

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
Санкт-Петербургский экономико-математический
институт РАН
Институт водных проблем Севера КарНЦ РАН

Л.А. Руховец Н.Н. Филатов

ОЗЕРА и КЛИМАТ:
Модели и методы



Вычислительно-информационные технологии для наук об
окружающей среде: "CITES-2013"

Петрозаводск, Урозеро, 2013г.



Руховец Леонид Айзикович -
профессор, д.ф-м.н.,
Директор Санкт-Петербургского
экономико-математического института РАН,
Санкт-Петербург, ул. Чайковского 1
leor@emi.nw.ru

Участники работы

*Г.П. Астраханцев, В.В. Меншуткин, Т.Р. Минина, В.Н. Полосков,
Санкт-Петербургский экономико-математический институт
Н.А. Петрова
Институт озераведения*

*ВН. Баклагин,
Т.М.Тимакова, А.Ю. Тержевик, Сабылина А.В., Л.Е.Назарова,
Институт водных проблем Севера КарНЦ РАН*

СТРУКТУРА ЛЕКЦИИ

1. Почему на Школе предлагается обсудить проблемы озер. Основные проблемы лимнологии XX1 века и пути их решения.
2. Современные информационные технологии, методы моделирования в озероведении.
3. Изменения экосистем крупнейших озер Европы под влиянием климата и антропогенных факторов: Моделирование, эксперимент.

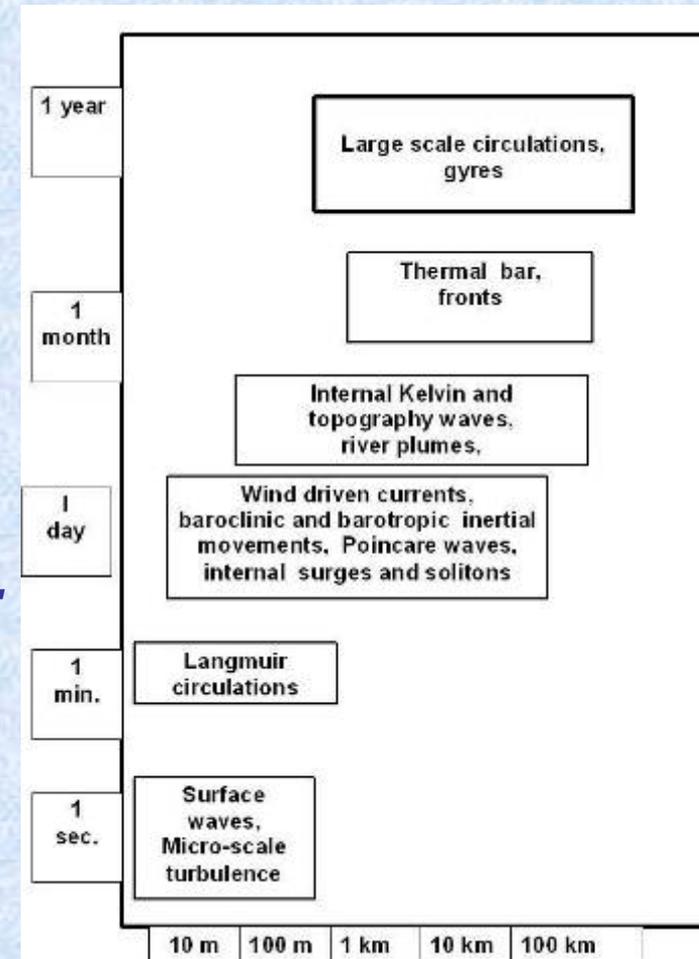
Почему на Школе обсуждаются проблемы озер.

1. Великие озера как модель океана:

- Можно выполнить верификацию каких-то океанических моделей на примере великих озер в более контролируемых условиях. **Примеры: Участие в программе «Разрезы» и внедрение моделей, разработанных для океана (Демин, Саркисян, 1981), Модели РОМ, NEMO и др.**
- Реализовать комплексные эксперименты для изучения гидрофизических явлений и процессов, таких как, например, нелинейные внутренние волны, апвеллинги, перемешивание вод и др.
- Выполнить калибровку спутниковых данных в условиях контролируемого эксперимента.

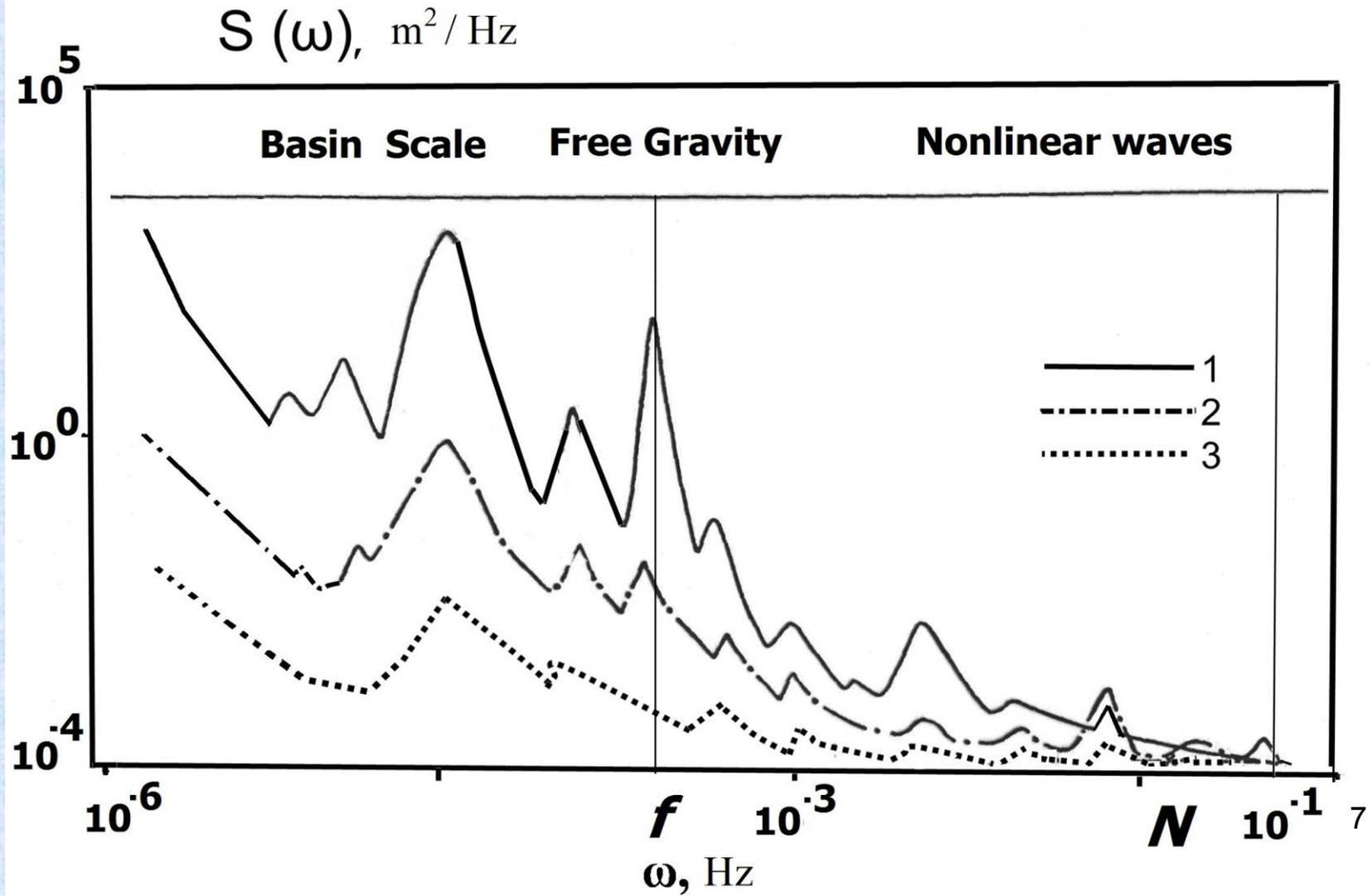
КРУПНЫЕ И/ ИЛИ ВЕЛИКИЕ ОЗЕРА

- С точки зрения геофизической гидродинамики есть строгие критерии. В, частности, радиус деформации Россби $R = c / f$, и число Баргера.
- В соответствии с этими критериями Ладога и Онега - очень большие или великие, так как бароклинный радиус деформации Россби ($R < L$) намного меньше, чем характерные горизонтальные размеры озер.



Типичные спектры движений в озерах Мира:

- 1) Великие, крупнейшие озера $R_R \ll L$;
- 2) Озера средних размеров, $R_R \geq L$.
- 3) Относительно малые озера, ($R_R \geq L$), (Filatov, 1991)



Шторм на Онего в 2008 г



ЛИМНОЛОГИЯ - комплексная наука об озерах

- Цели и задачи озероведения (лимнологии) менялись в зависимости от вызовов времени.
- 1XX век- середина XX века - описательная наука. Основоположник лимнологии Ф.Форель (1890).
- Вторая половина XX века – от наблюдений к описанию индивидуума и популяции к сообществам и экологическим системам. Основным математическим инструментом в лимнологии были статистические методы, а математическое моделирование с использованием аппарата дифференциальных уравнений было экзотикой. Во второй половине XX в. - от описания отдельных фактов к выяснению связей между элементами экологических систем, и на исследование механизмов процессов на всех уровнях.
- Последняя треть XX в. – развитие и внедрение средств наблюдений, аэро- и космических, внедрения геоинформационных компьютерных систем, моделирования.
- Лимнология XXI в. - это наука об озерных системах.
- Журнал «Limnology and Oceanography».

- В конце XX века были отмечены резкая деградация многих озерных экосистем из-за влияния человека (Балхаш, Севан, Арал, Эри, Каспий и др.). Потребовалось создание таких теорий, методов, которые смогли бы помочь, прогнозировать последствия и дать рекомендации по ликвидации последствий.
- Требования к лимнологии XXI века - ни как оценить, измерить биоразнообразие сообществ, а как его сохранить или изменить видовой состав в желаемом направлении. Как прогнозировать состояние экосистемы в условиях воздействия климата и человека. Это должно сделать математическое моделирование рабочим методом лимнологии.
- Задача лимнологии XXI в. - создание теории динамики экологических систем, способной к практическому прогнозированию не только в обычных, но и в экстремальных ситуациях. Такой подход существенно меняет отношение к материалу лимнологических наблюдений.
- В XXI веке лимнология становится междисциплинарной наукой, развиваются социо-эколого-экономические системы.

