) достигает 457,6 мм, с неравномерным сезонным распределеним. Так максимум осадков приходится на летнее осенний период, со значениями достигающими 332,6 мм, тогда как в зимне-весенний период их количество не превышает 125 мм. В районе исследований преобладает континентальный полярный воздух, что в зимний период обусловливает значительное радиационное выхолаживание подстилающей поверхности и приземного слоя воздуха, и способствует образованию приземных инверсий, а летом воздух - влажно неустойчивый.

В связи с однообразием рельефа в районе исследований климатические элементы изменяются сравнительно равномерно и характеризуются распределением однородности показателей на значительные расстояния. Это подтверждается результатами регрессионного анализа основных метеорологических параметров, регистрируемых на базе обсерватории "ZOTTO" и на метеорологической станции в п. Ворогово (рис. 5), расположенной в 30 км в северо-западном направлении, на реке Енисей.

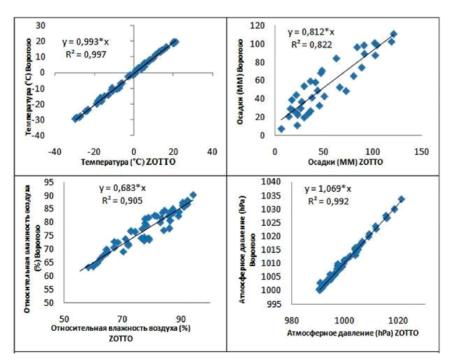


Рисунок 5 - Линейный регрессионный анализ для двух наборов данных метеорологических параметров: обсерватория "ZOTTO" и станция ВМО в п. Ворогово. Приведены линейные тренды и коэффициенты детерминации.

Результаты свидетельствуют, что метеорологические параметры в районе исследований изменяются сравнительно равномерно для значительной территориии, и данные, регистрируемые на базе обсерватории, можно использовать для мезоклиматической характеристики района исследований.

Работа выполнена при финансовой поддержке проекта МНТЦ №2757, РФФИ в рамках научного проекта № 13-05-98053, и Гранта Президента Российской Федерации для Государственной поддержки молодых российских ученых МК-1691.2014.5.

Use of temperature recorders to explore of soils hydrothermal regime across the Tunkinskaya hollow

¹Voropay N.N., ²Cherkashina A.A., ¹Kurakov S.A.

¹ Institute of Monitoring of Climatic and Ecological Systems SB RAS, Tomsk, Russia

² V.B. Sochava Institute of Geography SB RASIrkutsk, Russia

E-mail: voropay_nn@mail.ru, anna_cher.87@mail.ru, ksa@imces.ru

unkinskaya hollow is the part of the system of intermountain depressions of the Eastern Sayan mountains. Since 2011 at the territory of the hollow we study the features of hydrothermal regime of soil and underlying sediments. Soil-Atmosphere Registering Complex (SARC) in RAP_A_02 modification used to measure the temperature and humidityof soils. The device is designed and manufactured at IMCES SB RAS (Tomsk). It consists of a controller, moisture sensor (TRIME-PICO32) and a probe for soil temperatures profile (20 digital temperature sensors DS18B20 from surface to 10 m depth). The volumetric moisture content was measured at a depth of 15 cm. 20 observation sites were organized at the Tunkinskaya hollow. Sites were located basing on the topography, insolation, physico-chemical properties of the soils, the groundwater level, the permafrost depth, and other factors. Measurements are recorded once a hour. The obtained data allow to observe seasonal changes in soil temperature and moisture, the speed of freezing and thawing of soils.

In this paper we investigate sandy and sandy loamy soils. The informational base of the study is: soil temperature and volumetric moisture content at 15 cm depth for the period from 22.08.2012 to 10.06.2014 (RAP_A_02); gravimetric and volumetric soil moisture (field and laboratory data) - 23.08.2012, 16.06.2013, 13.08.2013, 10.06.2013; amount of precipitation from weather stations Tunka and Kyren for the period 22.08.2012-10.06.2014 (http://rp5.ru). Values obtained by gravimetric methodwere used to calibrate the instrument.

Moisture sensor TRIME-PICO32 allows to characterize the soil moisture conditions at temperatures above -5 °C. For the depth of 15 cm in 2012-2014 this is the period from November 5 to April 5 (± 5-7 days). Cooling of the soil, thawing of the soil and the transition of soil temperature through 0 °C does not occur simultaneously at studied sites. Maximum period with negative soil temperatures (190-193 days) was at the sites AIPT-27, AIPT-30, AIPT-32 (pine forest without herb layer). Diurnal variations of soil moisture were not observed.

Minimal values of soil moisture were at sites AIPT-27 and AIPT-35 (sandy soil), maximal ones at AIPT-29 and AIPT-30 sites (light sandy loam). Minimal soil moisture (6-16%) was observed before soil freezing in autumn. Maximal moisture was registered after snowmelt and ranges from 15% (AIPT-35) to 34% (AIPT-30). The largest fluctuations in the soil moisture are associated with atmospheric precipitation. They can reach 12-15%. And in most cases, the soil moisture changes abruptly within 1-3 hours. Soil moisture reduction, on the contrary, has a smoothed, sometimes stepped character and continues until the next rainfall.

Hydrothermal and physico-chemical characteristics of soils (density, texture, porosity, swellability, moisture content, etc.) are the basis for mathematical modeling of spatio-temporal dynamics of hydrothermal conditions. This is of interest in the study of anthropogenic soil dynamics. The resulting data are essential in the design of hydraulic constructions. This is important for the study area.

Применение терморегистраторов для исследования гидротермических режимов почв на территории Тункинской котловины

¹Воропай Н.Н., ²Черкашина А.А., ¹Кураков С.А.

- 1 Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, Томск, Россия
- ² Институт географии им. В.Б.Сочавы СО РАН, Иркутск, Россия

E-mail: voropay_nn@mail.ru, anna_cher.87@mail.ru, ksa@imces.ru

ункинская котловина расположена на юго-западном фланге Байкальской рифтовой зоны. Она входит в систему межгорных понижений гор Восточного Саяна и представляет собой кайнозойскую суходольную впадину. Ее длина составляет около 65 км, ширина — 20-25 км, абсолютная высота вершин окружающих гор — 2500 м, средняя высота днища — 800 м. С севера Тункинская котловина ограничена крутым уступом Тункинского хребта, с юга — более пологим склоном Хамар-Дабана. С запада она отделяется Ниловским отрогом, а с востока — Еловским [1, 2]. Основной дренирующей рекой является р. Иркут. Основными морфологическими элементами Тункинской котловины являются: предгорная наклонная равнина, аллювиальная равнина, озерно-болотная низина зон новейшего погружения, песчаные массивы-увалы, межвпадинные горные перемычки [3].

Неоднородное литологическое строение в совокупности с особенностями горно-котловинного рельефа являются основными факторами перераспределения атмосферных осадков, поверхностных и грунтовых вод, что в свою очередь обусловливает высокую пространственную неоднородность гидротермических условий на территории Тункинской котловины. Кроме того, начиная со второй половины XVII века, существенный вклад в дифференциацию гидротермических условий наиболее освоенной центральной части котловины вносит антропогенная деятельность. На протяжении 400 лет пригодные под пашни почвы лесных массивов осваивались путем рубки леса, сопровождавшейся выжиганием и раскорчевкой. Поймы рек осваивались под сенокосные угодья и выгоны, а на заболоченных участках днища котловины при помощи сети осущительных каналов создавались продуктивные сенокосы и пастбища.

С 2011 года на территории котловины проводится изучение особенностей гидротермического режима почв и подстилающих отложений. Для измерения температуры и влажности грунта используются регистраторы АИПТ модификации РАП_А_02 (таблица 1), разработанные и изготовленные в ИМКЭС СО РАН. Регистратор состоит из контроллера, датчика влажности и зонда профиля температуры грунта.

Прибор размещается в герметичном корпусе, обеспечивающем работоспособность при погружении в воду до глубины 0.5 метра. На плате контроллера устанавливается: микроконтроллер ATmega1284, имеющий 10 разрядный 8 канальный АЦП, часы PCF8563T, память AT45DB321D, USB-интерфейс FT232RL, стабилизаторы напряжения. Микроконтроллер регистратора большую часть времени находится в режиме сна с током потребления всего измерителя около $10*10^{-6}$ A, в активном режиме потребляет составляет около $150*10^{-3}$ A. Питания от 6-ти типовых элементов питания типа «D» хватает на автономную работу измерителя более 4 лет, при периоде измерения 60 минут.

Программное обеспечение позволяет, не вскрывая корпуса измерителя, через герметизированный USB-разъём задавать режимы работы, считывать накопленную информацию, сохранять в текстовом и EXEL формате и обновлять программу микроконтроллера. Подсистема визуализации даёт возможность оператору получать накопленные данные в виде графиков. Зонд профиля температуры грунта представляет собой стеклотекстолитовую печатную плату с напаянными на ней температурными датчиками (глубины: $2, 5, 10, 15, 20, 30, 40, 60, 80, 120, 160, 240, 320 см; 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 м). Для измерения температуры поверхности грунта предназначен отдельный датчик. Для измерения температуры используются удобные по подключению, малогабаритные цифровые датчики DS18B20, точность которых путём калибровки повышена до <math>\pm 0.1$ °C.

Таблица 1 Основные характеристики измерителя

Наименование характеристики	Значение характеристики
Диапазон рабочих температур блока регистратора:	-40+50°C
Диапазон измерения влажности грунта	0 100%,
Погрешность измерения влажности грунта	040%: ±1 %; 4070%: ±2 %;
Температурный диапазон измерения влажности	1+50°C
Диапазон измеряемых температур	-55+ 50 °C
Погрешность измерения температуры	не более ±0,2 °C
Объём энергонезависимой памяти	4 Мбайт (2 000 000 измерений)

Датчик влажности грунта TRIME-PICO32 [4] немецкой компании IMCO был нами выбран из-за широкого диапазона измерения и высоких точностных характеристик. Применяемый метод TDR (Time Domain Reflectometer) состоит в посылке короткого зондирующего импульса по волноводу, состоящему из 2-х металлических штырей, достигнув конца которых импульс отражается и возвращается обратно. Время между посылкой и ответом зависит диэлектрической проницаемости среды (є), а так как є сухого грунта около 4, воды около 80, то можно рассчитать объёмное содержание воды в исследуемом объёме, составляющем около 250 мл. Результат измерения датчик выдаёт в аналоговом и цифровом виде. Время измерения 4 секунды, ток потребления около 150 мА.

В настоящее время на территории котловины организовано 20 наблюдательных площадок, схема размещения которых разрабатывалась с учетом характера рельефа, инсоляции, физико-химических свойств почв и грунтов, уровня грунтовых вод, уровня залегания мерзлоты и прочих факторов, определяющих пространственную неоднородность гидротермических режимов. В зависимости от целей исследования датчики измерения температуры устанавливаются в скважины глубиной от 3,2 до 10 м (13 комплексов до глубины 3,2 м, 3 - до глубины 5 м, 1 – до глубины 7 м, 3 - до глубины 10 м).

Датчик измерения влажности устанавливали в гумусовом горизонте на глубине 15 см от поверхности почвы, условно рассматривая этот слой как наиболее биологически активный в профиле. Современное программное обеспечение позволяет выбирать необходимый шаг измерения температуры и влажности почвы. Получаемые при помощи АИПТов данные позволяют отслеживать сезонные изменения температуры и увлажнения почв, скорости промерзания-оттаивания грунтов.