Арал



Озеро Балхаш



Севан



2. Озера Мира

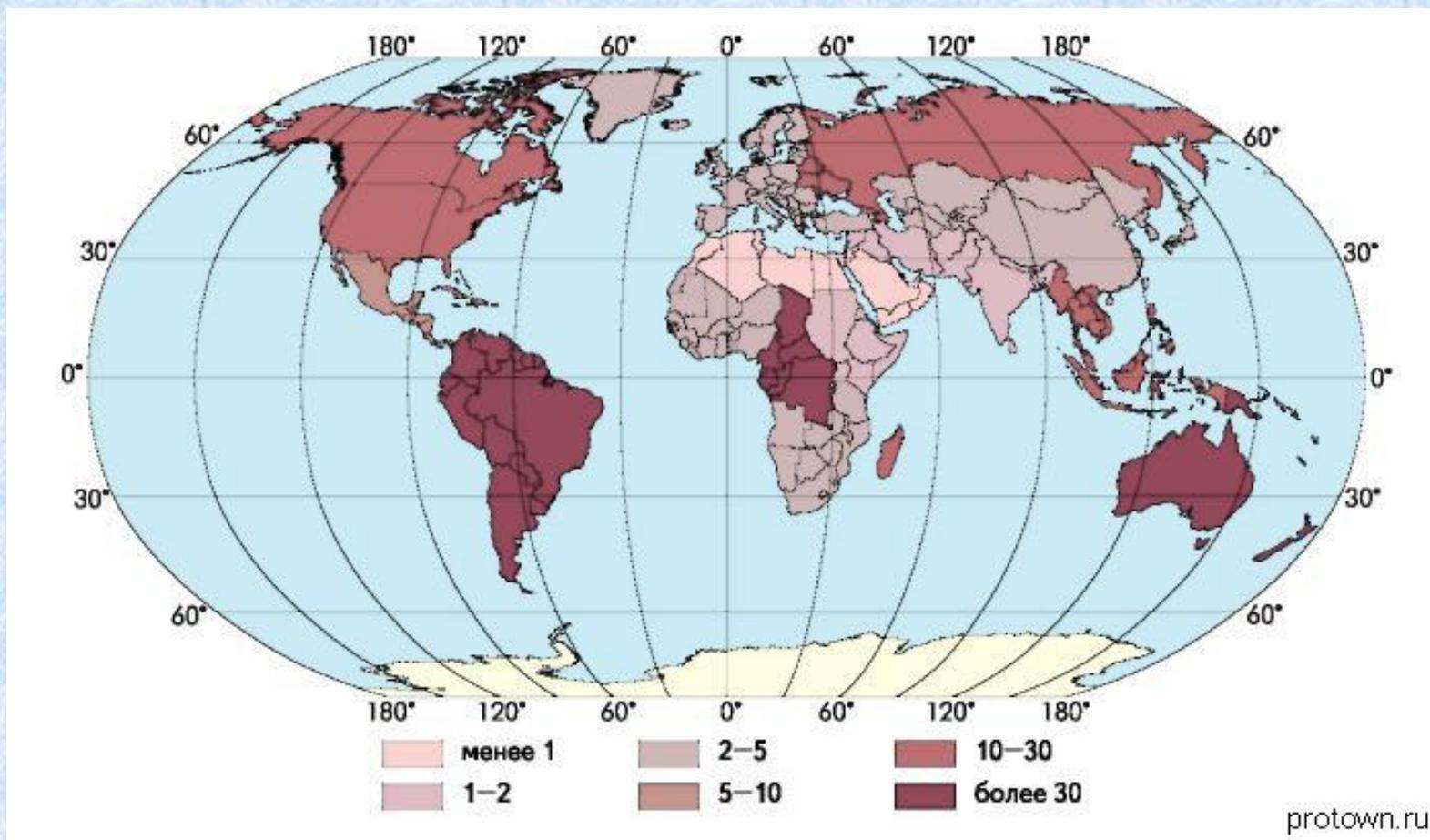
- важные объекты экономики

- На Земле около 10 млн. озер.
- В России - 2.8. млн. озер, среди них самое глубокое озеро Мира – Байкал, Великие озера Европы: Ладога и Онега.
- Озера – продукт климата, а элементы водного баланса их биота – чувствительные индикаторы изменений климата.
- Озера –источники питьевой воды, объекты энергетики, водного транспорта, рекреации, био и водных ресурсов.

ДЛЯ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ СУШИ МОЖНО ВЫДЕЛИТЬ СЛЕДУЮЩИЕ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ:

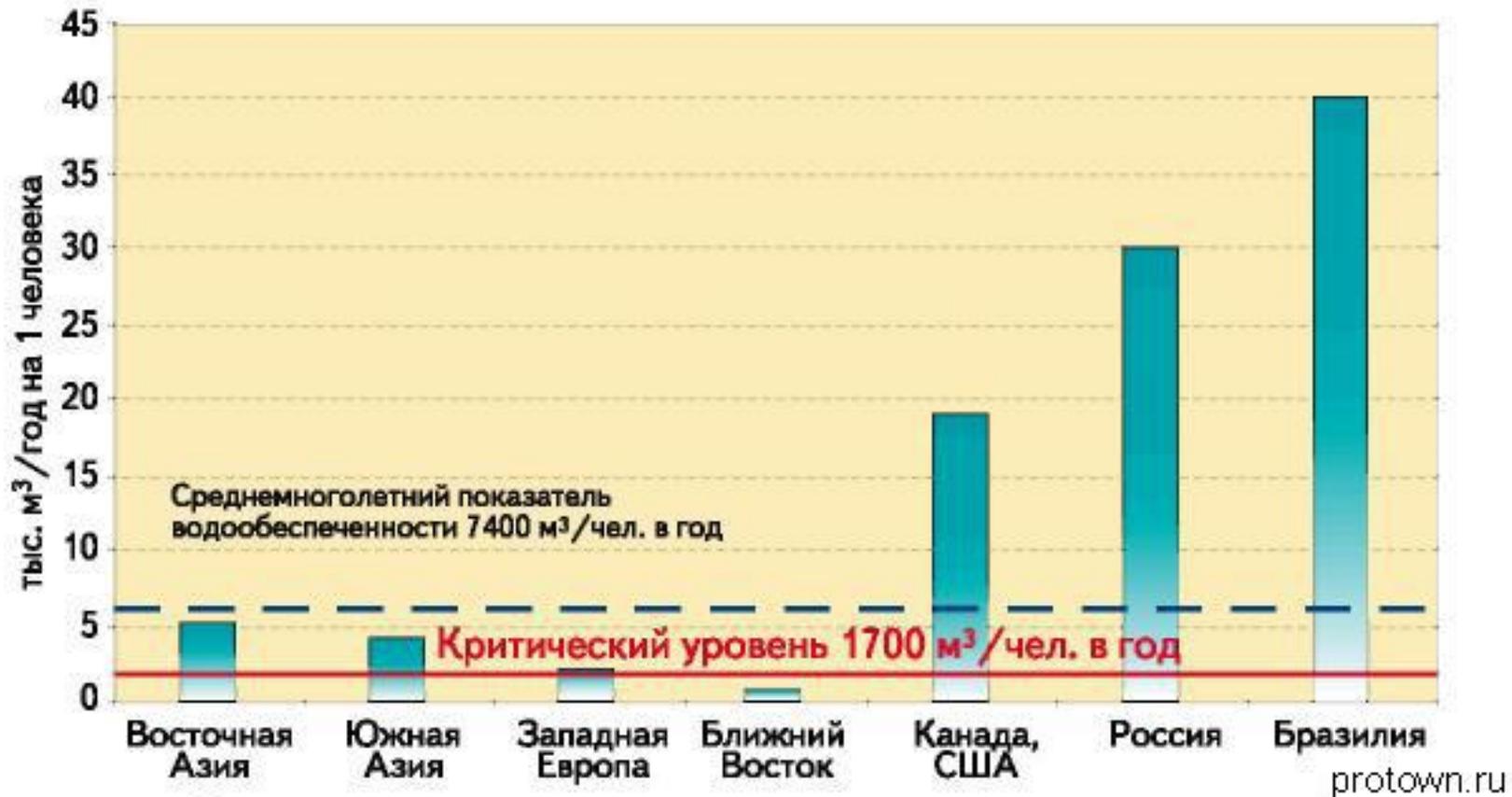
- **Сохранение, восстановление водных экологических систем,**
- **Решение проблем дефицита питьевой воды,**
- **Определение допустимых пределов антропогенной нагрузки на водные объекты в условиях меняющегося климата для их рационального использования и охраны ресурсов.**
- **Оценки ассимиляционного потенциала озер.**
- **Исследование озер Мира, изучение которых экспериментально затруднено. Например, озеро Восток в Антарктиде.**

Обеспеченность ресурсами пресной воды, тыс. м³ на душу населения в год



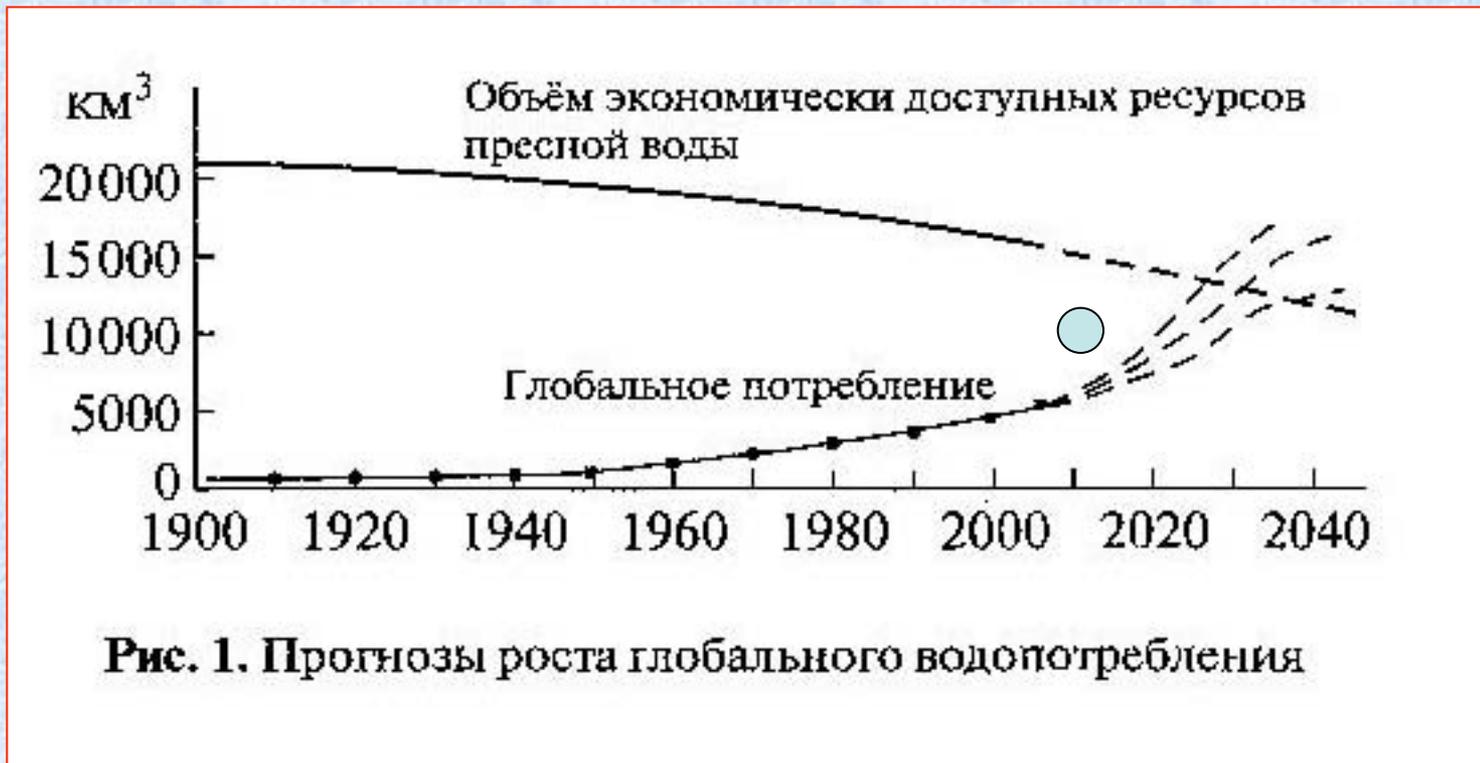
*Вода стоит особняком в истории нашей планеты. Нет земного вещества – минерала, горной породы, живого тела, которое ее бы не заключало. Всё земное существо ею проникнуто и охвачено»
Академик В.И. Вернадский*

Водообеспеченность населения разных стран, м³/чел. в год



В расчете объема пресной воды на одного жителя России приходится около 30 тыс. м³ речного стока в год. Это примерно в 5,5 раза больше среднемирового уровня, почти в 2 раза больше, чем в США и в 14 раз больше, чем в Китае.

**«Водные ресурсы – стратегический фактор
долгосрочного развития экономики»
(В.И. Данилов-Данильян. Вестник РАН, №9, 2009)**



- В дальнейшем роль воды в экономике будет только увеличиваться.
- За последние 100 лет в Море уже произошло более 400 конфликтов, в том числе и вооруженных, связанных с водными ресурсами.
- Водный бизнес сейчас составляет 40 % нефтяного!
- В нашей стране рассматривалось возможное перераспределение водных ресурсов, обсуждаются проекты продажи воды, в частности, из Ладожского и Онежского озер, но для возможной реализации таких проектов требуется серьезное научное обоснование, что бы не повторить те ошибки, которые были сделаны при решении проблем Каспийского моря. Были положены в основу принятия решений неверные модели.

В СВЯЗИ С УКАЗАННЫМ ВЫШЕ ТРЕБУЕТСЯ:

- **Разработка моделей эколого-социо-экономических систем.**
- **Внедрение современных информационных технологий, дистанционных аэрокосмических методов, использование их в математических моделях.**
- **Дальнейшее развитие математического моделирования, создание экспертных систем, основанных на подходах искусственного интеллекта, когнитивных методов, с использованием баз данных и знаний.**
- **Разработка современных информационных технологий, которые сочетают методы математического моделирования, экспертных систем и WEB-технологии.**

ОЗЕРА МИРА

20

1. Introduction

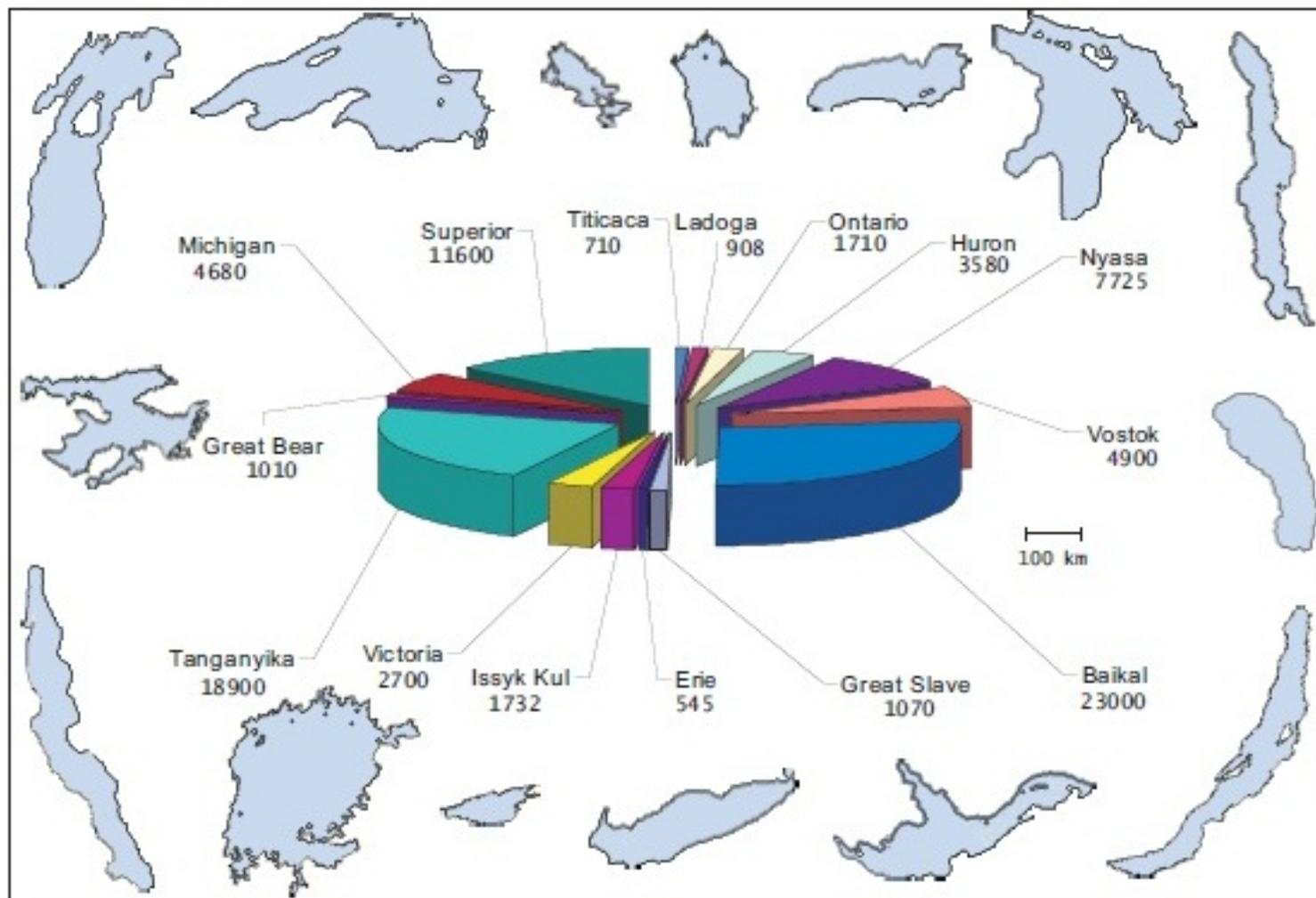


Fig. 1.5. Shapes of the largest lakes on Earth, plotted on a common scale, with volumes indicated in km³

Распределение озер по широте и глубинам

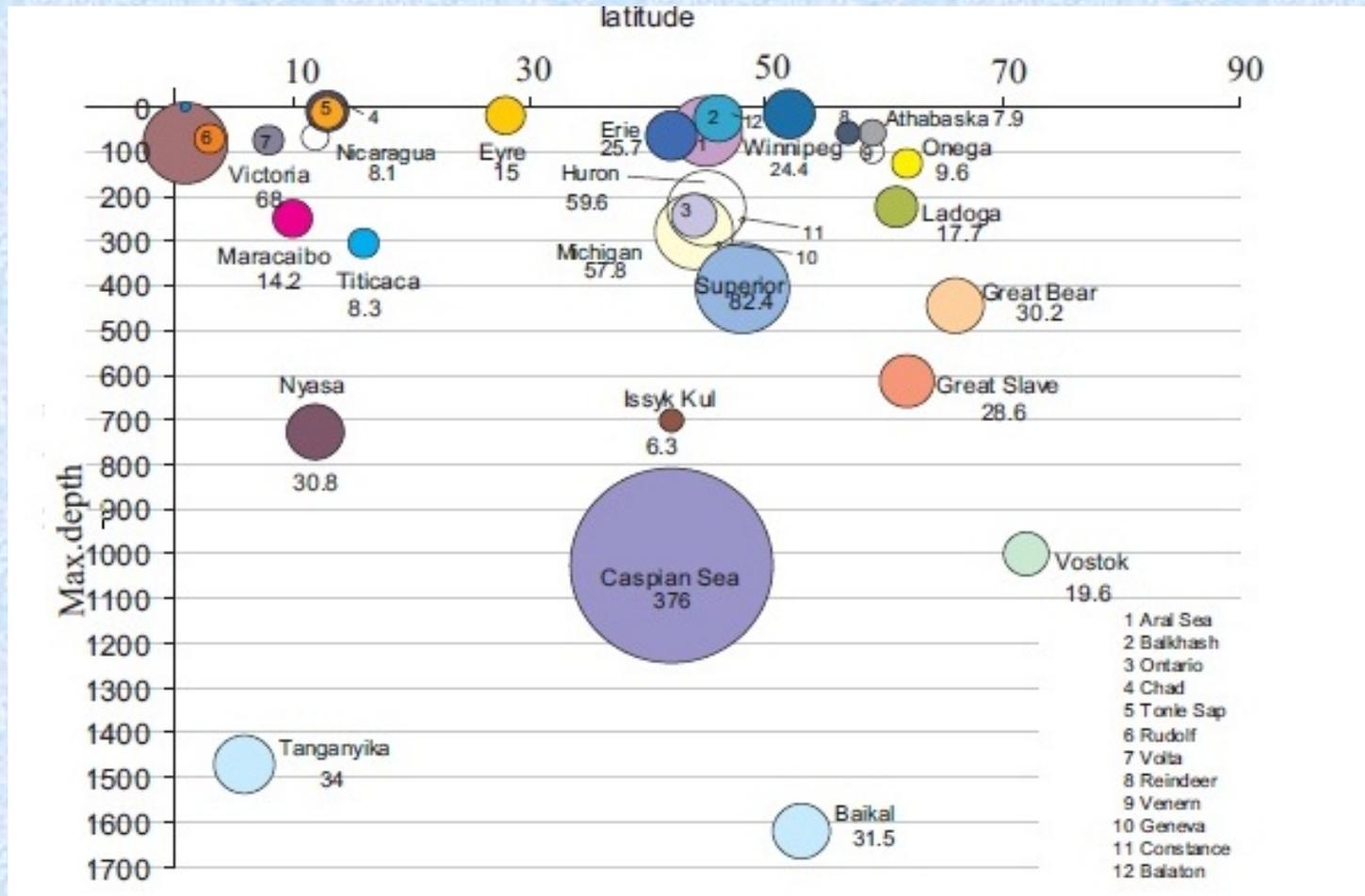
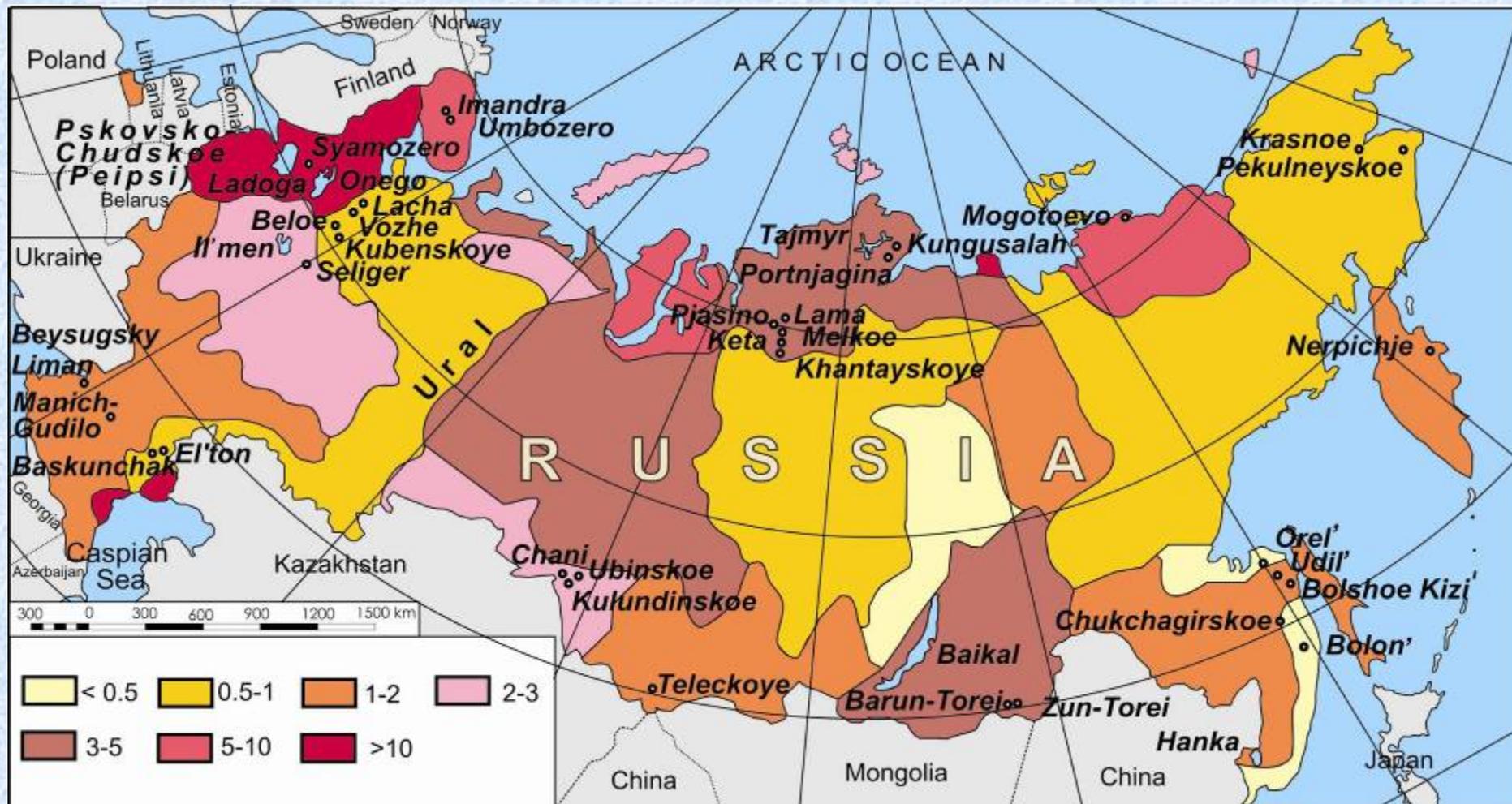