Выбранные для данной работы площадки (таблица 2) характеризуются песчаными и супесчаными почвами. Информационной основой исследования являются:

- 1. Температура почвы и объемная влажность на глубине 15 см за период 22.08.2012-10.06.2014, временной шаг -1 час (данные комплекса РАП A 02;
- 2. Весовая, объемная влажность (данные полевых и лабораторных исследований) 23.08.2012, 16.06.2013, 13.08.2013, 10.06.2013;
- 3. Сумма атмосферных осадков на метеорологических станциях Тунка, Кырен срочные данные за период 22.08.2012–10.06.2014 (http://rp5.ru)

Таблица 2. Характеристика площадок исследования

площадка	ХАРАКТЕРИСТИКА РАСТИТЕЛЬНОСТИ	НАЗВАНИЕ ПОЧВЫ ПО КЛАССИФИКАЦИИ 2004 Г.
АИПТ 26	Гарь по сосняку брусничному (днище котловины)	Псаммозем гумусовый иллювиально- ожелезненный
АИПТ 27	Сосновый лес с подлеском из рододендрона даурского брусничный (днище котловины)	Дерново-подбур иллювиально-железистый
АИПТ 29	Подрост сосны по суходольному лапчатково-кистевидномятликовому лугу (старая залежь; днище котловины)	Стратозем серогумусовый
АИПТ 30	Сосновый лес мертвопокровный (нижняя часть склона, перемычка с соседней котловиной)	Серогумусовая поверхностно-турбированная
АИПТ 32	Подрост сосны по суходольному лапчатково-кистевидномятликовому лугу (старая залежь; днище котловины)	Агрозем светлый реградированный
АИПТ 35	Песчаные барханы среди соснового лесного массива. Растительность на барханах не сформирована (днище котловины)	Псаммозем гумусовый стратифицированный илювиально- ожелезненный
АИПТ 37	Сообщество пырея ползучего на залежи (ранее здесь был сосновый лес) (днище котловины)	Агрозем торфяно-минеральный окислено- глеевый криотурбированный реградированный

Для оценки степени достоверности данных, получаемых с измерителя влажности на площадках исследования с глубины установки датчика (15 см) при помощи режущего кольца были взяты образцы почв, в которых в лабораторных условиях были проведены измерения объемной влажности (гравиметрическим методом). Сопоставление данных, полученных с датчика измерителя объемной влажности, с данными гравиметрического анализа показало хорошую сходимость результатов (величина отклонения не превышает 10 %). Для повышения степени достоверности приборных данных на основании значений, полученных гравиметрическим методом, была проведена калибровка прибора.

Согласно полученным результатам, прибор TRIME-PICO32 позволяет характеризовать условия увлажнения в почве при температуре выше -5 °C. Для глубины 15 см на наших площадках в 2012-2014 гг. это соответствует периоду с 5 ноября по 5 апреля ($\pm 5-7$ суток). Охлаждение почвы и переход темпе-

9

ратуры через 0 °C происходит не одновременно на выбранных площадках, также как и оттаивание. Максимальный период с отрицательными температурами почвы (190-193 дня) на площадках АИПТ-27, АИПТ-30, АИПТ-32. На всех трех площадках мертвопокровный сосновый лес. Отличия в его возрасте и плотности древостоя не играют в данном случае существенную роль. определяющим является перехват кронами первых твердых осадков, препятствующих проникновению отрицательных температур вглубь почвы при переходе температуры воздуха через 0 °C осенью и недостаток солнечного тепла весной по сравнению с открытой местностью. Суточного хода влажности почвы согласно полученным данным не наблюдается.

Минимальными значениями средней за теплый период года влажности характеризуются площадки АИПТ-27, АИПТ-35 (песчаные почвы), максимальными – АИПТ-29, АИПТ-30 (легкая супесь). Минимальное увлажнение почвы (6-16%) наблюдается перед началом периода с отрицательными температурами. Максимальное – после снеготаяния и составляет от 15% (АИПТ-35) до 34% (АИПТ-30). Процесс уменьшения влажности почвы после таяния снега заканчивается не одновременно. Влажность почвы выходит на летний режим в период с 24 мая (АИПТ-35) по 13 июня (АИПТ-30). Это объясняется в основном различиями растительного покрова и, как следствие, не одинаковом прогреве почв весной. Наибольшие колебания, на фоне отрицательного тренда влажности почвы за теплый период, связаны с увеличением увлажнения при выпадении атмосферных осадков. Оно может достигать 12-15% и в большинстве случаев изменяется скачком в течение 1-3 часов. Уменьшение, наоборот, имеет сглаженный, иногда ступенчатый характер и продолжается до следующего выпадения осадков. Причем для различных ландшафтных условий изменения почвенного увлажнения на одну и ту же величину связаны с атмосферными осадками разной интенсивности и продолжительности. Что может быть связано как с физическими свойствами самих почв (плотность, пористость, влагоемкость), так и с характеристиками растительности (наличие травяного покрова, сомкнутость древостоя и т.д.), за счет которых происходит перехват некоторой части выпадающих осадков. В частности, на площадке АИПТ-30, характеризующейся плотно сомкнутой кроной соснового леса, отклик на выпадение осадков отсутствует в большинстве случаев. Он зафиксирован лишь в середине июня 2013 г., когда сумма осадков по данным метеостанции Кырен составила около 30 мм за двое суток. При этом влажность почвы на глубине 15 см увеличилась лишь на 2,5 %, что опять же является минимальным из наблюдений на всех площадках исследования в пределах этих дней (максимум на площадке АИПТ-27 – 12%). В период, когда осадки выпадают несколько дней подряд с перерывом 2-4 дня (например, 22-27 мая, 30-31 мая 2013г.) может наблюдаться три типа процесса увлажнения почвы – равномерное увеличение влажности в течение всего периода (АИПТ-27 – сосновый мертвопокровный лес, песок), двухпиковый рост (АИПТ-35, 37, 26) и минимальный отклик или его отсутствие. Так майские осадки не привели к увеличению влажности почвы на площадках АИПТ-29, 32, 30. На первых двух они лишь замедлили процесс весеннего уменьшения почвенной влаги, а на площадке АИПТ-30 (сосновый мертвопокровный лес, максимальная сомкнутость древостоя, супесь) никак не проявились. Если более подробно рассмотреть вторую группу площадок (двухпиковый рост влажности), можно отметить, что максимальное увлажнение наблюдалось при втором скачке. На выбранных площадках разница за 10-дневный период составила 3-7%.

Выше представлены первые результаты анализа гидротермических характеристик. Их применение в комплексе с физико-химическими показателями исследуемых грунтов, такими как: гранулометрический состав, плотность, порозность, набухаемость, влагоемкость и т.д., позволят использовать методы статистической обработки и математического моделирования. При этом возможность накопления многолетних рядов данных даст возможность делать выводы о пространственно-временной динамике гидротермических условий на исследуемой территории, что представляет интерес при изучении антропогенной динамики почв. В результате пожаров и вырубок происходит нарушение, а при сильных пожарах полное уничтожение растительного покрова, приводящее к изменению гидротермических режимов почв. В автоморфных условиях при отсутствии многолетнемерзлых пород может происходить смена растительных сукцессий, приводящая к остепнению гумусовых горизонтов лесных почв. При наличии многолетней мерзлоты сведение леса приводит к большему прогреванию поверхности почвы, что может быть причиной деградации многолетней мерзлоты и активизации процессов заболачивания. Экономический упадок конца XX века привел к выводу большей части земель из сельскохозяйственного использования, на залежных угодьях в настоящий момент происходит активное восстановление древесной растительности, сопровождающееся изменением гидротермических режимов почв, следствием чего является восстановление гумусовых горизонтов агроземов в естественное состояние.

Получаемые данные незаменимы также при проектировании гидротехнических сооружений, что особенно актуально для исследуемой территории, где на заболоченных участках аллювиальной равнины и озерно-болотных комплексах центральной части котловины в середине XX в. была создана сеть осущительных каналов. Вследствие феномена высокой интенсивности процессов почвообразования и выветривания при малом по глубине охвате пород, на указанной территории имеет место надмерзлотное засоление. Наименьшая минерализация приходится на раннюю весну, при этом осенью при понижении температуры раствор становится более хлоридным в связи с выпадением сульфатов в твердую

фазу при понижении температуры. Мерзлота оказывает существенное влияние на динамику минерализации почвенного раствора и при проектировании оросительных или осушительных систем во избежание вторичного засоления необходимо учитывать рельеф мерзлотного водоупора и механический состав почв непосредственно над ним [5].

Литература:

- 1. Равский Э.И. Осадконакопление и климаты Внутренней Азии в антропогене. М.: Наука, 1972. 335 с.
- 2. Выркин В.Б. Современное экзогенное рельефообразование котловин байкальского типа. Ир-кутск: Изд-во ИГ СО РАН, 1998. 175 с.
- 3. Логачев Н.А., Галкин В.И., Голдырев Г.С. Впадины Байкальской системы // Нагорья Прибайкалья и Забайкалья. М.: Наука, 1974. С. 21-56.
- 4. http://www.imko.de/en/products/soilmoisture/soil-moisture-sensors/trimepico32
- 5. Макеев О.В. Фации почвенного криогенеза и особенности организации в них почвенных профилей. М.: Наука, 1981

Development of integrated geographic information web services for environmental research

Kadochnikov A.A.

Institute of Computational Modeling SB RAS, Krasnoyarsk, Russia E-mail: scorant@icm.krasn.ru

urrent trends in the field of nature protection are monitoring environmental pollution resulting from human impact on nature, and as a result of natural processes. Monitoring of natural pollution that result from natural causes - volcanic eruptions, earthquakes, catastrophic floods, fires, etc., allows us to predict the situation and develop a plan measures to liquidate the consequences, as well as elimination of possible causes. Monitoring the state of the environment in the area of the various industries can reduce costs to eliminate the impact of industrial accidents, which in turn reduces the possibility of contamination soil, surface water, loss of vegetation and wildlife.

Consider the problem of creation of information-analytical systems for environmental monitoring of the natural environment and resources, built on the basis of GIS technologies, Internet, remote sensing data processing and data from monitoring stations. Considerable attention is given to web services, software interfaces and generally accepted standards. Consider the problem of the formation of Internet geographic information system for monitoring state of the environment for decision support systems at the level of the Krasnoyarsk region. In work claimed the methodology and software tools that will allow form the assessment of the state territories based on key indicators in a visual form. Important role is played by the use of modern means of data visualization using GIS technology. In such problems, the use of Internet technology has some advantages compared to desktop GIS - availability solutions to numerous users, simplifying the installation process and distribution of software, reducing its cost, possibility of integration with third-party applications, and so on. The primary emphasis of the problems and solutions related to the development of web services and applications for such Internet systems.

The research paid attention to the problem arising in the development of joint projects of various research institutes, universities and government departments related to the exchange of data and metadata for spatial information, as well as observational data of the environment. The author were directly involved in the development and implementation of projects of ecological orientation. In developing the software many different software libraries and components were used. Web mapping user interface was created using a number of open source libraries. To create a server-side web application author used GIS platform Minnesota MapServer. GeoWebCache was another essential component of distributed web mapping environmental monitoring applications.