Fig. 1.6. Diagram showing maximum depth (in m) and latitudes of the World's largest lakes. The area of the circle is proportional to the surface area (in thousand of km²) of the corresponding lake.

Озерные регионы России. 2.7 млн. озер



Проблема: Изучено менее 1 % озер, поэтому
Требуется разработка и внедрение новых вычислительно-
информационных технологий



Водные объекты Республики Карелия

**Север ЕТР
богат водными
ресурсами.**

**В Карелии более
60 000 озер.
Среди них крупнейшие
озера Европы-
Ладожское и Онежское,
Белое море.
Озерность - около 20 %.
Болота и заболоченные
леса – 30%.**

Проблемы информационного и законодательного обеспечения водохозяйственного комплекса (ВХК) России:

В России 2.8 млн. озер, а изучено менее 1 %. Не оценены корректно водные, биологические ресурсы водоемов.

Плохо проработанная законодательная база, не урегулированы взаимоотношения между участниками ВХК РФ. Для сохранения ресурсов не корректно принят «Закон о Воде».

Отсутствуют автоматизированные системы для ВХК, основанные на ГИС, для контроля, поддержки принятия решений, определения платы за пользование и др.

Не используются современные системы поддержки принятия решений.

2.

**ВНЕДРЕНИЕ НОВЫХ
ВЫЧИСЛИТЕЛЬНО-ИНФОРМАЦИОННЫХ
ТЕХНОЛОГИЙ**

**для изучения озер, оценки их ресурсов,
разработки систем поддержки принятия решения**

В.В.Меншуткин - профессор, д.б.н., г.н.с. СПб ЭМИ РАН



**Лауреат Гос.премии СССР и
премии им. Карпинского.**

**Представитель первого
поколения отечественных
специалистов математического
и
имитационного моделирования
в области
биологии и экологии,
работающего в
традициях научных школ
Г.Ю. Верещагина,
А.А. Ляпунова,
Н.В. Тимофеева-Ресовского,
Г.Г. Винберга.**

ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ ЭКОСИСТЕМ ОЗЕР

Проведение наблюдений, полевых экспериментов, мониторинга, возможно только в отношении ограниченного числа характеристик системы озер.

Экосистемы озер не является полностью наблюдаемой системой.

С помощью математических моделей возможно получить сведения о состоянии таких элементов экологической системы озера, которые недоступны для непосредственного наблюдения, а также определить воздействия на систему, которые привели бы ее в состояние наиболее благоприятное состояние.

К КЛАССИФИКАЦИИ ОЗЕРНЫХ МОДЕЛЕЙ

На конференции в Австралии в 2010 г. предложили условно подразделить модели озерных экосистем можно:

- **традиционные** (“reinventingthewheel”-изобретение велосипедов) и **новаторские** (“havingtunnelvision”).
- Традиционные модели полезно подразделить на модели экосистем малых, средних и больших озер – как стратифицированных, так и нестратифицированных.

- Традиционный путь построения математических моделей процессов и явлений в неживой природе, как правило, состоит в формулировании в виде систем дифференциальных уравнений физических законов, составляющих основу изучаемых процессов и явлений.
- Модели для описания процессов и явлений живой природы, основаны не на физических законах (в части, касающейся трансформации субстанций), и не на уравнениях химических реакций, не описывается законами физики.
- Основу уравнений экологических моделей озер составляют различные эмпирические закономерности, установленные в процессе изучения и обработки результатов наблюдений.

Николай Владимирович Тимофеев-Ресовский. 1973 г.

«Я не ошибаюсь, думая, что хорошо применять математику там, где объекты однозначны, не расплывчатые. В биологии же объекты описаны недостаточно, даже феноменологически. Нужно чувство такта, логики и эстетики, чтобы не попасть в смешное положение точным моделированием вещей, точно не описанных»»

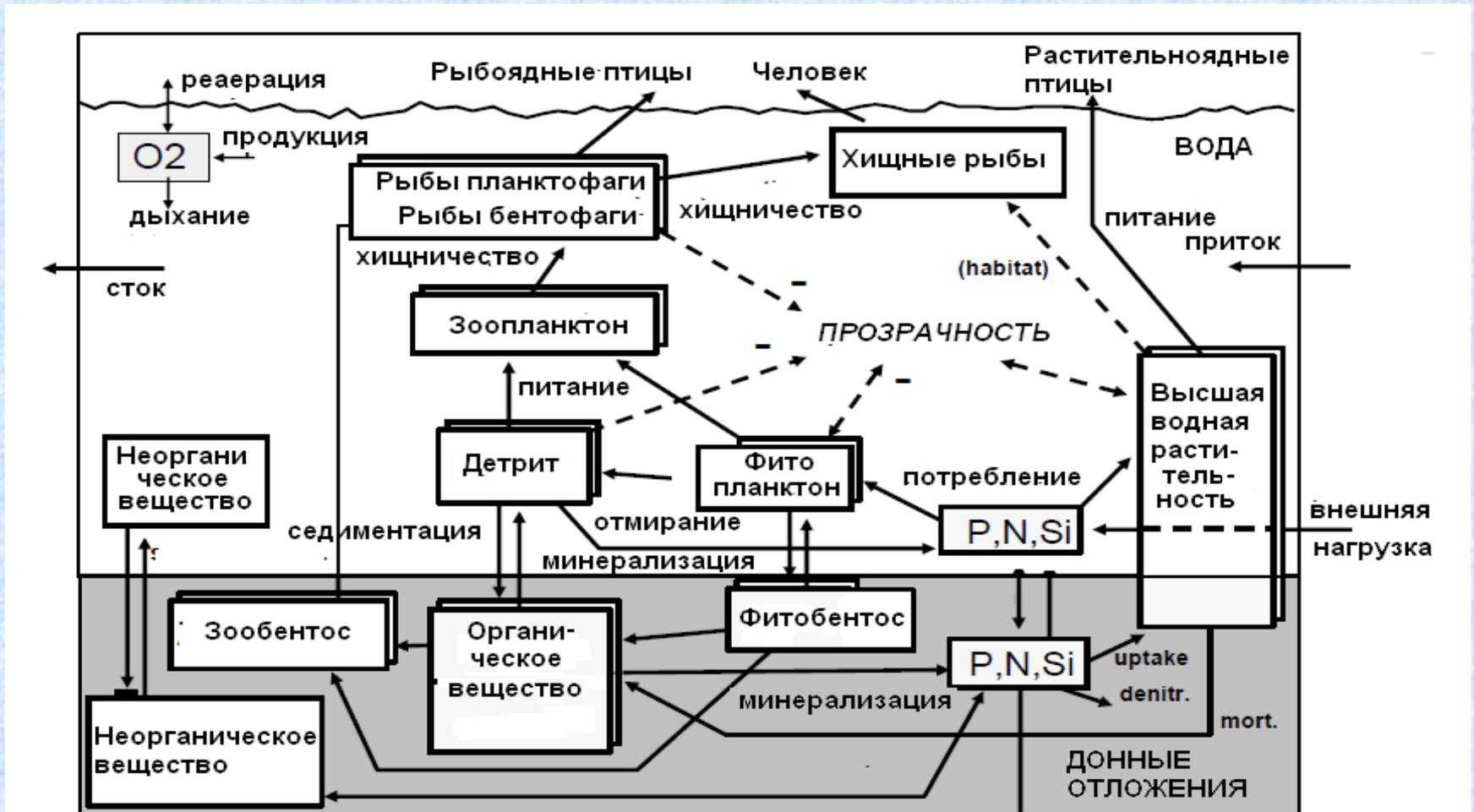
С ПОМОЩЬЮ МОДЕЛЕЙ МОЖНО:

1. Определять реакцию озерных экосистем на различные изменения внешних воздействий и проверять гипотезы, связанные с изменениями представлений о структуре и механизмах функционирования экосистемы.
2. Обнаруживать пробелы в знаниях об экосистеме и восполнять их.
3. Решать задачи управления водопользованием, и экономические задачи.

Математические модели экосистем крупных озер, представляют собой балансовые соотношения, записанные в виде дифференциальных уравнений. Фундаментальной основой этих уравнений служат законы сохранения (изменения) массы вещества.

Основные проблемы решаемые с помощью моделирования были связаны с эвтрофированием и загрязнением большинства озер мира (Jorgensen, Страшкраба, Меншуткин, Руховец и др.).