In the development of cartographic applications for the monitoring systems the state of the environment now plays an important role detailed map of the region, supported by the up to date. As a result of combining different technologies the web application map transmitted to the user in composed of two layers: the base background map and the thematic layer. The last one generated dynamically as transparent bitmap layer and is defined by application business logic. As an alternative to raster transparent layer are also considered solutions based on the dynamic generation of vector objects on a Web page – this possibility now is provided by client software like JavaScript with using OpenLayers library. However, in this case there is another problem associ-

ated with the restriction on the number of vector objects on a Web page. Consideration of the decisions can be used not only for the Krasnoyarsk region and the resources and tools developed software technology platform can be used in the development of other systems.

Создание интегрированных геоинформационных веб-сервисов для исследования окружающей среды

Кадочников А.А.

Институт вычислительного моделирования СО РАН, Красноярск, Россия E-mail: scorant@icm.krasn.ru

ктуальными направлением в области охраны природы являются мониторинг загрязнения окружающей среды, возникающего в результате воздействия человека на природу, а также в результате естественных природных процессов. Мониторинг природных загрязнений, которые возникают в результате естественных причин — извержения вулканов, землетрясений, катастрофических наводнений, пожаров и т.д., позволяет спрогнозировать ситуацию и разработать план мероприятий на ликвидацию последствий, а также устранение возможных причин их возникновения. Мониторинг состояния окружающей природной среды в зоне действия различных промышленных предприятий позволяет сократить расходы на ликвидацию последствий техногенных аварий, что в свою очередь снижает вероятность загрязнения почвы, поверхностных вод, гибели растительности и представителей животного мира.

В работе рассматривается задача создания информационно-аналитических систем для экологического мониторинга состояния природной среды и ресурсов, построенной на основе технологий ГИС, Интернет, обработки данных дистанционного зондирования и данных со станций наблюдения. Значительное внимание уделяется веб-сервисам и программным интерфейсам. Рассматривается задача формирования геоинформационной Интернет-системы мониторинга состояния окружающей природной среды для системы поддержки принятия решений на уровне Красноярского края. В работе востребованы методики и программные средства, которые позволят формировать оценки состояния территорий на базе основных показателей в наглядном виде. Важную роль играет использование современных средств визуализации данных с использованием ГИС-технологий. В таких задачах использование Интернеттехнологий имеет ряд преимуществ по сравнению с настольными ГИС — доступность предлагаемых решений большому числу пользователей, упрощение процесса установки и распространения программного обеспечения, снижение его стоимости, возможность интеграции со сторонними приложениями и проч. Основное внимание уделяется описанию проблем и решений связанных с разработкой вебсервисов и приложений для таких Интернет-систем.

В рамках исследования уделено внимание проблеме, возникающей при разработке совместных проектов различных научных институтов, университетов и подразделений органов власти, связанной с обменом данными и метаданными о пространственной информации, а также данными наблюдений за окружающей средой. Возникла задача разработки распределенного хранилища пространственной информации для более эффективного взаимодействия различных организаций. Разработаны программные средства для анализа пространственных данных в среде геопортала Института вычислительного моделирования СО РАН с использованием технологий, предлагаемых международным консорциумом Open Geospatial Consortium и программного обеспечения MapServer и GeoWebCache. Программные инструменты содержат средства для хранения цифровых картографических материалов, растровых снимков территории, сервисы для навигации по распределенному каталогу пространственных данных, сервисы для пространственного анализа и математического моделирования на унифицированных цифровых картах. Основным элементом геопортала является каталог метаданных о пространственных данных, который содержит информацию по доступным слоям, картам и данным наблюдений. Основной особенностью каталога пространственных данных является возможность использования различных форматов пространственных данных и организация доступа для пользователя к этим данным с помощью современных стандартов и технологий. Для оформления карт и картографических слоев применяeтся Styled Layer Descriptor – язык описания стилей, используемый для отображения объектов на карте в WMS, WFS и WCS серверах, а также собственный формат описания стилей, разработанный для геопортала ИВМ СО РАН [1].

В работе важную роль играет система сбора оперативных данных наблюдения от различных вебсервисов, станций наблюдения и датчиков. В рамках геопортала ИВМ СО РАН был разработан блок для сбора, обработки и представления данных различных наблюдений. Организация доступа к данным наблюдений осуществляется стандартными средствами геопортала, включающего просмотр табличных

данных, экспорт, просмотр данных на картах с возможностью выбора временных интервалов и доступ с помощью общепринятых стандартов.

Организован доступ к собранным данным оперативного мониторинга с помощью стандарта SOS (Sensor Observation Service), разрабатываемого консорциумом ОGC. Этот стандарт определяет интерфейс веб-сервиса, который позволяет запрашивать информацию от датчиков, получать информацию о самих датчиках, а также описывает средства и механизмы для регистрации новых датчиков и возможности их удаления. В качестве базового программного обеспечения для организации SOS-сервисов выступает MapServer.

Пользовательский интерфейс для каталога метаданных, для систем мониторинга окружающей природной среды и для информационно-аналитических систем в региональном управлении выполнен в виде геоинформационного веб-приложения. Несмотря на некоторые недостатки, этот подход имеет существенные преимущества, как для пользователя, так и для разработчика, в том числе: независимость от платформы, отсутствие необходимости устанавливать дополнительное программное обеспечение, отсутствие с проблем с поддержкой старых версий программ и обратной совместимостью, и др.

При разработке картографического компонента веб-интерфейса были рассмотрены два способа представления картографической информации для пользователя. Первый способ – карта отображается с использованием фрагментов (тайлы). Эту технологию используют такие ресурсы как Google Maps (http://maps.google.com), Яндекс Карты (http://maps.yandex.ru), Virtual Earth (http://www.bing.com/maps/) и др. Основным преимуществом такого способа является скорость получения визуальной информации пользователем и малая нагрузка на сервер при отображении статической информации. Процесс формирования карты на клиентском компьютере состоит из нескольких этапов, с использованием дополнительных программных потоков, механизма кэширования, очереди загрузки фрагментов и др. При таком способе отображения карты пользователю процесс построения композиции карты позволяет оптимизировать процесс загрузки, снизить нагрузку на веб-браузер и более равномерно ее распределить по времени. Однако при отображении меняющихся тематических данных такой способ снижает скорость доступа пользователя к пространственным данным и увеличивает нагрузку на сервер. Для решения этой проблемы используется второй способ отображения информации – по запросу пользователя генерируется одно растровое изображение [2]. В зависимости от типа представляемой информации пользователю в программном интерфейсе системы используется комбинация этих двух способов.

Для создания карты из фрагментов использовалось программное обеспечение GeoWebCache. GeoWebCache использует спецификацию WMS Tile Caching (WMS-C), которая явилась результатом конференции FOSS4G в 2006 г [3]. Источником пространственных данных для сервера с программным обеспечением GeoWebCache послужил WMS [4] сервер с картой Красноярского края на основе программного обеспечения MapServer. Реализована система сервисов, которые поддерживают кэш растровых изображений на сервере с GeoWebCache в актуальном состоянии при обновлении исходных данных на WMS сервере.

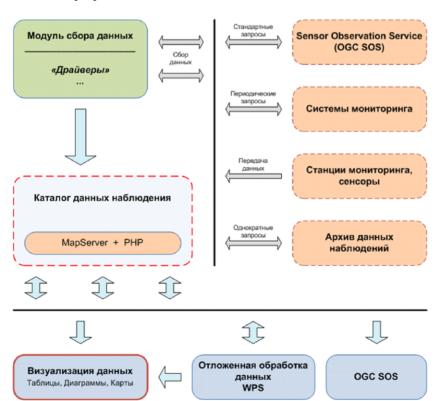


Рисунок 1 – Доступ к данным наблюдения.

210

При отображении тематического слоя могут использоваться данные различных наблюдений, полученные от сервиса «Sensor collector API», разработанного сотрудниками ИВМ СО РАН. Для наполнения базы данных наблюдений этого сервиса был подготовлен модуль сбора данных, который включает в себя набор различных «адаптеров» или «драйверов» для различных источников информации. Эти данные периодически загружаются с внешнего источника, который может быть представлен в виде потока информации в форматах txt, csv, json, xml, html и др. Разработанное программное обеспечение извлекает из полученных данных необходимую информацию и загружает с помощью АРІ сервиса на сервер (рисунок 1). В дальнейшем эти данные могут быть использованы различными способами. Доступ к данным может быть организован в виде SOS сервисов. Результаты наблюдений могут быть представлены в виде веб-приложений для дальнейшей визуализации и анализа. Данные могут переданы для дальнейшей обработки, результат которой в свою очередь также может быть представлен пользователю с помощью картографических веб-сервисов. Такие данные могут обрабатывать моментально и на протяжении некоторого продолжительного временного промежутка. В первом случае результат пользователь видит сразу после запроса, во втором пользователь ожидает результат обработки данных и в дальнейшем может эти данные получить в виде потока новых данных. Необходимо отметить, что большие объемы данных при таком подходе могут обрабатываться с помощью вычислительных кластеров.

Источником для модуля сбора данных могут служить:

- данные других SOS сервисов;
- данные различных систем мониторинга;
- данные станций мониторинга с различными сенсорами;
- различные архивы наблюдения.

Данные наблюдений могут быть представлены в растровом и векторном формате в зависимости от их объема и структуры. Наиболее универсальных способом является представление в виде тайловых хранилищ. В качестве расширения созданной технологии для работы каталога тайловых хранилищ была создана библиотека, позволяющая управлять не только процессами обновления тайлового кэша, но и набором тайловых карт и их настройкой. Такая библиотека позволила создать инструмент на базе геопортала ИВМ СО РАН, расширяющий возможности отображения картографической информации. А именно, для карт, содержащих большое число слоев и объектов скорость создания растрового изображения «на лету» низкая и пользователю приходилось ждать, пока сформируется изображение выделенного фрагмента и затем будет загружено в виде картинки в его веб-приложение. Просмотр карты в тайловом формате позволяет значительно ускорить процесс отображения карты на стороне клиента и одновременно с этим понизить нагрузку на сервер геопортала.

Данные наблюдения накладывается поверх слоя подложки в виде полупрозрачного растрового изображения или в виде векторных объектов. Эта часть карты отображает всю тематическую информацию, либо ее срез в зависимости от настроек пользователя. Пользователь также может определить типы объектов, которые будут отображаться на карте и т.д.

Сегодня в результате развития технологий и программного обеспечения получены новые результаты, которые позволили значительно усовершенствовать существующую программно-технологическую платформу геопортала ИВМ СО РАН для разработки систем мониторинга окружающей природной среды. Программно-технологическая платформа для организации распределенного доступа к электронной карте Красноярского края позволит усовершенствовать процессы разработки систем мониторинга для Красноярского края, повысит качество предоставляемых услуг для населения края и качество принимаемых управленческих решений. Рассмотренное решение может быть использовано не только для территории Красноярского края, а ресурсы и инструменты разработанной программно-технологической платформы могут быть использованы при разработке других систем.

Литература:

- 1. Пятаев А.С., Якубайлик О.Э. Средства автоматизации подготовки и веб-публикации данных в технологии MapServer / Проблемы информатизации региона. ПИР-2009: Материалы XI Всероссийской научно-практической конференции. / Красноярск, СФУ 2009. С. 148-150.
- 2. Якубайлик О.Э., Кадочников А.А., Попов В.Г., Токарев А.В.. Модель геоинформационной аналитической Интернет-системы для анализа состояния и презентации региона // Вестник СибГАУ, 2009, Вып. 4 (25). – С. 61-66.
- 3. Tile Map Service Specification. / The Open Source Geospatial Foundation [Электронный ресурс] http://wiki.osgeo.org/wiki/Tile Map Service Specification > (21.03.2014).
- 4. OpenGIS Web Map Service (WMS) Implementation Specification. / Open GIS consortium. [Электронный ресурс] — http://www.opengeospatial.org/standards/wms (21.03.2014).

Database of environmental information

Sklyadneva T.K., Kozlov A.V., Davydov D.K., Fofonov A.V, Rasskazchikova T.M.

V.E. Zuev Institute of Atmospheric Optics SB RAS, Tomsk, Russia E-mail: tatyana@iao.ru

In V.E. Zuev Institute of Atmospheric Optics the measurements in the atmospheric surface layer have been regularly conducted since 1989. The continuous monitoring of meteorological parameters (temperature, humidity and wind direction), gas and aerosol composition of the surface layer of the atmosphere at three points: in the city, the suburbs (in the northeast outskirts of the city) and the background area (60 km west of the city) has been carried out. The regular aircraft measurements of the atmosphere have been conducted since 1997 by Laboratory of Atmosphere Composition Climatology, which resulted in a variety of material obtained from the concentration and chemical composition of atmospheric aerosols, atmospheric gas composition. From 2004 to 2010 a number of ecological researches of the industrial cities was completed with the help of a mobile ground station.

According to the results of the research, the large amounts of data have been accumulated. To apply the collected material efficiently it was necessary to develop a universal format for the data and organize them in a way, which allows searching, access and processing the data. A system of collecting geophysical data has been worked out and the database structures of measurement complexes have been formed. The developed database consists of four major blocks:

- 1. Geophysical Monitoring Database.
- 2. Synoptic database.
- 3. Database of aircraft atmosphere measurements.
- 4. Database of measurements in the cities.

The work is supported by RAS Presidium Program No. 4, RAS Department of Earth Sciences Program No. 5, SB RAS Integration Projects Nos. 35, 70 and 131, RFBR grants Nos. 14-05-00526 and 14-05-00590.

Базы данных экологической информации

Скляднева Т.К., Козлов А.В., Давыдов Д.К., Фофонов А.В., Рассказчикова Т.М.

Институт оптики атмосферы им. В.Е. Зуева СО РАН, Томск, Россия E-mail: tatyana@iao.ru

В приземном слое атмосферы им. В.Е.Зуева СО РАН с 1989 года ведутся регулярные измерения в приземном слое атмосферы. Осуществляется непрерывный мониторинг метеопараметров (температуры, влажности, скорости и направления ветра), газового и аэрозольного состава приземного слоя атмосферы на ТОR- станции [1] и двух полигонах. Один (базовый экспериментальный комплекс (БЭК)) расположен на северо-восточной окраине города, второй («Фоновый») - около п. Киреевск, находящегося в 60 км к западу от города на берегу р. Оби. На обоих полигонах установлены идентичные автоматические комплексы подробно описанные в [2].

Сотрудниками лаборатории климатологии атмосферного состава с 1997 г. также проводится регулярное самолетное зондирование атмосферы, по результатам которого получен разнообразный материал по концентрации и химическому составу атмосферного аэрозоля, газового состава атмосферы. В период с 2004-2010 г.г. с помощью мобильной наземной станции был выполнен ряд экологических обследований промышленных городов.

По результатам проводимых исследований накоплен большой объем данных. Для эффективного использования собранного материала возникла необходимость разработать единую форму представления данных и организовать их таким образом, чтобы обеспечить возможность оперативного поиска, выборки и обработки данных. Разработана система сбора геофизической информации и сформированы структуры баз данных измерительных комплексов.

Разработанная база данных (БД) состоит из четырех крупных блоков: БД геофизического мониторинга, БД самолетного зондирования атмосферы, БД обследования городов, синоптическая БД.

БД геофизического мониторинга

БД геофизического мониторинга содержит:

а) данные измерения на **TOR-станции:** метеопараметры, CO_2 , CO и концентрации аэрозоля (с 1993 г.); O_3 (с 1989 г.); NO_x , SO_2 ; суммарную радиацию (с июня1994 г.), ультрафиолетовую радиацию (с ноября 2002 г.).

б) данные измерения на БЭКе и на полигоне «Фоновый» на высотах 10, 20,30 и 36 м от земли:

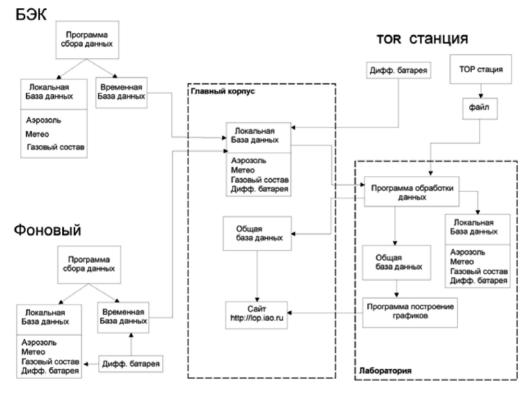
БЭК – метеопараметры; CO_2 , CO и концентрации аэрозоля (с сентября 2008 г); NO_x , SO_2 , O_3 (февраля 2009 г.); CH_4 и общее содержание углеводородов (с июля 2009 г.); метан (с мая 2011 г.).

«Фоновый» - метеопараметры, CO_2 , CO, NO_x , SO_2 , O_3 , аэрозоль (с июня 2009 г.)

На рис.1 представлена схема сбора и хранения данных от измерительных комплексов. База данных разработана таким образом, что добавление или удаление из комплексов какого либо прибора не повлечет за собой изменений в программной и аппаратной части системы в целом.

На TOR- станции, полигонах БЭК и «Фоновый» установлено идентичное программное обеспечение (ПО) и локальные базы данных имеют одинаковую структуру. Локальные базы данных состоят из четырех таблиц: газовый состав; метеопараметры; аэрозольный состав; временная таблица.

Временная таблица предназначена для хранения тех данных, которые были накоплены после последнего сеанса и еще не были переданы. Названия других таблиц говорят сами за себя.



Измерения газового состава на полигонах условно можно разделить на четыре этапа: калибровка; измерение с нижнего уровня (10 м); измерения с верхнего уровня (30 м); передача данных. Измерения аэрозольного состава и метеопараметров происходит в первые десять минут каждого часа.

После каждого этапа происходит сохранение данных в соответствующей таблице. Эти же данные сохраняются и во временной таблице.

На полигонах отсутствует постоянная связь, поэтому передача данных осуществляется один раз в час с помощью мобильной связи. В назначенное время модем, через сети мобильного оператора получает доступ к интернету. Устанавливается связь с центральным сервером. Начинается передача измеренных данных. Если же по каким то причинам отсутствовала связь и данные не были переданы, они остаются во временной таблице, ожидая передачи в следующем часе.

Переданные данные попадают на центральный сервер, который установлен в главном корпусе ИОА СО РАН. Затем программа обработки данных (ПОД) считывает их и производит резервирование. Как было сказано выше, каждый полигон имеет три различные таблицы (не считая временную). Это удобно для работы системы, но не удобно для получения и анализа данных пользователем, т.к. пришлось бы иметь дело с тремя таблицами различного формата. В частности они могут быть не сведены по времени. Поэтому ПОД формирует одну общую базу данных, где хранятся все данные со всех полигонов. В этой базе каждая запись (строка) соответствует одному часу. Если на каком либо полигоне в это время не измерялся какой-то параметр, то вместо значения устанавливается спец. значение – "N/A". Имея единую базу, пользователь может одновременно выбрать любую комбинацию измеряемых параметров с различных полигонов.

После резервирования и предварительной обработки данных происходит построение временного хода измеряемых параметров. Графики суточного, недельного и месячного хода публикуются на сайте лаборатории (lop.iao.ru) и предоставляются для просмотра всем желающим. Сами же числовые значения параметров доступны только после авторизации пользователя.

БД самолетного зондирования атмосферы

БД содержит данные систематических самолетных исследований в районе Камень-на Оби Новосибирской области (с 1997 г.):

- а) газовые и аэрозольные компоненты атмосферы: O_3 , CO_2 , CO, NO_X , SO_2 , счетное распределение аэрозоля по размерам;
- б) метеорологические и навигационные параметры: время по GPS GMT, высоту полета, широту и долготу, температуру и относительную влажность воздуха, атмосферное давление, скорость и направление ветра, скорость (путевую и воздушную) и курс самолета, угол крена и тангажа самолета, угол сноса самолета.

Сбор данных на борту СМЛ осуществляется промышленной ССД фирмы National Instruments.

В отличие от стационарных комплексов, измеренные данные сохраняются в локальной директории промышленного контроллера в виде текстовых файлов, из которых в дальнейшем в лаборатории формируется общая база данных самолетного зондирования. Общая база данных самолетного зондирования формируется на основе измерений газового состава атмосферы, измерений дисперсного и химического состава аэрозоля.

База данных обследования городов

БД содержит результаты экологических обследований промышленных городов с помощью мобильной наземной станции [3] (2004-2010 гг.): температуру, относительную влажность, скорость и направление ветра, SO_2 , NO, NO_2 , O_3 , H_2S , NH_3 , CO_2 , CO, дисперсный состав аэрозоля.

Как и в случае с СМЛ, запись результатов осуществляется в текстовый файл, дополнительно создаются блоки «маршруты» - необходимые при картировании загрязнений и «пункты» - данные о районе исследования. Обработка и формирование базы данных осуществляется в лаборатории, по завершению текущего исследования.

Синоптическая база данных

Параллельно базе данных геофизического мониторинга разработана и ведется синоптическая база данных.

База данных содержит ежечасные данные о количестве общей и нижней облачности, форме облаков, погодных условиях (наличие осадков и атмосферных явлений), а также синоптических ситуациях, в которые включаются тип воздушной массы и характерные термобарические элементы с 1993 по настоящее время. Анализ синоптических условий производится по приземным синоптическим картам и картам барической топографии, с учетом ежечасных метеорологических данных, получаемых на станции мониторинга атмосферных параметров ИОА СО РАН.

Работа выполнена при поддержке программы Президиума РАН №4, программы ОНЗ РАН №5, междисциплинарных интеграционных проектов СО РАН №35, №70 и №131, грантов РФФИ №14-05-00526, №14-05-00590.

Литература:

- 1. Аршинов М.Ю., Белан Б.Д., Давыдов Д.К. и др. Автоматический пост для мониторинга малых газовых составляющих атмосферного воздуха // Метеорология и гидрология. 1999. № 3. С. 110-118.
- 2. Аршинов М.Ю., Белан Б.Д., Давыдов Д.К., Ивлев Г.А., Козлов А.В., Пестунов Д.А., Покровский Е.В., Толмачев Г.Н., Фофонов А.В. Посты для мониторинга парниковых и окисляющих атмосферу газов // Оптика атмосф. и океана. 2007. Т.20. \mathbb{N} 2 1. С. 53-61.
- 3. Аршинов М.Ю., Белан Б.Д., Давыдов Д.К., Ивлев Г.А., Козлов А.В., Пестунов Д.А., Покровский Е.В., Симоненков Д.В., Ужегова Н.В., Фофонов А.В. Мобильная станция АКВ-2 и ее применение на примере г. Томска // Оптика атмосф. и океана. 2005. Т.18. № 8. С. 643-648.

Total cloudiness estimation using unshaded pyranometer

Zolotov S.Yu., Zuev S.V.

Institute of Monitoring of Climatic and Ecological Systems SB RAS, Tomsk, Russia E-mail: Sergey-Zo@yandex.ru

adiation balance of the earth's surface is most important component of the heat balance and is one from the main climate factors. The actual direct solar irradiance at the top of the atmosphere is $S_0 = 1347 \text{ W/m}^2$, but it partially diffused in the atmosphere and partially heats her. Thus, nearly 85% of total solar radiation reaches the earth's surface in which the shortwave range (from 0.17 to 4 μ m) is 99%.