СТРУКТУРА МОДЕЛИ ЭКОСИСТЕМЫ ОЗЕРА

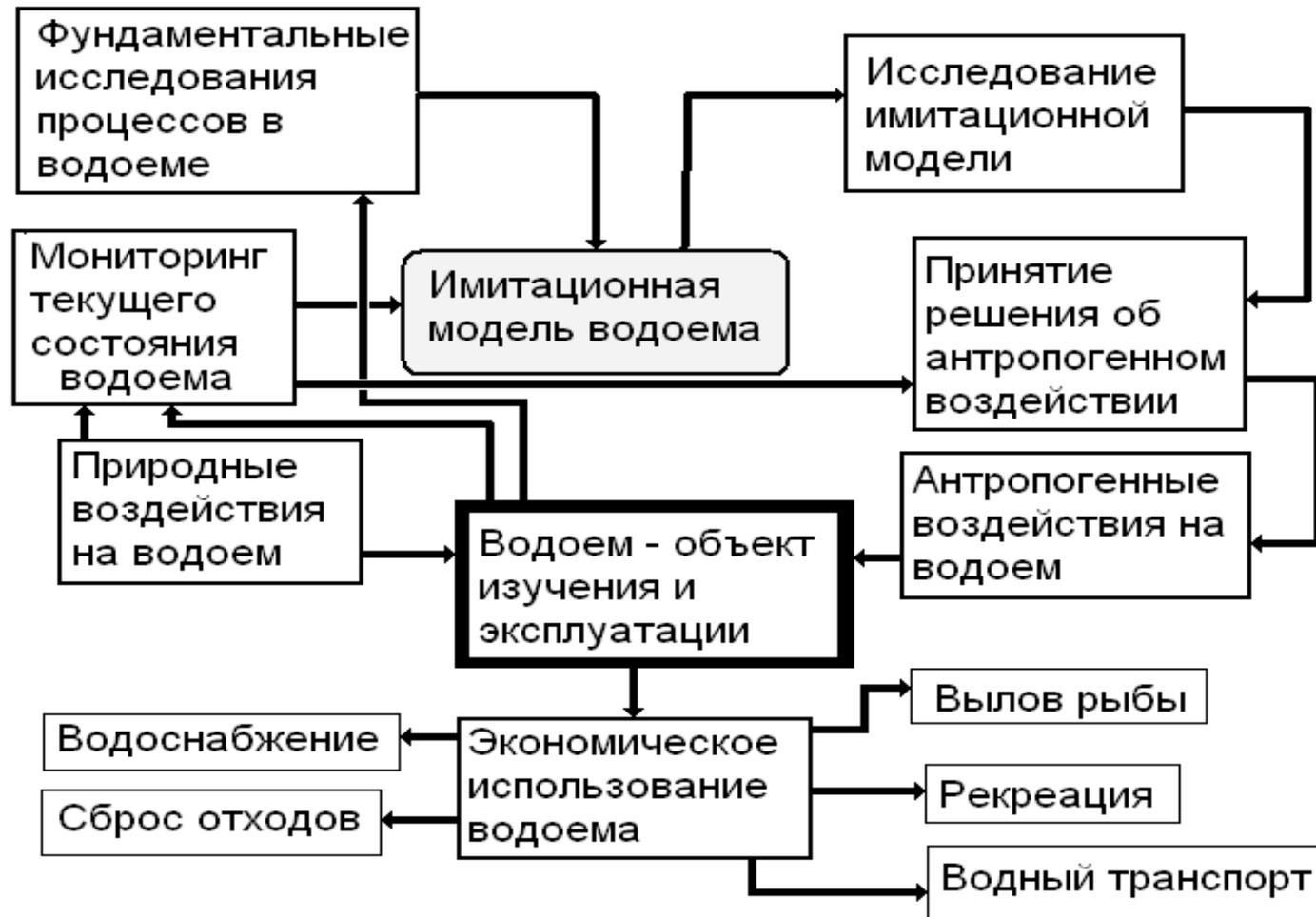


Блок продуцентов: фитопланктон, и/или макрофиты, перифитон
Блок консументов - зоопланктон, бентос и рыбы.
Бактериопланктон и бактериобентос – редуценты (деструкторы)

При создании моделей экосистем озер необходимо опираться на выполнение законов сохранения вещества и энергии в

- В первых моделях СПб ЭМИ РАН фито и зоопланктон был представлен биомассой, в настоящее время выделяют более 10 групп фитопланктона, так как каждая из этих групп обладает специфическими размерными и эколого-физиологическими характеристиками. Например, чувствительностью к световым и температурным условиям, концентрациям растворенных и взвешенных в воде веществ и т.п.
- Формы представления функциональной зависимости между продукцией группы фитопланктона, интенсивностью светового потока, температурой и концентрацией биогенов разнообразны и число этих зависимостей достигает 30 (Jorgensen, 1994). Наиболее распространенной формой зависимости является формула Михаэлиса-Ментен.

ОБЩАЯ СХЕМА ИССЛЕДОВАНИЯ И ЭКСПЛУАТАЦИИ ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ ОЗЕР ДЛЯ ЗАДАЧ УПРАВЛЕНИЯ



При наличии БД и БЗ для ансамбля озер Можно применять такие подходы как:

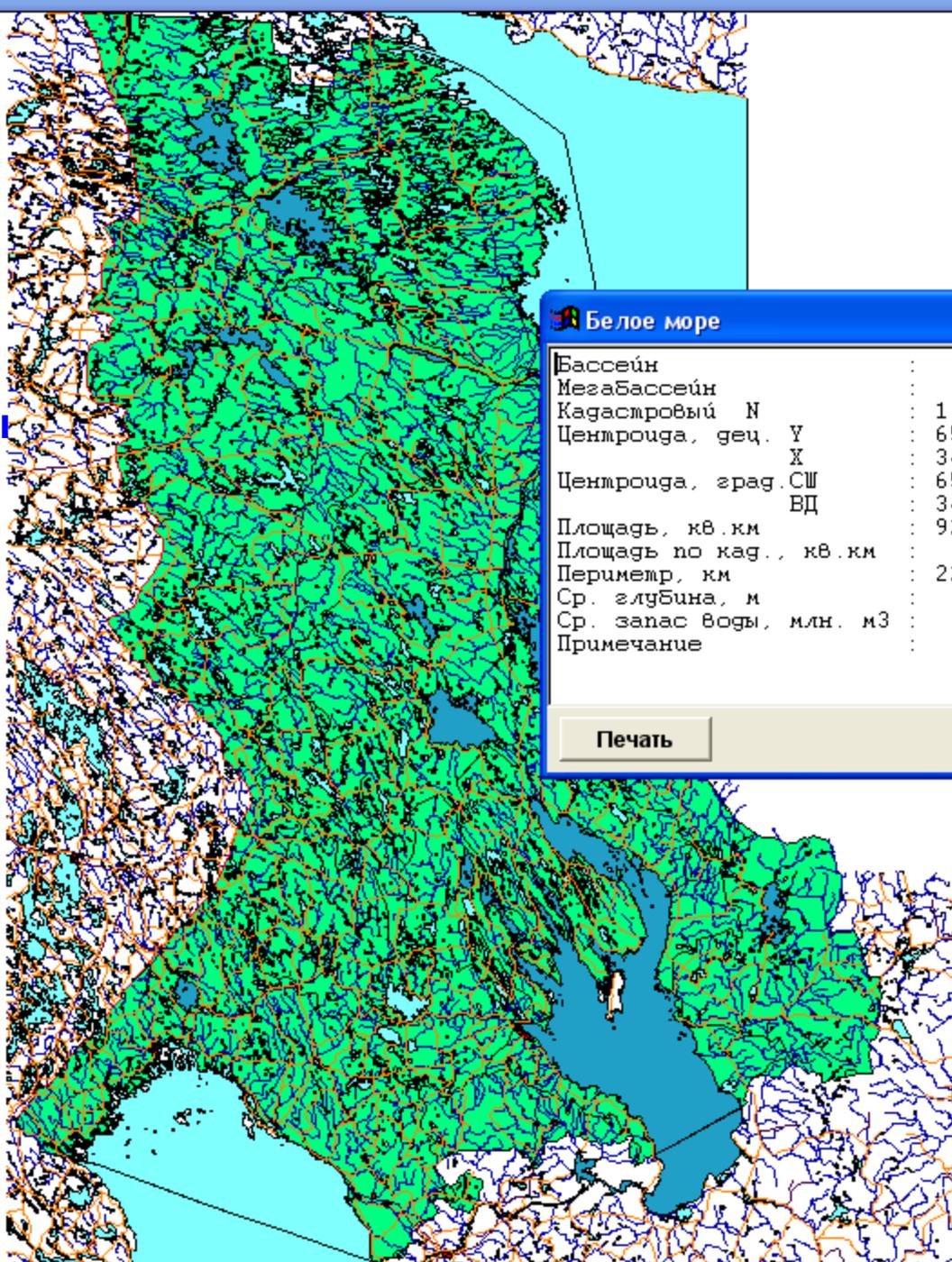
- **Методы нечётких множеств, искусственного интеллекта, логико-лингвистические и когнитивные модели.** Эти модели создаются и используются, прежде всего, в тех случаях, когда уровень знаний о моделируемых процессах или явлениях не позволяет применять формальный аппарат или когда отношения между объектами в модели не имеют количественной оценки и регулируются только причинно-следственными связями.
- Современные разработки в области экологического моделирования такие как объектно-ориентированный подход, методы искусственного интеллекта или нейронных сетей (Руховец, Меншуткин, Филатов, 2013) еще не достаточно изучены и поэтому возникают трудности отделения свойств самой модели от свойств, присущих самому природному оригиналу – озерной экосистеме.

Создание БД, каталогов, ГИС

Система была разработана и Передана в Минприроды РК Для практического Исползования в 2011 г.



Блок системы
Водные
Объекты РК,



Белое море	
Бассейн	:
Мегабассейн	:
Кадастровый N	: 1
Центроида, дец.	Y : 65.2675
	X : 34.9831
Центроида, град.	СШ : 65:16:3
	ВД : 34:58:59
Площадь, кв.км	: 9294.10
Площадь по кад., кв.км	:
Периметр, км	: 2294.38
Ср. глубина, м	:
Ср. запас воды, млн. м3	:
Примечание	:

Печать

[-] [Hand] [+]

Вся карта

Выборка

Поиск

Слой

Раскраска

Легенда

Экспорт

Печать

Искомый объект

Объекты поиска

Настройка

Инструкция

Расст.:9840.468

СШ 65:21:06.
ВД 31:57:47.

Закрыть

База данных в ГИС «Водопользователи»



Была разработана и передана в Минприроды РК Для практического использования в 2011 г.

Для многочисленных неизученных озер

Можно использовать

ЭС – на основе методов теории искусственного интеллекта, нечеткой логики и нечетких множеств. Экспертная система может быть использована не только для оценки ВР водоемов, трофического статуса озер и определения неизвестных характеристик, но и для определения рыбопродуктивности, качества воды и выработке рекомендаций по оптимальному использованию природных ресурсов водоема.

Экспертные системы и искусственные нейронные сети применяют:

- Для определения характеристик озерных экологических систем при неизвестности внутренней структуры этих систем – типа метода «черного ящика» (Рутковский, 2010).
- Для оценки состояния, ресурсов неизученных или малоизученных озер по имеющемуся ансамблю достаточно хорошо исследованных озер. Конструирование ЭС сводится к многократному применению байесовской процедуры оценки апостериорной функции распределения по априорной функции распределения .
- Пример применения искусственных нейронных сетей для озер так же основывается на представлении исследуемой системы в виде «черного ящика» для оз. Шира (Хакасия) (Лобова и др., 2005) или прогнозирования экологических явлений с помощью нейронных сетей посвящена работа (Olden, Jackson, 2002).

Объектно-ориентированные модели

- Система предполагается состоящей из некоторого множества объектов, которые наделены определенными свойствами и могут взаимодействовать друг с другом (Cao et al., 2008; Omstedt , 2008).
- Применяют при моделировании миграций и инвазий животных и растений, а также процессов адаптации и микроэволюции.
- При моделировании пространственной структуры озерных экологических систем (Grunwald et al., 2006) целесообразно применение математического аппарата клеточных автоматов (Hogeweg, 1988).