Shortwave radiation balance equation has the form

$$B_k = Q - R_k$$

where Q is total solar radiation at earth's surface, R_k is the reflected shortwave radiation ($\lambda < 4 \mu m$). Total solar radiation at earth's surface is calculated as

$$Q = S' + D$$
,

where S'is the direct solar radiation at horizontal surface, D is the diffuse solar radiation.

The cloudiness has a significant role in the radiation balance of the earth's surface. Total solar radiation has its maximum at a cloudless sky and decreases with overcast sky or closed solar disk. The authors propose the approach to the evaluation of total cloudiness by analyzing the diurnal variation of the total solar radiation using unshaded pyranometer. The measurements are taken at the meteorological site using pyranometer Kipp & Zonen CM-11.

Amount of cloud can be calculated by the following formula

$$b = \frac{10(Q_0 - Q)}{Q_T} \quad .$$

where Q_0 is total solar radiation at a cloudless sky, Q_T is the absorbed solar radiation by overcast sky, Q is the total solar radiation measured at earth's surface.

Оценка общего балла облачности по данным незатененного пиранометра

Золотов С.Ю., Зуев С.В.

Институт мониторинга климатических и экологических систем CO PAH, Томск, Россия E-mail: Sergey-Zo@yandex.ru

адиационный баланс земной поверхности является важнейшим компонентом теплового баланса и одним из основных климатообразующих факторов. На внешнюю границу атмосферы от солнца поступает радиация $S_0=1347~{\rm BT/m^2}.$ Проходя сквозь атмосферу, солнечная радиация частично рассеивается, а частично идет на ее нагревание. Около 25% энергии прямой солнечной радиации переходит в атмосфере в рассеянную радиацию, 70% из которой достигает земной поверхности. Таким образом, суммарно почти 85% солнечной радиации достигает земной поверхности, где поглощается и нагревает ее, а частично отражается. При этом на коротковолновую часть радиации в интервале длин волн от 0,17 до 4 мкм на границе земной атмосферы приходится почти 99% всей энергии солнечной радиации с максимумом на длине волны $\lambda=0,475~{\rm Mkm}.$

Уравнение баланса коротковолновой радиации имеет вид

$$B_k = Q - R_k,$$

где Q – суммарная солнечная радиация; R_k – отраженная коротковолновая радиация (λ < 4 мкм). Суммарная солнечная радиация определяется как

$$Q = S' + D$$
,

где S' — прямая солнечная радиация на горизонтальную поверхность; D — рассеянная солнечная радиация, поступающая со всего небосвода, за исключением прямой солнечной радиации S'.

Значительную роль в радиационном балансе земной поверхности играет облачность — ее вид, количество, высота, скорость и направление движения. При безоблачном небе суммарная радиация достигает своего максимума. Частичная облачность, не закрывающая солнечный диск, увеличивает суммарную радиацию за счет увеличения величины рассеянной. При сплошной облачности или при закрытом солнечном диске суммарная радиация уменьшается.

Оценку количества облачности, наряду с традиционным визуальным способом, можно проводить с помощью специальных измерителей, использующих различные физические принципы. Авторами предлагается подход к оценке общего балла облачности путем анализа суточного хода суммарной солнечной радиации по данным незатененного пиранометра.

Измерения проводятся на метеоплощадке ИМКЭС СО РАН с помощью пиранометра Кірр & Zonen CM-11, исполненного по вторичному стандарту ISO 9060 с погрешностью измерения не более 3%. Значения суммарной радиации получаются путем осреднения 15-ти мгновенных измерений, проходивших через каждые 2 сек.

На рис. 1 в качестве примера представлен график суточного хода суммарной радиации за 20 мая 2012 г., ограниченный углами стояния солнца $h = 30^{\circ}$ (m = 2), по которому можно судить о характере облачности.

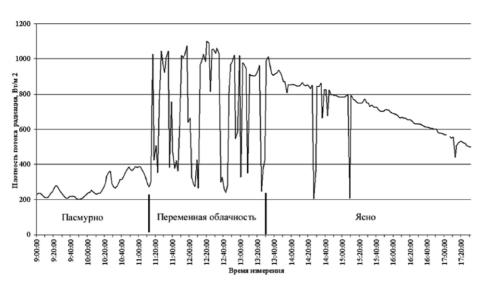


Рис. 1. Суточный ход суммарной солнечной радиации за 20 мая 2012 г.

Как видно из рис. 1, до 11:10 небо было полностью покрыто облаками (10 баллов). После 11:10 и до 13:30 была переменная облачность (4—6 баллов), а в конце дня небо было практически безоблачным. Такие выводы подтверждаются данными инструментальных 2-х минутных измерений общего балла облачности, проводившимися в это время.

По имеющимся данным суммарной солнечной радиации (с марта 2006 г.) балл общей облачности можно рассчитывать по следующей формуле:

$$b = \frac{10(Q_0 - Q)}{Q_T} \quad ,$$

где b – величина общего балла облачности, Q_0 – суммарная солнечная радиация при безоблачном небе, Q_T – радиация, поглощенная сплошным облачным покровом, Q – измеренная суммарная солнечная радиация.

Дальнейший анализ статистики ряда измеренной суммарной солнечной радиации и имеющихся данных прямых наблюдений по облачному покрову позволит определять не только балл общей облачности, но также ее тип и скорость прохождения по небосклону.

Using unshaded pyranometer for measuring solar radiation components in the automatic mode

Zuev S.V., Krasnenko N.P., Kartashova E.S., Barmin V.V.

Institute of Monitoring of Climatic and Ecological Systems SB RAS, Tomsk, Russia E-mail: zuev@imces.ru

he solar radiation is the determining factor for the formation of climate and weather. Almost all of it is concentrated in the spectrum range from 0.3 to 4 micrometers, therefore, instrumental measurements of shotwave radiation balance components are very important. Total solar radiation Q is the main component for it and is expressed as Q = S' + D, where $S' = S \cdot \sin h$ is direct solar radiation S on the horizontal plane at the height of the sun above the horizon h and D is diffuse solar radiation.

In the automatic mode often is measured only the total radiation Q using a single unshaded pyranometer. The main drawback of this approach is impossibility to split the values of the direct and diffuse component from total radiation. Such separation may be required to correcting the total radiation Q depending on zenith and azimuth of the sun for a low class pyranometers (e.g. M-115M) when error can reach 20-30%.

The authors propose a method for estimating and, if necessary, correcting of solar radiation data when clouds using like shade disk for unshaded pyranometer. The values of diffuse radiation D are determined according to the diurnal variation of the total radiation Q for broken and variable cloudiness in moments of direct radiation absence. The possibility of such an approach follows from the fact diffuse radiation is varies linearly depending on the height of the sun and the transparency of the atmosphere and does not depend on the degree of closing the solar disk by clouds.

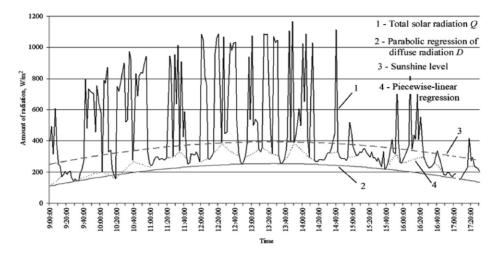


Figure shows an example of the diurnal variation of total radiation Q on which you can confidently identify moments of fully closed sun and Q = D. Using these minima we can plot a parabolic regression describing the diurnal variation of diffuse radiation for the ideal case. For more accuracy we can plot a piecewise-linear or -polynomial regression using all minima total radiation Q lying below of the solar irradiation level. Using this approach for determining S we can also estimate duration of solar irradiation and atmospheric transmission P and turbidity T coefficients using standard procedure.

Использование незатененного пиранометра для измерения характеристик солнечного излучения в автоматическом режиме

Зуев С.В., Красненко Н.П., Карташова Е.С., Бармин В.В.

Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН, Томск, Россия E-mail: zuev@imces.ru

учистая энергия солнца, приходящая к земной поверхности, является главным фактором в формировании климата и погоды территорий. Почти 98% ее сосредоточено в коротковолновой области спектра от 0,3 до 4 мкм. Поэтому особое значение приобретают инструментальные измерения элементов радиационного режима, определяющих баланс коротковолновой радиации [1, 2], уравнение которого имеет вид

$$B_k = Q - R_k = S' + D - R_k$$

где Q = S' + D – суммарная солнечная радиация; $S' = S \cdot \sin h$ – прямая солнечная радиация S, приходящая на горизонтальную поверхность при высоте стояния солнца над горизонтом h; D – рассеянная солнечная радиация; R_k – отраженная коротковолновая радиация.

Стандартная оценка величины суммарной радиации производится с помощью актино-метра, измеряющего прямую солнечную радиацию S, и затененного пиранометра, измеряющего рассеянную радиацию D. Суммарную радиацию также можно оценить с помощью только одного пиранометра, для чего поочередно получают значения солнечной радиации при затененном и незатененном пиранометре [1]. В обоих случаях при измерении в ручном режиме требуется присутствие метеоролога-наблюдателя или для наведения на солнце актинометра или для смены положения затеняющего экрана пирано-метра. Для измерения суммарной радиации в автоматическом режиме применяются различные устройства слежения за солнцем, т.н. трекеры, имеющие довольно большую стоимость и требующие источники питания. Поэтому достаточно обычной практикой в актинометрических измерениях в автоматическом режиме становится оценка суммарной радиации с помощью одиночного незатененного пиранометра. Недостатком такого способа является невозможность выделить из величины суммарной радиации Q значения составляющих ее рассеянной D и прямой радиации S'. И если для современных пиранометров высокого (по классификации ВМО) качества это не критично ввиду их малой зенитной и азимутальной погрешности в 1-3%, то для пиранометров хорошего и среднего качества может потребоваться коррекция значений S' в зависимости от положения солнца. Так, для измерителей типа М-115М, которые еще достаточно широко используются в научных исследованиях, такая коррекция просто необходима, т.к. ошибка в оценке суммарной радиации при этом, без учета зенитного F_h и азимутального F_a поправочных множителей для S', может достигать 20-30%. В таком случае достоверно можно говорить только о измерении суммарной солнечной радиации при закрытом солнце, т.е., когда S' = 0 и, следовательно, Q = D.

Нами предлагается способ, позволяющий в автоматическом режиме с помощью одиночного незатененного пиранометра получать и, при необходимости, корректировать значений суммарной солнечной радиации Q, заключающийся в использовании в качестве затеняющего экрана пиранометра облачность, как естественный затенитель солнца. Возможность такого подхода следует из того, что рассеянная радиация изменяется линейно в зависимости от высоты стояния солнца и от прозрачности атмосферы и не зависит от степени покрытия облаками солнечного диска [2,3].

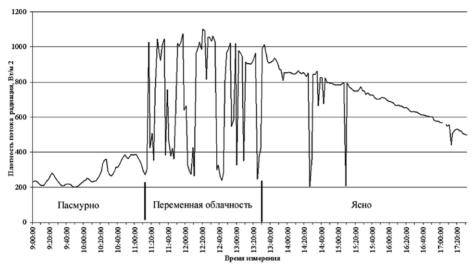


Рис. 1. Пример суточного хода суммарной радиации *Q* по данным незатененного пиранометра

На рис. 1 приведен пример суточного хода суммарной радиации, по которому достаточно уверенно можно говорить о состоянии облачности (пасмурно, ясно или переменная облачность) в определенные промежутки времени и, следовательно, о моментах, когда Q=D, (т.е. когда солнце было полностью закрыто) и по которым можно восстановить суточный ход рассеянной радиации, от точности описания которого в первую очередь будет зависеть точность оценки суммарной радиации. Существует несколько вариантов для этого. Во-первых, описание с помощью параболической регрессии, построенной по минимумам суммарной радиации, полученным в моменты полностью закрытого солнца (при S=0) для идеального случая, когда состояние, тип, высота и количество облачности неизменны в течение всего времени измерения. Во-вторых, с помощью кусочно-линейной или кусочно-полиномиальной регрессии, полученной по всем минимумам суммарной радиации, лежащим в диапазоне значений от уровня идеальной параболической регрессии, до уровня солнечного сияния, что более точно соответствует стандартной методике измерения. Солнечное сияние, согласно [4], есть такое состояние солнечного диска, при котором прямая солнечная радиация равна или больше $140~\mathrm{Bt/m}^2$. Исходя из этого, уровнем солнечного сияния можно считать такое значение суммарной радиации, когда $Q \ge D + 140~\mathrm{Bt/m}^2$. На рис. 2 приведен пример построения параболической и кусочно-линейной регрессии суточного хода рассеянной радиации.

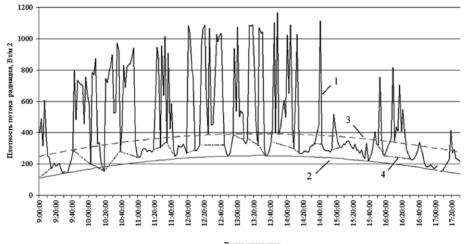


Рис. 2. Суточный ход суммарной радиации Q (1), параболическая регрессия рассеянной радиации D (2) и уровень солнечного сияния для нее (3), кусочнолинейная регрессия рассеянной радиации D (4)

Основными источниками погрешности пиранометра являются неточности в изготовлении стеклянных сферических колпаков и свойства материала покрытия термобатареи. Для учета этих погрешностей каждый пиранометр снабжается поверочным свидетельством, в котором приводятся поправочные множители по высоте F_h и азимуту солнца F_a , или сертификатом и полярной диаграммой, в которых приводятся предельные ошибки измерения в зависимости от высоты и азимута солнца.

Т.о., если значения суммарной радиации Q были получены, например, с помощью измерителя типа M-115M, то их коррекция может проводиться следующим образом

$$Q_{ucnp} = \begin{cases} Q, \ ecnu \ (Q-D) \cdot F_h \cdot F_a < D + 140 \frac{Bm}{M^2}; \\ (Q-D) \cdot F_h \cdot F_a + D, \ ecnu \ (Q-D) \cdot F_h \cdot F_a \ge D + 140 \frac{Bm}{M^2}; \\ Q, \ ecnu \ Q - (Q-D) \cdot F_h \cdot F_a + D < 0. \end{cases}$$

На рис. 3 приведен график исправленного суточного хода суммарной радиации Q_{ucnp} для примера на рис.2, а также график их расхождения в случае применения параболической регрессии суточного хода рассеянной радиации D. Как видно, для данного примера завышение суммарной радиации при незакрытом солнце в некоторых случаях может достигать $200 \, \mathrm{Bt/m^2}$.

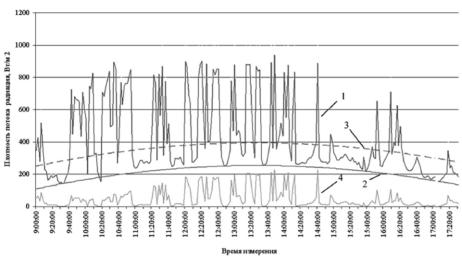


Рис. 3. Суточный ход исправленной суммарной радиации Q_{ucnp} (1), график параболической регрессии рассеянной радиации D (2), уровень солнечного сияния (3) и график расхождения $Q-Q_{ucnp}$ (4)

Стоит отметить, что, используя предлагаемый способ, кроме оценки суммарной радиации Q и ее составляющих S' и D, становится возможным в автоматическом режиме без использования дополнительных приборов и оборудования по данным одиночного незатененного пиранометра оценивать такие характеристики солнечного излучения, как продолжительность солнечного сияния, определяемая как время, в течение которого солнце не было закрыто облаками, а также коэффициенты прозрачности P и мутности атмосферы T по стандартным методикам, изложенным в [1,4].

Литература:

- 1. Руководство гидрометеорологическим станциям по актинометрическим наблюдениям / Под ред. Г.П. Гущина, Е.П. Барашковой. Л.: Гидрометеоиздат, 1973. 224 с.
- 2. Сивков С.И. Методы расчета характеристик солнечной радиации. Л.: Гидрометеорологическое издательство, 1968. 232 с.
- 3. Атмосфера. Справочник (справочные данные, модели) / Под ред. Ю.С. Седунова. Л.: Гидрометеоиздат, 1991. 511 с.
- 4. Наставление гидрометеорологическим станциям и постам. Метеорологические наблюдения на станциях. Часть I / Под ред. Г.И. Слабковича. Л.: Гидрометеоиздат, 1985. 301 с.

The diurnal variation of carbon dioxide, methane, water vapor and air temperature in the mezooligotrophic peatland

¹Lapina L.E., ²Mikhaylov O.A.

E-mail: lapina@dm.komisc.ru, mikter@mail.ru

or the regional climate modeling and possible climate change the research of carbon and methane balance, and a number of physical processes and characteristics is needed. Studying the process of evaporation is necessary, for example, to explore the water balance of river basins and drafting appropriate mathematical models. Research was conducted by the Institute of Biology in May 2012 in the mesooligotro-

¹ Department of Mathematics Komi SC UrD RAS, Syktyvkar, Russia

² Institute of Biology Komi SC UrD RAS, Sykrtyvkar, Russia

phic peatland Medla-Pev-Nur located in the middle taiga subzone in the European North-East of Russia (40 km north-west from Syktyvkar, Komi Republic, 61° 56' N 56° 13' E). The measurements of all parameters were made using the eddy covariance technique. The system included open-path gas analyzer (Li-7500A, Li-Cor Inc., USA) and ultrasonic anemometer (CSAT 3D, Campbell Scientific Inc., USA), located at the high 3.93 m. The measurement frequency was 10 Hz.

According to the experimental data, for example, July 10, 2012, it is clear that carbon dioxide, methane, water vapor and temperature have a pronounced daily periodicity. The summer period is characterized by high activity of biological processes. It makes sense to approximate the data by the following relationship:

$$y(t) = y_{sr} + a \sin(\omega t + \varphi) + b \cos(\omega t + \varphi),$$

where a, b, φ is unknown parameters that are found by the least squares method, ω is the daily frequency, vsr. is the average meaning.

Submission of this form was used before in the study of the carbon dioxide fluxes in forest ecosystems. For fixed φ for the parameters and obtain a system of linear equations which is solved by Cramer.

Суточная динамика углекислого газа, метана, водяного пара и температуры воздуха на мезоолиготрофном болоте

¹Лапина Л.Э., ²Михайлов О.А.

- ¹ Отдел математики Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар, Россия
- ² Институт биологии Коми НЦ УрО РАН, Сыктывкар, Россия

E-mail: lapina@dm.komisc.ru, mikter@mail.ru

ля моделирования регионального климата и возможных климатических изменений необходимы исследования баланса углерода, метана и ряда физических процессов и характеристик. Изучение процесса испарения необходимо, например, для исследования водного баланса речных водосборов и составления соответствующих математических моделей. Исследования проводились сотрудниками Института биологии с мая 2012 г. на мезоолиготрофном болоте Медла-Пэв-Нюр, расположенном в подзоне средней тайги на Европейском Северо-Востоке России, в 40 км на северо-запад от г. Сыктывкара (Республика Коми, 61° 56' с.ш. 56° 13' в.д.). Измерения всех параметров выполнены методом микровихревых пульсаций [1] с использованием газоанализатора Li-7500A и ультразвукового анемометра CSAT 3D на высоте 3,93 м. Частота измерений данных –10 Гц.

По экспериментальным данным, например, за 10 июля 2012 года, представленным на рис.1, видно, что углекислый газ, метан, водяной пар и температура имеют выраженную суточную периодичность. Летний период характеризуется высокой активностью биологических процессов. Имеет смысл аппроксимировать данные следующей зависимостью:

$$y(t) = y_{sr} + a \sin(\omega t + \varphi) + b \cos(\omega t + \varphi), (1)$$

где a, b, φ – неизвестные параметры, которые находятся методом наименьших квадратов, ω – суточная частота. Представление такого вида использовалось, например, в работе [2] при исследовании потоков углекислого газа в лесных экосистемах. При фиксированном φ для параметров a и b получается система линейных уравнений, которая решается методом Крамера. Поэтому формулы для этих коэффициентов имеют вид:

$$a = (b_1 a_{22} - a_{12} b_2) / (a_{11} a_{22} - a_{21} a_{12}),$$

$$b = (a_{11} b_2 - a_{21} b_1) / (a_{11} a_{22} - a_{21} a_{12}),$$
(2)

гле

$$a_{11} = \sum_{i=1}^{n} \sin^{2}(\omega t_{i} + \varphi), \quad a_{12} = \sum_{i=1}^{n} \sin(\omega t_{i} + \varphi)\cos(\omega t_{i} + \varphi),$$

$$a_{21} = a_{12}, \quad a_{22} = \sum_{i=1}^{n} \cos^{2}(\omega t_{i} + \varphi),$$

$$b_{1} = \sum_{i=1}^{n} y_{i} \sin(\omega t_{i} + \varphi), \quad b_{2} = \sum_{i=1}^{n} y_{i} \cos(\omega t_{i} + \varphi).$$
(3)

Оптимальное значение параметра φ удовлетворяет следующему равенству:

$$a_{12}(a_2-b_2) + fab = ab_2 - bb_1$$
, (4)

220

где
$$f = \sum_{i=1}^{n} (\cos^2(\omega t_i + \varphi) - \sin^2(\omega t_i + \varphi))$$
, остальные параметры определяются по формулам (2) и (3).

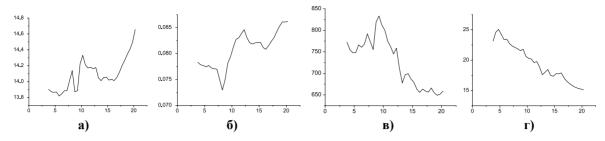
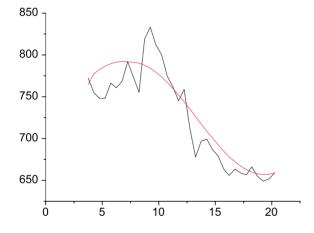


Рис.1. Суточный ход углекислого газа (ммоль/куб.м) (а), метана (ммоль/куб.м) (б), водяного пара (ммоль/куб.м) (с), температуры (°C) (г) по данным за 10 июля 2012 года

По расчетам, оказалось, что существует несколько оптимальных значений параметра ϕ для каждого показателя, что неудивительно ввиду нелинейности представления. Коэффициенты разложения при этом существенно менялись. В таблице 1 приведены значения этих коэффициентов для некоторых значений параметра ϕ для рассматриваемых характеристик. Всего рассматривалось 30 вариантов значений ϕ . Жирным шрифтом в таблице выделены коэффициенты при оптимальном значении параметра ϕ . Для остальных значений параметра невязка формулы (4) составляла порядок 10^{-12} - 10^{-20} .