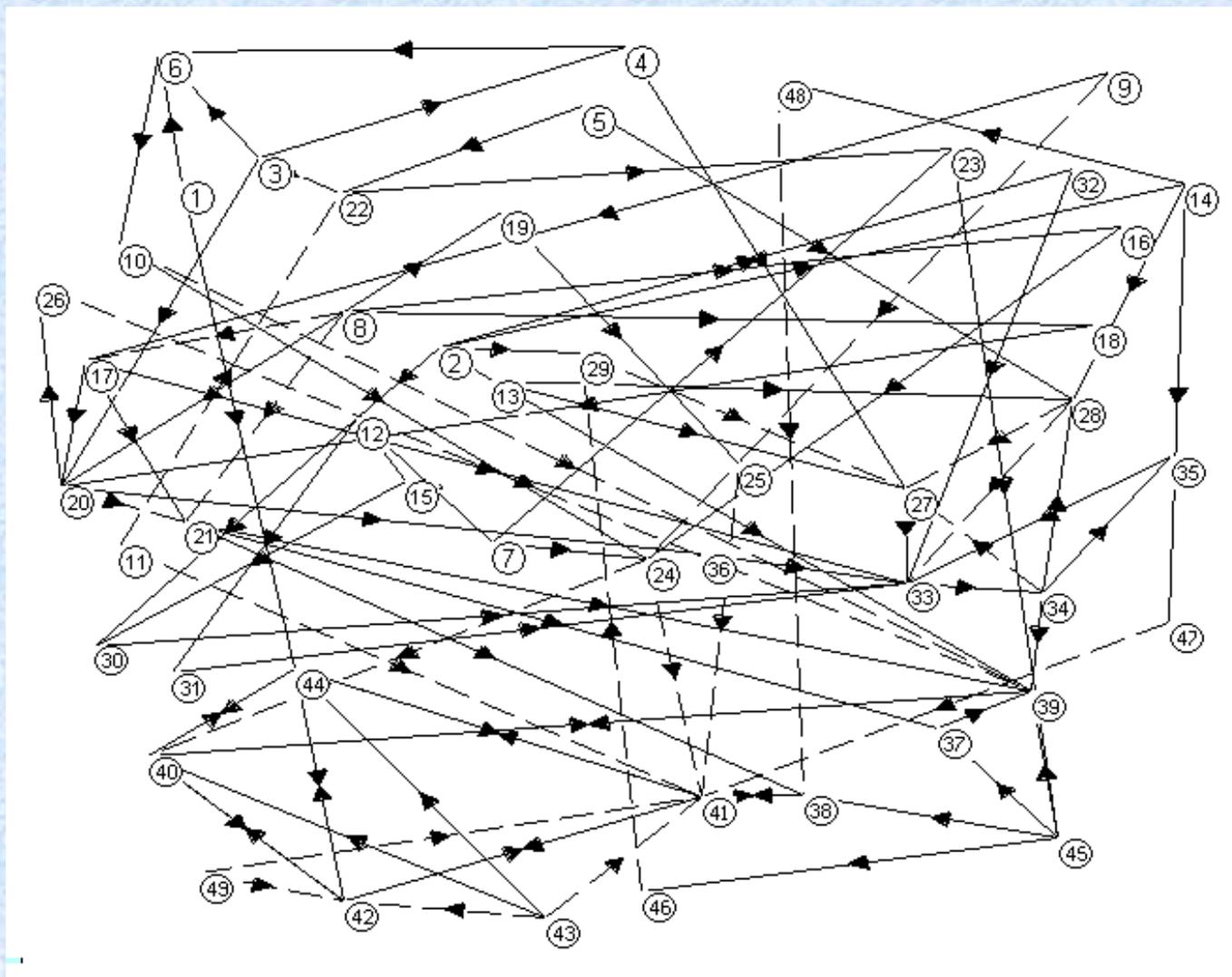
Когнитивные модели

- **Идея создания когнитивных моделей озерных экологических систем заключается в попытке перенесения методов человеческого мышления на построение моделей в конкретной предметной области (Mead, 2006). В этом подходе можно выделить, по меньшей мере, два:**
- **Первый связан с применением, так называемых «когнитивных карт» (Паклин, 2003). Нашел широкое применение в различных областях знания, например в экономике.**
- **Второй связан с теорией нечетких множеств Л. Заде (1976) и отражает размытость человеческих представлений о некоторых явлениях реальности.**

Когнитивная карта озер Карелии. Сплошные линии – положительные связи, штриховые – отрицательные связи. Наименование концептов.

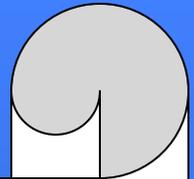
- 1 – Площадь поверхности озера, 2 – площадь водосбора озера, 3 – средняя глубина озера, 4 – максимальная глубина озера, 5 – степень изрезанности береговой линии, 6 – объем водной массы озера, 7 – природная зона расположения озера, 8 – географическая широта расположения озера, 9 – высота среднего уровня озера над уровнем моря, 10 – коэффициент условного водообмена, 11 – годовые колебания уровня озера, 12 – вынос общего фосфора с водосбора в озеро, 13 – вынос органического углерода с водосбора в озеро, 14 – вынос загрязняющих веществ с водосбора в озеро, 15 – степень урбанизированности водосбора, 16 – интенсивность испарения с поверхности озера, 17 – радиационный баланс на поверхности озера, 18 – турбулентный поток тепла между поверхностью озера и атмосферой, 19 – продолжительность ледостава, 20 – термическая стратификация озера, 21 – количество градусодней в эпилимнионе озера, 22 – степень развития литорали, 23 – степень развития высшей водной растительности, 24 – общая минерализация воды озера, 25 – наличие зимнего дефицита растворенного в воде кислорода, 26 – наличие гипolimниального дефицита кислорода, 27 – прозрачность воды по диску Секки, 28 – цветность воды озера, 29 – концентрация неорганических взвешенных частиц в воде озера, 30 – концентрация общего фосфора в воде озера, 31 – концентрация общего азота в воде озера, 32 – концентрация кремния в воде озера, 33 – первичная продукция фитопланктона, 34 – биомасса фитопланктона, 35 – глубина фотического слоя, 36 – интенсивность вертикального турбулентного перемешивания, 37 – биомасса бактериопланктона, 38 – биомасса бентоса, 39 – биомасса зоопланктона, 40 – биомасса рыб-планктофагов, 41 – биомасса рыб – бентофагов, 42 – биомасса хищных рыб, 43 – интенсивность промысла рыб, 44 – вылов рыб, 45 – концентрация детрита в воде озера, 46 – интенсивность осадконакопления, 47 – концентрация загрязняющих веществ в воде озера, 48 – концентрация загрязняющих веществ в донных отложениях, 49 – загрязнение воды токсическими веществами, действующими на рыб.

На основании когнитивной карты экосистемы озера можно установить знак и степень влияния одной переменной модели на любую другую или на всю систему в целом.



Логико-лингвистические модели

- Применяют, когда уровень знаний о моделируемых процессах или явлениях не позволяет применять формальный аппарат или когда отношения между объектами в модели не имеют количественной оценки и регулируются только причинно-следственными связями.
- Принцип построения логико-лингвистических моделей заключается в том, что численные переменные интерпретируются в виде слов (так называемые «лингвистические переменные»), а арифметические операции заменяются операциями логического вывода.



**Для озер Карелии разработана
экспертная система:**

**Может быть использована не только для
оценки трофического статуса озер и
определения неизвестных
характеристик, но и для определения
рыбопродуктивности, качества воды и
выработке рекомендаций по
оптимальному использованию
природных ресурсов водоема.**

БД и БЗ «Озера Карелии»



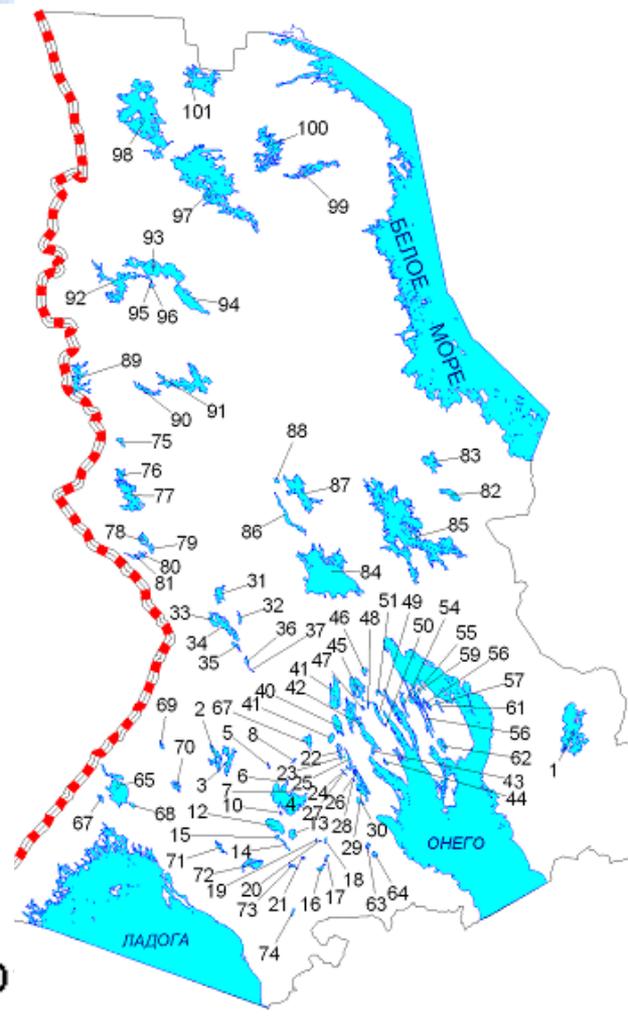
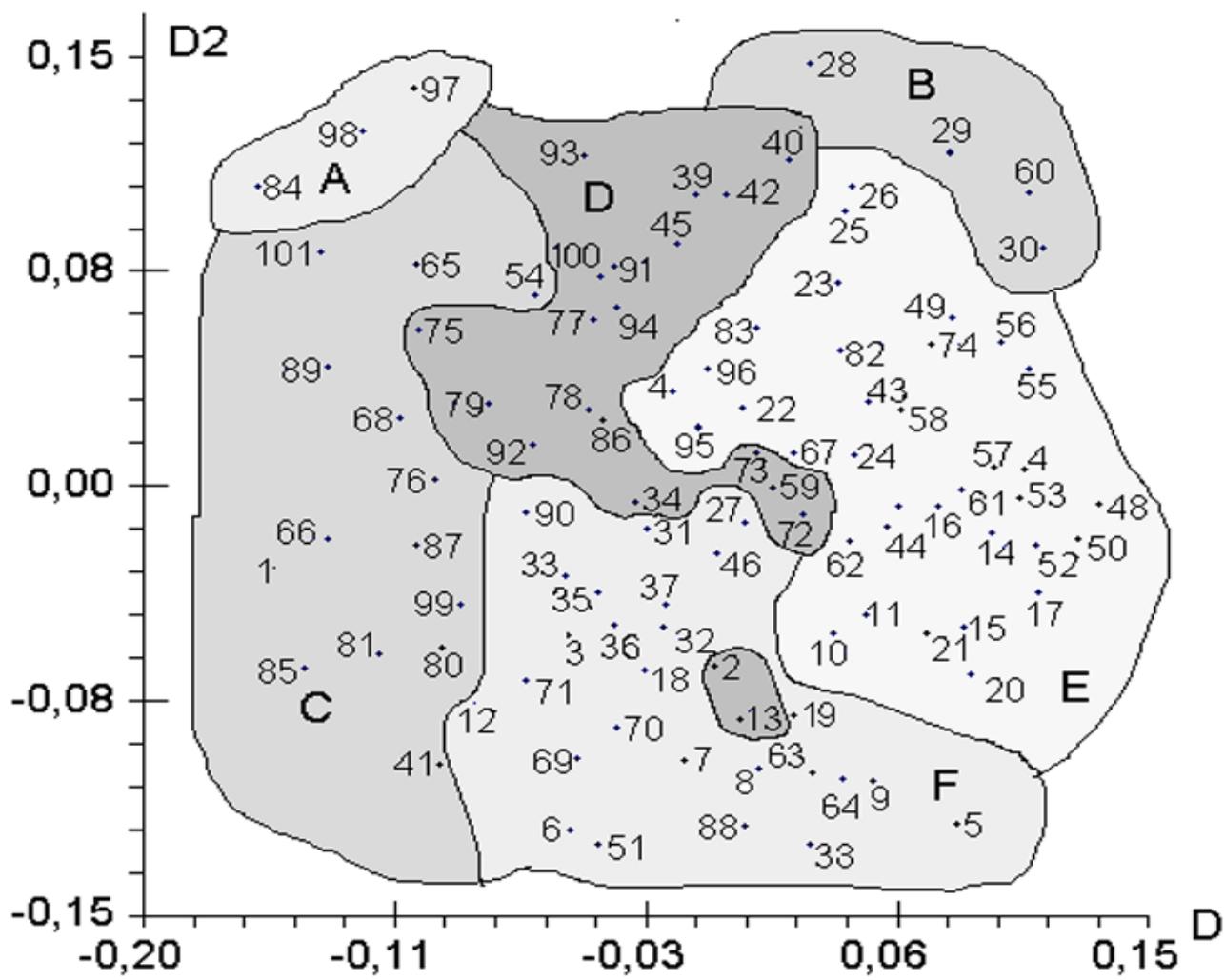
1	Водлозеро	62	Яндомозеро
2	Салонъярви	63	Лососинное
3	Суоярви	64	Машезеро
4	Сямозеро	65	Янисярви Большое
5	Н.Кивач	66	Янисярви Малое
6	Кудъярви	67	Вахваярви
7	Лакшъярви	68	Суйстамонярви
8	Вохтозеро	69	Толвоярви
9	Савасозеро (Савозеро)	70	Лоймоланярви
10	Иматозеро	71	Тулмозеро
11	Павшойльское	72	Ведлозеро
12	Шотозеро	73	Топозеро
13	Вагатозеро	74	Коткозеро
14	Крошнозеро	75	Ровкульское
15	Миккельское	76	Торосозеро
16	Святозеро	77	Лексозеро
17	Пелдожское	78	Сула
18	Пряжинское	79	Лоут
19	Чогозеро	80	Лендерское
20	Шаньгима	81	Куйккаселька
21	Каскес-Наволоцкое	82	Пулозеро
22	Мунозеро	83	Сумозеро
23	Долгая Ламба	84	Сегозеро
24	Габозеро	85	Выгозеро
25	Пертозеро	86	Елмозеро
26	Кончозеро	87	Ондозеро
27	Гальозеро	88	Рокшозеро
28	Гомсельское	89	Каменное
29	Укшезеро	90	Кимасозеро
30	Урозеро	91	Нюкозеро
31	Суккозеро	92	Куйто Верхнее
32	Воттозеро	93	Куйто Среднее
33	Ройк-Наволоцкое	94	Куйто Нижнее
34	Гимольское	95	Алоярви
35	Кудомгубское	96	Юлиярви
36	Чудозеро	97	Топозеро
37	Поросозеро1	98	Пязеро
38	Ватчельское	99	Энгозеро
39	Пальозеро	100	Кереть
40	Сундозеро	101	Тикшезеро
41	Пялозеро		
42	Сандал		
43	Нигозеро		
44	Вашозеро		
45	Лижмозеро		
46	Шайдомозеро		
47	Поросозеро2		
48	Кондозеро		
49	Кедрозеро		
50	Тарасмозеро		
51	Викшозеро		
52	Пигмозеро Верхнее		
53	Пигмозеро Нижнее		
54	Ладмозеро		
55	Ванчозеро		
56	Космозеро		
57	Гажкозеро		
58	Чужмозеро		
59	Валгомозеро		
60	Путкозеро		
61	Падмозеро		