Таблица 1. Параметры формулы(1) для рассматриваемых характеристик

Параметр	Углекислый газ		Метан		Водяной пар		Температура	
Угол	a	b	a	b	a	В	a	b
0	-0,0598	-0,1432	-0,00187	-0,00278	13,373	-66,291	1,8346	-3,036
π/15	-0,0287	0,1525	-0,00125	0,0031	-0,70121	-67,623	1,163	-3,351
π/6	0,0036	0,1551	-0,00058	0,003305	-14,7455	-65,995	0,4412	-3,519
π/3	-0,0801	0,1325	0,001151	0,003152	-45,7697	-49,7845	-1,378	-3,269
2π/5	0,1065	0,1129	0,002069	0,002642	-58,9138	-33,2042	-2,32044	-2,68301
π/2	0,1361	0,0744	0,002784	0,001873	-66,291	-13,3737	-3,0359	-1,8346
17π/30	0,1486	0,0445	0,00311	0,00125	-67,623	0,701208	-3,3510	-1,1633



На рис.2 представлены данные по водяному пару и их аппроксимация функцией вида (1):

Рис.2 Аппроксимация концентрации водяного пара (моль/куб.м.) тригонометрическими функциями по формуле (1).

Литература:

- 1. Baldocchi D.D., Hincks B.B., Meyers T.P. Measuring biosphere-atmosphere exchanges of biologically related gases with micrometeorological methods // Ecology. 1988. Vol. 69. №5. P. 1331-1340.
- 2. З.П. Мартынюк, А.П. Урнышев, Л.Э. Лапина Изучение потоков CO_2 в лесных фитоценозах // Серия препринтов сообщений "Новые научные методики», Коми научный центр УрО АН СССР, 1991, вып.37 -20с.

Identification of factors in the formation of spatial differentiation of wetlands using geoinformation analysis

Sinyutkina A.A.

Siberian Research Institute of Agricultural and Peat, Tomsk, Russia E-mail: ankalaeva@yandex.ru

oal of the study is to provide geoinformationanalysis to identify spatial regularities of various types and kinds mire geosystems, depending on the zonal and azonal factors mire development process. Object of the study is Tomsk region. The area under investigation is characterized by a considerable degree of waterlogging and large differences in the spatial structure of the mire geosystems. Oligotrophic ridgehollow mire(16% of the total area of wetlands) and trees mesotrophic (18%) mire are most widespread. It is determined by location of Tomsk region in different natural zones and geomorphological features of the territory. The main research method is a joint spatial geoinformation analysis of various maps: GIS map of Tomsk region miregeo systems, topographic maps, geomorphic, natural maps and others. Zonal distribution factors are expressed in the increase in the waterlogging degree from subzone leaved forests (16 %) to the southern taiga subzone (54 %). However, no significant differences in the structure and extent of wetland geosystems between middle and southern taiga subzone in the Tomsk region have been identified. Significant differences in the degree of waterlogging and the prevailing views of the mire within different geomorphological levels are revealed based on GISanalysis. Geomorphologica levels have significantly different hydrogeological and lithologicalgeomorphological conditions. Furthermore, the difference in the development and distribution of wetlands in large part due to tectonic movements oriented, tectonic structures II and III orders and features of the hydrogeological conditions. The surface formed by fluvioglacialanderosion-accumulation processes -ancient ravines medium Late Neopleistoceneage and a floodplain and floodplain terraces are most waterlogged (more 60 % of area is covered by mire). Early and Middle Neopleistocene age plain overlaps with the tectonic structure Tomsk ledgein the southeast of regionis not waterlogged (less 15 percent of area is covered by mire).

Выявление факторов формирования пространственной дифференциации заболоченных территорий с использованием геоинформационного анализа

Синюткина А.А.

Сибирский научно-исследовательский институт сельского хозяйства и торфа, Томск, Россия E-mail: ankalaeva@yandex.ru

тепень заболоченности, преобладающие виды болотных геосистем, их пространственная неоднородность, преобладающие стадии развития болот на определенных территориях определяются, как известно, рядом факторов, среди которых можно выделить зональные – климатические показатели, определяющие соотношение тепла и влаги и, как следствие, увлажненность поверхности, и азональные - геоморфологические, гидрогеологические и тектонические особенности, которые главным образом определяют интенсивность стока влаги с территории. Выявление факторов, определяющих характер болотообразовательного процесса на конкретных участках, является актуальной задачей для оценки состояния и прогноза развития территорий, отличающихся значительной заболоченностью. Таким образом, целью нашего исследования является проведение геоинформационного анализа для выявления закономерностей размещения болотных геосистем разных типов и видов в зависимости от основных зональных и азональных факторов развития болотообразовательного процесса. Объектом исследования является Томская область, отличающаяся значительной степенью заболоченности и большими различиями в пространственной структуре болотных геосистем, что определяется расположением области в разных природных зонах от лесостепи на юге до средней тайги на севере, а также геоморфологическими особенностями территории. Основным методом исследования стал совместный пространственный геоинформационный анализ различных картографических материалов, основными из которых являются: геоинформационная карта болотных геосистем Томской области, построенная на основе данных дешифрирования космических снимков и материалов полевых ландшафтных исследований [1], топографические карты разных масштабов, геоморфологическая карта Томской области [2], карта морфоструктур Ппорядка [3], карты суммы осадков и суммарного испарения [4], карта с природного районирования [5] и другие.

В литологическом отношении значительные территории Томской области заняты суглинистыми и глинистыми отложениями смирновской свиты в западной части и федосовсокой свиты в восточной части области, что оказало значительное влияние на развитие процесса болотообразования. Особенностью рельефа исследуемой территории является преобладание денудационно-аккумулятивного типа рельефа,представленного шестью геоморфологическими уровнямиот ранненеогенового до средненеоплейстоценового возраста, имеющими значительные различия в степени заболоченности, наличие сильно заболоченных древних ложбин стока, пересекающих Обь-Енисейское междуречье с северо-востока на юго-запад. Различия в степени заболоченности также определяются климатическими характеристиками. Годовое количество осадков на территории области изменяется в среднем от 400 до 570 м. При этом суммарное испарение составляет в среднем за год 400-520 мм, следовательно, избыток увлажнения с юга на север изменяется от 160 до 300 мм, что способствует усилению болотообразовательного процесса[4]. Кроме того, пониженная дренирующая функция рек связанная с незначительным врезом русел, большой извилистостью рек, длительными паводками, в сочетании с атмосферной переувлажненностьюи равнинностью рельефа способствует интенсивному заболачиванию территории области [6]. Таким образом, сочетание природных условий определило высокую заболоченность территории Томской области (около 50 %) и большое разнообразие болотных геосистем. Наибольшее распространение получили верховые болотные фации, среди которых преобладают грядово-мочажинные (18 % от общей площади болот), а также переходные болотные фации с преобладанием древесно-травяных (16 %).

Проведенные исследования показали, что распределение болот в пределах Томской области в некоторой степени подчиняется закону природной зональности, что выражается в значительных различиях в заболоченности между подтаежной подзоной и подзонами южной и средней тайги (рисунок 1).

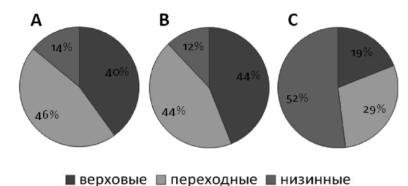
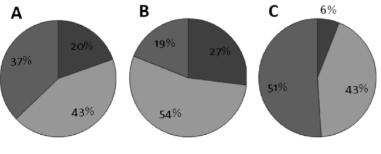


Рисунок 1 — Типы болот природных подзон в пределах Томской области: A — средняя тайга, B — южная тайга, C — подтайга.

Средняя заболоченность подзоныподтайги в границах Томской области составляет 16 %. Заболоченные преимущественно террасы и поймы крупных рек, где преобладают низинные болота. На междуречных равнинах болота практически отсутствуют. Значительных отличий в структуре болотных геосистем и степени заболоченности между подзонами средней и южной тайги в пределах Томской области не выявлено. Заболоченность средней тайги области достигает 55 %, южной – 54 %. Для подзон характерно преобладание верховых и переходных болот. Низинные болота занимают незначительные плошали.

На закономерности зонального размещения болот большое влияние оказывают азональные особенности территории, в частности проведенное исследование позволило выявить значительные различия в степени заболоченности и преобладающих видах болотных фаций в пределах разных геоморфологических уровней. Наибольшей заболоченностью (около 60 %) отличаются поверхности, образованные флювио-гляциальными и эрозионно-аккумулятивными процессами. Здесь широко распространены переходные и низинные фации (более 60 % от площади болот). В пределах денудационно-аккумулятивного рельефа наибольшей заболоченностью (более 40 %) отличаются водораздельные равнины эоплейстоценового, эоплейстоцен-ранненеоплейстоценового и средненеоплейстоценового возраста. Для них



■ верховые ■ переходные ■ низинные

Рисунок 2 — Типы болот в пределах типов рельефа: А — Водно-ледниковый рельеф; Денудационно-аккумулятивный рельеф: В — водораздельная равнина ранне-средненеоплейстоценового возраста, С — водораздельные равнины эоплейстоценового и эоплейстоцен-ранненеоплейстоценового возраста.

характерно преобладание болот верхового типа, которые занимают 46% от общей площади болот названных геоморфологических уровней. Поверхности равнин неогенового, плиоценового и ранне-средненеоплейстоценового возраста практически не заболочены (рисунок 2).

Кроме того, различие в развитии и размещении болот в значительной степени обусловлено направленностью тектонических движений, созданных ими структур II и III порядков, а также особенностями гидрогеологических условий. Исследования на ключевых участках показали, что наиболее заболочены зоны разломов, прогибов, тектонических впадин. В пределах активных положительных тектонических структур болот практически нет [7]. Следует отметить что, различия в пространственной структуре болот и степени заболоченности между положительными и отрицательными структурами I порядка не выявлены и меньшим распространением болот отличается только Томский выступ, занимающий юговосточную часть Томской области, заболоченность которого составляет около 15% с преобладанием древесных низинных и переходных болот (более 80% от общей площади болот).

Таким образом, проведенные исследование с использованием методов геоинформационного анализа позволили выявить основные факторы, определяющие закономерности пространственной дифференциации болотных геосистем. На зональные закономерности размещения болот значительное влияние оказывают азональные факторы, главным образом расположение болот в пределах разных геоморфологических уровней, отличающихся гидрогеологическими и литолого-геоморфологическими условиями. Наибольшейзаболоченностью (около 60%) отличаются поверхности, образованные флювио-гляциальными и эрозионно-аккумулятивными процессами – ложбины древнего стока средне-поздненеоплейстоценового возраста, а также поймы и надпойменные террасы. Наименьшей заболоченностью отличается равнина ранне-средненеоплейстоценового возраста частично совпадающая с Томским выступом.