Определены Информационные связи между номинальными признаками озер Карелии. Числа у стрелок соответствуют коэффициентам λ . Отсутствие стрелки означает, что $\lambda=0$.

Матрица совместной встречаемости различных видов рыб в озерах

	снеток	лосось	ряпушка	сиг	хариус	щука	плотва	окунь	елец	язь	лещ	гольян	укляя	густера	синец	судак	ерш	налим	шиповка	голец	голавль	подкаменщик	сом	форель	красноперка	3-колюшка	9-колюшка	корюшка	рипус	карась	паляя	кумжа
снеток	3	2	1	2	2	3	3	3	1	2	2	1	3	1	1	1	3	3	1	2	0	1	0	1	1	1	0	0	1	0	0	0
лосось	2	19	17	18	14	19	19	19	8	17	14	8	12	4	3	5	19	17	2	4	2	8	0	3	1	1	3	9	1	0	1	1
ряпушка	1	17	73	50	19	72	70	72	24	43	45	13	46	4	6	6	63	66	4	4	2	28	1	7	1	2	7	27	1	2	3	10
сиг	2	18	50	54	20	53	53	54	23	41	38	12	37	5	6	7	47	49	5	7	2	25	1	8	3	4	7	24	1	1	3	10
хариус	2	14	19	20	21	21	21	21	9	17	14	8	13	2	2	2	20	19	2	4	1	10	0	5	2	2	4	10	1	0	1	1
щука	3	19	72	53	21	97	94	96	27	51	57	14	57	8	7	8	85	85	5	7	2	33	1	10	3	5	7	31	1	2	3	10
плотва	3	19	70	53	21	94	97	97	27	51	60	14	57	8	7	8	84	82	5	7	2	33	1	10	3	5	7	31	1	2	3	10
окунь	3	19	72	54	21	96	97	10	27	51	60	14	57	8	7	8	86	84	5	7	2	33	1	10	3	5	7	31	1	2	3	10
елец	1	8	24	23	9	27	27	27	27	26	22	7	21	5	4	4	25	24	1	4	2	9	1	2	0	0	2	4	0	0	0	6
язь	2	17	43	41	17	51	51	51	26	51	40	11	38	8	5	7	43	44	3	6	2	20	1	6	2	3	6	18	1	0	1	10
лещ	2	14	45	38	14	57	60	60	22	40	60	13	43	8	7	8	51	51	4	6	2	24	1	8	2	4	6	19	1	2	2	7
гольян	1	8	13	12	8	14	14	14	7	11	13	14	12	3	3	3	14	14	2	2	1	8	0	2	0	0	3	6	0	0	1	1
укляя	3	12	46	37	13	57	57	57	21	38	43	12	57	8	7	7	52	51	5	7	2	27	1	10	3	5	4	22	1	2	0	8
густера	1	4	4	5	2	8	8	8	5	8	8	3	8	8	3	4	6	6	1	3	2	5	0	1	0	1	0	3	0	0	0	0
синец	1	3	6	6	2	7	7	7	4	5	7	3	7	3	7	6	7	7	3	4	2	5	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
судак	1	5	6	7	2	8	8	8	4	7	8	3	7	4	6	8	8	8	3	4	2	6	1	1	0	0	0	1	0	0	0	0
ерш	3	19	63	47	20	85	84	86	25	43	51	14	52	6	7	8	87	78	5	7	2	30	1	9	3	5	4	28	1	2	3	8
налим	3	17	66	49	19	85	82	84	24	44	51	14	51	6	7	8	78	85	5	7	2	33	1	9	3	5	7	30	1	2	3	10
шиповка	1	2	4	5	2	5	5	5	1	3	4	2	5	1	3	3	5	5	5	3	1	5	0	2	2	2	0	1	1	0	0	0
голец	2	4	4	7	4	7	7	7	4	6	6	2	7	3	4	4	7	7	3	7	2	6	1	3	3	3	0	2	1	0	0	0
голавль	0	2	2	2	1	2	2	2	2	2	2	1	2	2	2	2	2	2	1	2	2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
подкаменщик	1	8	28	25	10	33	33	33	9	20	24	8	27	5	5	6	30	33	5	6	2	33	1	5	3	5	6	18	1	1	1	7
сом	0	0	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1	1	1	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
форель	1	3	7	8	5	10	10	10	2	6	8	2	10	1	0	1	9	9	2	3	0	5	0	10	3	3	1	6	1	0	0	0
красноперка	1	1	1	3	2	3	3	3	0	2	2	0	3	0	0	0	3	3	2	3	0	3	0	3	3	3	0	2	1	0	0	0
3-колюшка	1	1	2	4	2	5	5	5	0	3	4	0	5	1	0	0	5	5	2	3	0	5	0	3	3	5	0	4	1	1	0	0
9-колюшка	0	3	7	7	4	7	7	7	2	6	6	3	4	0	0	0	4	7	0	0	0	6	0	1	0	0	7	4	0	0	1	3
корюшка	0	9	27	24	10	31	31	31	4	18	19	6	22	3	0	1	28	30	1	2	0	18	0	6	2	4	4	31	0	2	2	3
рипус	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	1	0	0	0	1	1	1	1	0	1	0	1	1	1	0	0	1	0	0	0
карась	0	0	2	1	0	2	2	2	0	0	2	0	2	0	0	0	2	2	0	0	0	1	0	0	0	1	0	2	0	2	0	0
паляя	0	1	3	3	1	3	3	3	0	1	2	1	0	0	0	0	3	3	0	0	0	1	0	0	0	0	1	2	0	0	3	1
кумжа	0	1	10	10	1	10	10	10	6	10	7	1	8	0	0	0	8	10	0	0	0	7	0	0	0	0	3	3	0	0	1	10



Выполнена классификация озер с использованием 10 порядковых характеристик и списков видов рыб, макрофитов и бентоса, а также типов грунтов и трофического статуса, определенного при помощи экспертной системы.

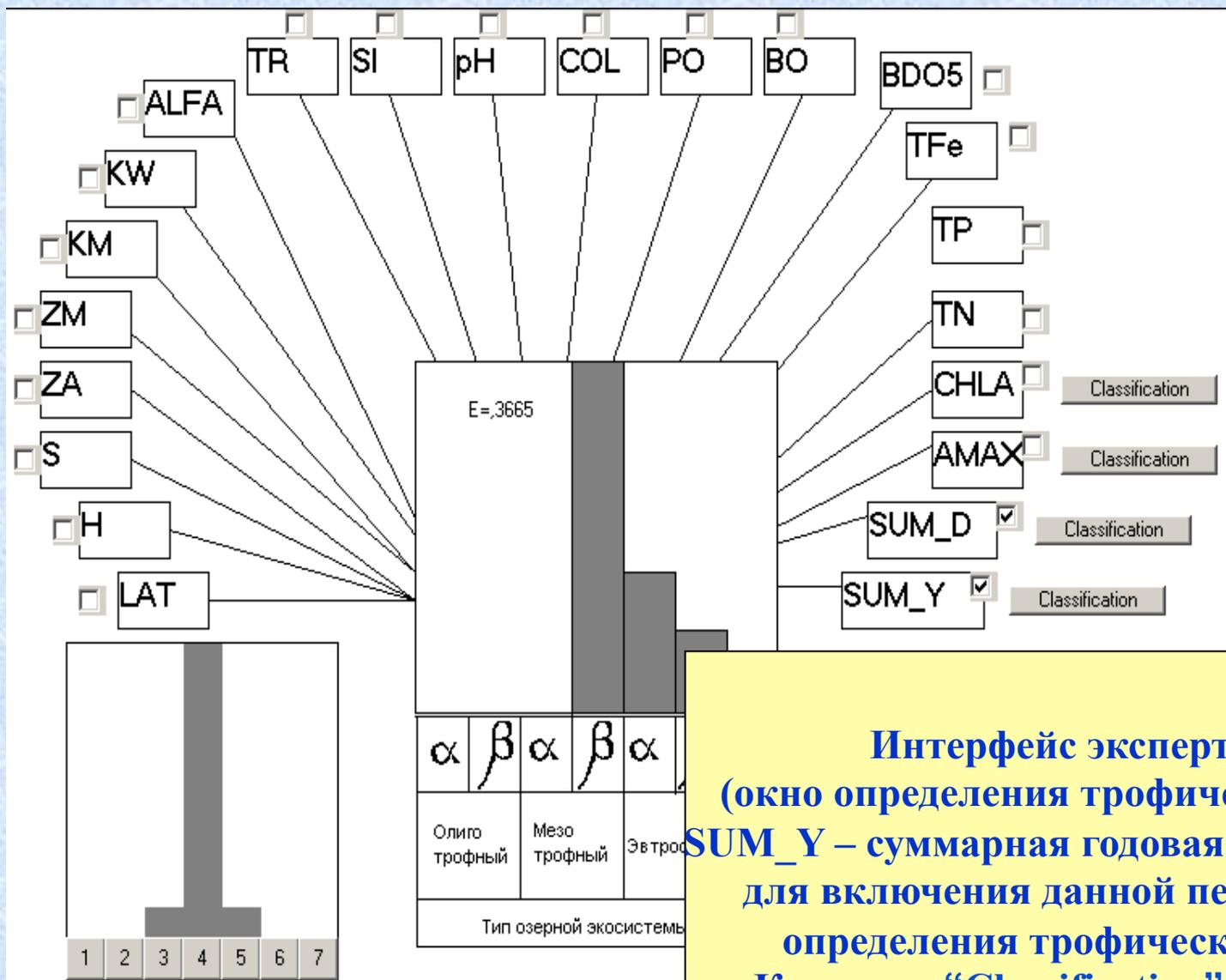
ВЫПОЛНЕНА НЕЧЕТКАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ ОЗЕР КАРЕЛИИ

Сущность простейшего алгоритма нечеткой классификации заключается в отыскании таких значений функции принадлежности каждого озера (i) к каждому кластеру (k), которое минимизировало бы функционал:

$$C = \sum_{k=1}^K \frac{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \mu_{ik} \mu_{jk} d_{ij}}{2 \sum_{j=1}^N \mu_{jk}^2}$$

Здесь d - расстояние между озерами, N – общее число озер.