Литература:

- 1. Ландшафты болот Томской области / под ред. Н.С. Евсеевой. Томск: Изд-во НТЛ, 2012. 400 с.
- 2. Атлас Томской области. Минерально-сырьевые ресурсы / под ред. В.А. Льготина. Томск: Томсгеомониторинг, 2008.
- 3. Гринев О.М. Рифтовые системы Сибири: методология изучения, морфотетоника, минерагения. Томск: SST, 2007. -434 с.
- 4. Возобновляемые ресурсы тепловлагообеспеченностиЗападно-Сибирской равнины и динамика их характеристик: монография/И.В.Карнацевич, О.В.Мезенцева, Ж.А. Тусупбеков, Г.Г. Бикбулатова; под общ. ред. О.В. Мезенцевой. Омск: Изд-во ФГОУ ВПО ОмГАУ, 2007. 268 с.
- 5. Хромых В.С. Природное районирование // География Томской области (под ред. А.А. Земцова). Томск: Изд-во Том. ун-та. с. 136-170.
- 6. Лисс О.Л., Абрамова Л.И., Березина Н.А. и др. Болотные системы Западной Сибири и их природоохранное значение. Тула: «Гриф и КО», 2001. 584 с.
- 7. Евсеева Н.С., Синюткина А.А. Неотектонические движения и гидрогеологические условия как факторы болотообразования на междуречье Оби и Енисея // География и природные ресурсы, 2012 № 4. C. 81-89.

GIS-based assessment of probability of forest fire caused by focused sunlight

Yankovich E.P., Baranovskiy N.V.

National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia E-mail: yankovich@tpu.ru

Predicting and estimating forest fire danger is an important part of the system of forest fire prevention and elimination. Geographic information systems (GIS) have instruments for creation, transformation and integration of variables concerned with fire danger. They allow finding geographical and analytical relations to identify areas with high fire incidents probability.

Analysis of existing forest fire danger assessment systems showed that they take into consideration such factors of forest fire initiation as anthropogenic load and storm activity. Theoretical estimates and results of experiments prove that there is possibility of forest fire due to action of focused sunlight along with previously mentioned factors. Assessment of forest fire danger caused by focused sunlight action is realizable by analysis of forest taxation description of a given forest area.

This paper describes geoinformation system that includes toolset for analysis of forest areas taxation aimed at quantitative evaluation of forest fire danger. Radiant heat flux is considered to be reference source of

ignition. The system is capable of evaluating probability and classification of forestry quarters by level of fire danger. Performance of algorithm of forest fire danger caused by focused sunlight evaluation in geoinformation system is shown on typical forest area of Timiryazevskoe forestry of Tomsk region.

Conceptual basis of GIS system is physically and mathematically proved methodic of forest fire danger assessment. Computational formulae of probability of forest fire initiation are derived from basic statement of probability theory. The system is implemented in specialized software ArcGIS.

The system uses standard user interface with additional functionality for assessment of probability of fire incidents in the forest quarters area due to action of caused sunlight. Received information is displayed on the map. For extra capabilities in evaluating forest fire danger unique instruments were developed in built-in Python programming language. Probability maps of forest fire initiation in forest quarters were created using proposed model. Application of this maps will be an important component of the forest fire control system.

Оценка вероятности возникновения лесного пожара, обусловленного действием сфокусированного солнечного света, на основе ГИС

Янкович Е.П., Барановский Н.В.

Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Томск, Россия E-mail: yankovich@tpu.ru

есной пожар одно из самых разрушительных стихийных бедствий. Возникновение лесных пожаров возможно в результате различных причин природного и антропогенного характера. Ученые и специалисты разных направлений разрабатывают подходы к оценке и прогнозированию лесной пожарной опасности. Анализ возможных причин возникновения лесных пожаров позволяет выделить такой фактор, как воздействие сфокусированного солнечного излучения [1]. Ранее теоретически [2] и экспериментально [3] показана возможность воспламенения лесных горючих материалов в результате воздействия концентрированных потоков солнечного излучения. Концентратором солнечной энергии могут быть стеклянные емкости, их осколки и крупные капли смолы хвойных деревьев. Разработана физически обоснованная методика оценки лесной пожарной опасности, обусловленной действием сфокусированного солнечного излучения, посредством классификации лесных массивов по лесотаксационным данным [4]. Принцип классификации основан на последовательном исключении малогоримых участков лесопокрытой территории [5].

Согласно [5] к малогоримым участкам, при воздействии сфокусированного солнечного излучения, могут быть отнесены: дорожная сеть и водоемы; водонасыщенные болота; лиственные и смешанные лесные массивы; смешанные леса; молодой хвойный лес. Таким образом, при воздействии концентрированного солнечного излучения на лесной горючий материал, пожарная опасность характерна только для старых хвойных лесных массивов [5].

Согласно методике [5] может быть проведена классификация выделов (однородных участков лесной территории) по уровню пожарной опасности на основе лесотаксационных данных. Такие данные включают описания состава каждого выдела, входящего в лесной квартал.

На основе классификации лесных выделов предлагается формула количественной (вероятностной) оценки лесной пожарной опасности, обусловленной действием сфокусированного солнечного излучения [4]:

$$P(C) \approx N_{\Pi} / N_{M}$$

где P(C) – вероятность возникновения лесного пожара по лесорастительным условиям, N_{Π} – число пожароопасных выделов в квартале, N_{M} – общее число выделов в квартале.

В представленном исследовании обсуждается технология оценки лесной пожарной опасности, обусловленной действием сфокусированного солнечного излучения и выявления различных зон опасности возгорания лесного горючего материала на основе анализа лесотаксационных данных в геоинформационной системе. Указанная система оценки лесной пожарной опасности, обусловленной действием сфокусированного солнечного излучения, базируется на интегрированной системе обработки пространственных данных ArcGIS. Так как для анализа используются разнородные данные (таблицы, космоснимки, сканированные изображения, векторные данные), то для их объединения и хранения наилучшим образом подходит единый формат — База геоданных (БГД).

Для проведения математического моделирования в геоинформационной системе осуществлена программная реализация математической модели, которая состоит из модуля количественной оценки

лесной пожарной опасности, обусловленной сфокусированным солнечным излучением. Этот программный модуль реализован на встроенном языке Python специализированного программного обеспечения ArcGIS.

Функционал геоинформационной системы обеспечивает [6]:

- определение пожарной опасности лесного выдела по лесотаксационным описаниям;
- количественную оценку лесной пожарной опасности квартала обусловленной действием сфокусированного солнечного излучения;
- классификацию лесных массивов по уровню пожарной опасности в условиях воздействия на лесной горючий материал концентрированных потоков солнечной энергии.
 - создание тематических карт по уровням лесной пожарной опасности квартала.

Компоненты системы:

- Подсистема ввода и хранения информации файловая база геоданных, включающая классы пространственных объектов, космонимки, автономные таблицы.
 - Подсистема визуализации и редактирования.
- Подсистема анализа, включающая набор дополнительных инструментов, для решения задачи оценки вероятности лесного пожара по лесотаксационным описаниям лесных участков и визуализации, полученной информации на карте;

Входные данные:

- Полигональный класс пространственных объектов, содержащий информацию о территориальном местоположении лесных кварталов;
 - Таблицы в формате MS Excel, с лесотаксационным описаниями лесных выделов;
 - Файл шаблона слоя.

Выходные данные:

- Автономная таблица с оценкой вероятности пожарной опасности лесного квартала (рис.1);
- Карты иллюстрирующие уровни пожарной опасности (рис.2).

Для уровневой оценки лесной пожарной опасности, обусловленной действием сфокусированного солнечного излучения, интервал изменения вероятности возникновения лесного пожара от 0 до 1 поделен на пять классов, которые позволяют качественно оценить лесную пожарную опасность.

Таблица													
0	- 🖶 - 🔓	₹	K		XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX								
v.	_vyd_pr_Stat						;						
	OBJECTID *	Номер квар	Кол-во выделов	Кол-во пожар опасных выделов	вероятность	уровень	1						
	48	48	6	5	0,83	чрезвычайный							
	56	56	8	6	0,75	высокий							
	49	49	11	8	0,73	высокий							
	25	25	33	22	0,67	высокий							
	71	71	6	4	0,67	высокий							
	26	26	42	27	0.64	высокий							
	66	66	5	3	0,6	высокий							
	30	30	38	22	0,58	средний							
	62	62	7	4	0,57	средний							
	55	55	9	5	0,56	средний							
	57	57	9	5	0.56	средний	1						

Рис. 1. Автономная таблица с результатами оценки вероятности пожарной опасности квартала

В качестве пилотного исследования проведена оценка лесной пожарной опасности, обусловленной действием сфокусированного солнечного излучения Тимирязевского лесничества Томской области.

Тимирязевское лесничество Томского управления лесами расположено в междуречье двух больших рек, реки Оби и реки Томи на территории трех административных районов Томской области – Томского, Шегарского и Кожевниковского. Протяженность территории лесничества с Севера на Юг – 64 км, с Запада на Восток – 50 км. Леса в основном представлены единым лесным массивом, кроме обособленных припоселковых кедровников п. Зоркальцево, Нижне-Сеченово и Губино. На территории лесничества почти 20% занимают болота, из которых мокрые составляют 35,5%. Преобладающей главной породой является сосна – 39,6%; Осина – 26,2% и береза – 21,2%; кедр, лиственница, ель и пихта составляют – 13%.

Была проведена оценка пожарной опасности лесных массивов Тимирязевского участкового лесничества Тимирязевского лесничества Томской области. В результате такой оценки было установлено, что только 9 % лесопокрытой территории характеризуется высокой и чрезвычайной пожарной опасностью, а остальную часть можно исключить из рассмотрения. Графически информация представлена на рисунке 2. Знание подобной информации позволит более эффективно и рациональнее проводить профилактические мероприятия по предупреждению лесных пожаров.

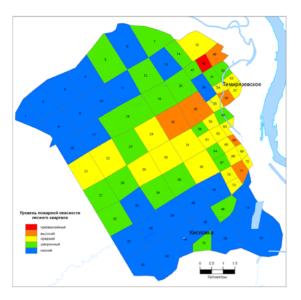


Рис. 2. Карта-схема лесной пожарной опасности, обусловленной действием сфокусированного солнечного излучения

Представленная система выполняет свою основную функцию: классифицирует лесные массивы по уровню пожарной опасности в условиях воздействия на лесные горючие материалы концентрированных потоков солнечной радиации. Использование системы будет способствовать улучшению контроля лесопожарной обстановки, повысит эффективность использования ресурсов, позволит оптимально выбрать места для размещения камер видеонаблюдения за лесным фондом.

Литература:

- 1. Kuznetsov G.V., Baranovskiy N.V. Focused sun's rays and forest fire danger: new concept // Proceedings of SPIE. 2013. Vol. 8890, paper 889011; doi:10.1117/12.2033929
- 2. Барановский Н.В. Численное исследование зажигания слоя лесного горючего материала сфокусированным потоком солнечного излучения // Бутлеровские сообщения. 2011. Т. 26. № 11. С. 53 60.
- 3. Барановский Н.В. Экспериментальные исследования зажигания слоя лесных горючих материалов сфокусированным солнечным излучением // Пожаровзрывобезопасность. 2012. Т. 21. № 9. С. 23 27.
- 4. Барановский Н.В., Янкович Е.П. Методические и технические основы использования данных наземной таксации лесных массивов в целях количественной оценки лесной пожарной опасности // Экологические системы и приборы. 2014. № 3. С. 3 12.
- 5. Барановский Н. В. Новый подход к оценке пожарной опасности лесных массивов в условиях действия сфокусированного солнечного излучения // Пожаровзрывобезопасность. 2013. Т. 22. № 1. С. 24-30.
- 6. Барановский Н.В., Янкович Е.П. Оценка и картографирование лесной пожарной опасности, обусловленной действием сфокусированного солнечного излучения, в географической информационной системе // Приборы и системы. Управление. Контроль. Диагностика. 2013. № 12. С. 8 15.