Всего в экспертной системе «ОЗЕРА КАРЕЛИИ» 12687 таких положений с указанием значения их функции принадлежности.



Интерфейс экспертной системы (окно определения трофического статуса озера).

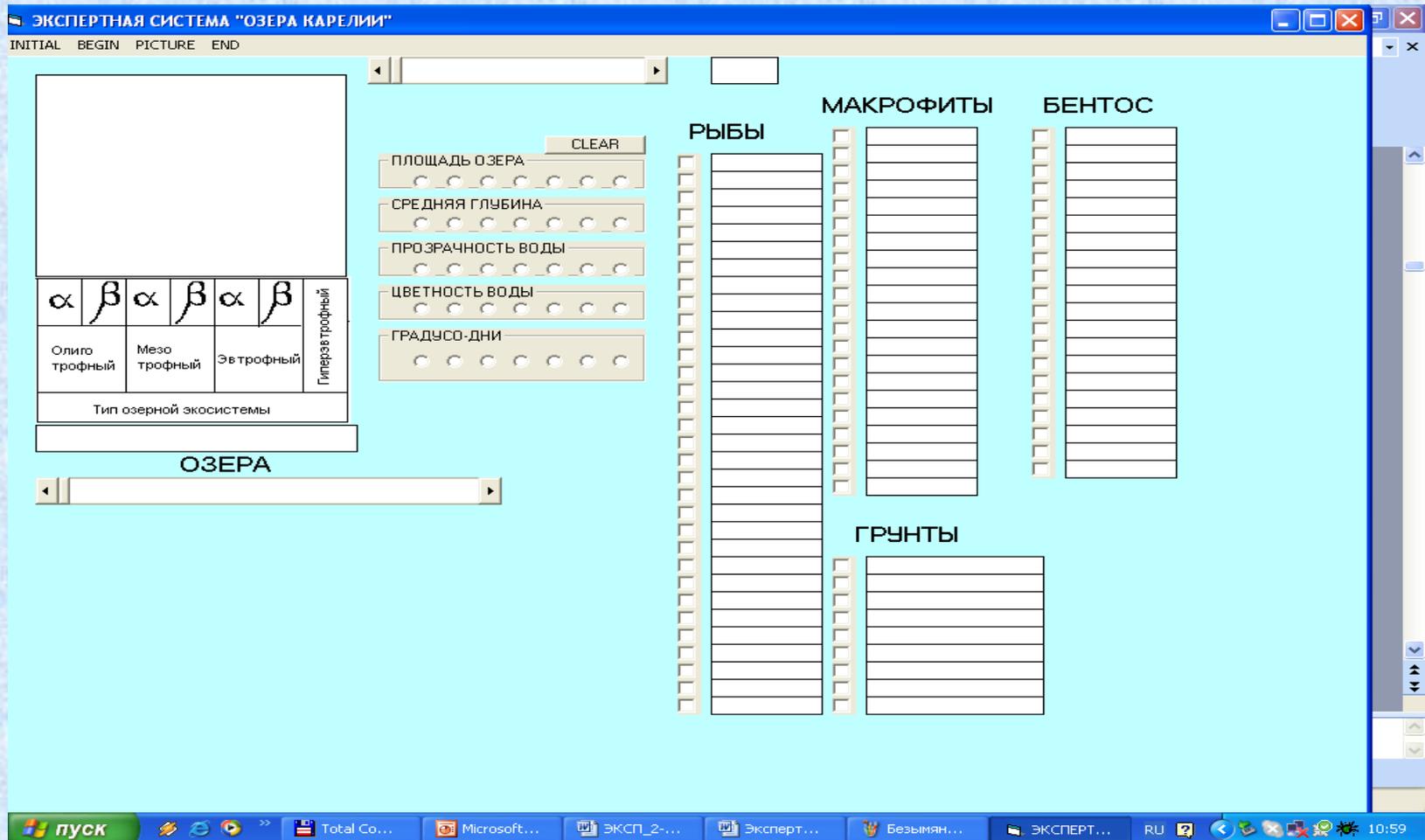
SUM_Y – суммарная годовая первичная продукция.

для включения данной переменной в процесс определения трофического статуса озера.

Клавиши “Classification” предназначены для выбора характеристики, по которой производится оценка трофического статуса.

Экспертная система «Озера Карелии».

В разработанной экспертной системе фигурируют 94 лингвистические переменные.



**3. ИЗМЕНЕНИЯ
ЭКОСИСТЕМ КРУПНЕЙШИХ
ОЗЕР ЕВРОПЫ ПОД
ВЛИЯНИЕМ КЛИМАТА И
АНТРОПОГЕННЫХ
ФАКТОРОВ.**

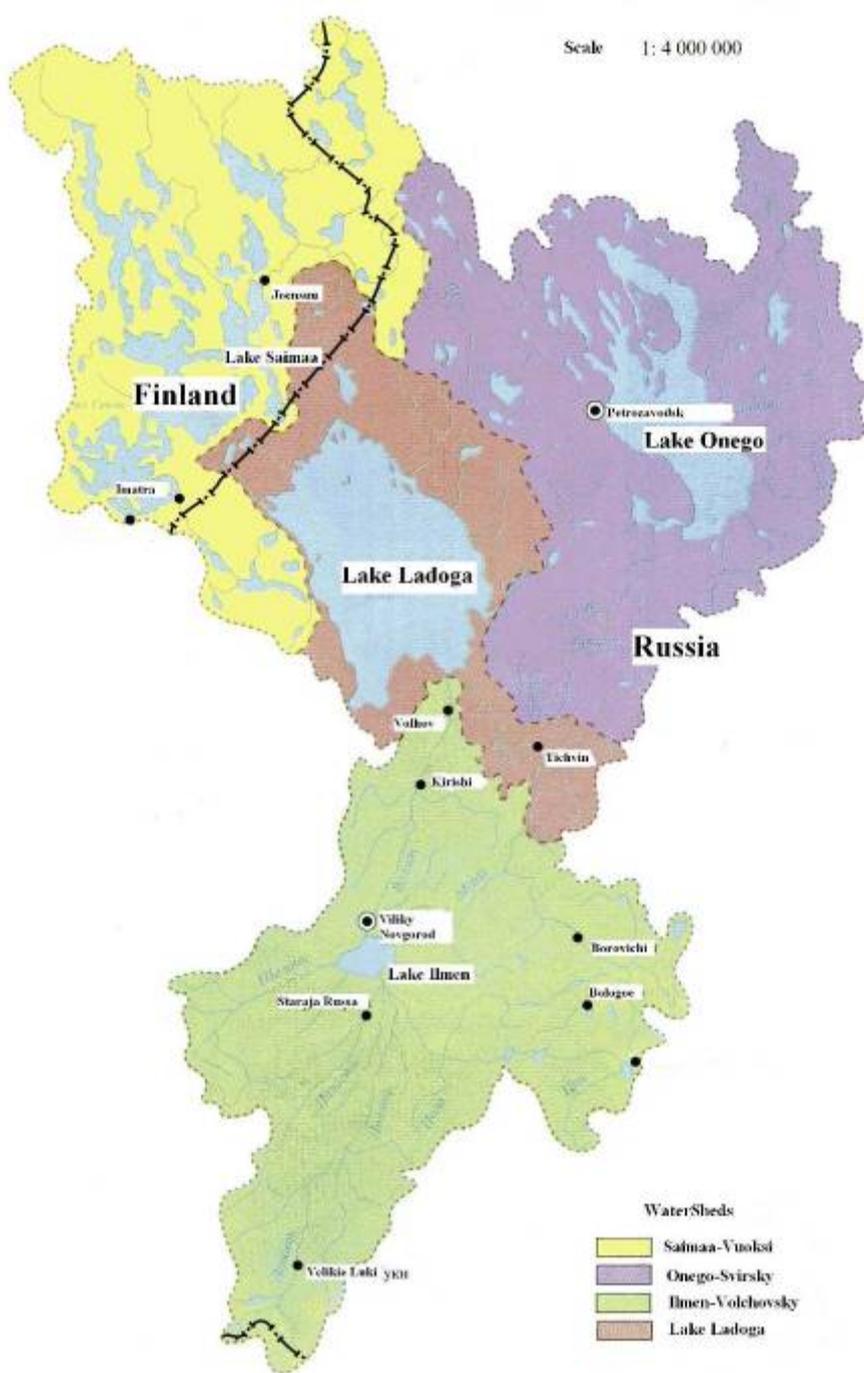
ПРОБЛЕМЫ КРУПНЫХ ОЗЕР

- Оценка биогенной нагрузки и эвтрофирование озер.
- Влияние загрязнений промышленных и с/х предприятий на экосистемы озер.
- Распространение и трансформации сточных и загрязненных вод.
- Оценка состояния озер при разном комплексе условий (изменения климата, антропогенные воздействия).
- Оценка ассимиляционного потенциала озер и решение задач сохранения и рационального использования ресурсов озер.
- Пути использования водных ресурсов озер (водоёмкие технологии, перераспределение, продажа..).
- Выбор мест для водозаборов и водосбросов.
- Озеро как модель океана.

Крупнейшие озера Европы.

Ладога, Онега – важные объекты с точки зрения рекреации, рыболовства, транспорта, и самое важное, эти озера - безальтернативные источники питьевого и промышленного водоснабжения.





Водосбор Великих озер Европы 258000 км²

РОЛЬ ВЕЛИКИХ ОЗЕР

Воды этих озер – безальтернативные источники питьевого водоснабжения Санкт-Петербурга и многих городов Карелии.

Озера – важные транспортные артерии, связывающие Каспийское, Белое и Балтийские моря.

Озера – замечательные объекты рекреации, энергетики.

Источники водных и биоресурсов.

Качество вод этих озер влияет на состояние Финского залива Балтийского моря.

ЛАДОЖСКОЕ ОЗЕРО



Основные размеры озера:

- 1) площадь поверхности 18000 кв.км
- 2) объем водного тела 908 куб.км
- 3) средняя глубина 51 м
- 4) максимальная глубина 230 м
- 5) Площадь водосбора 260 000 кв.км

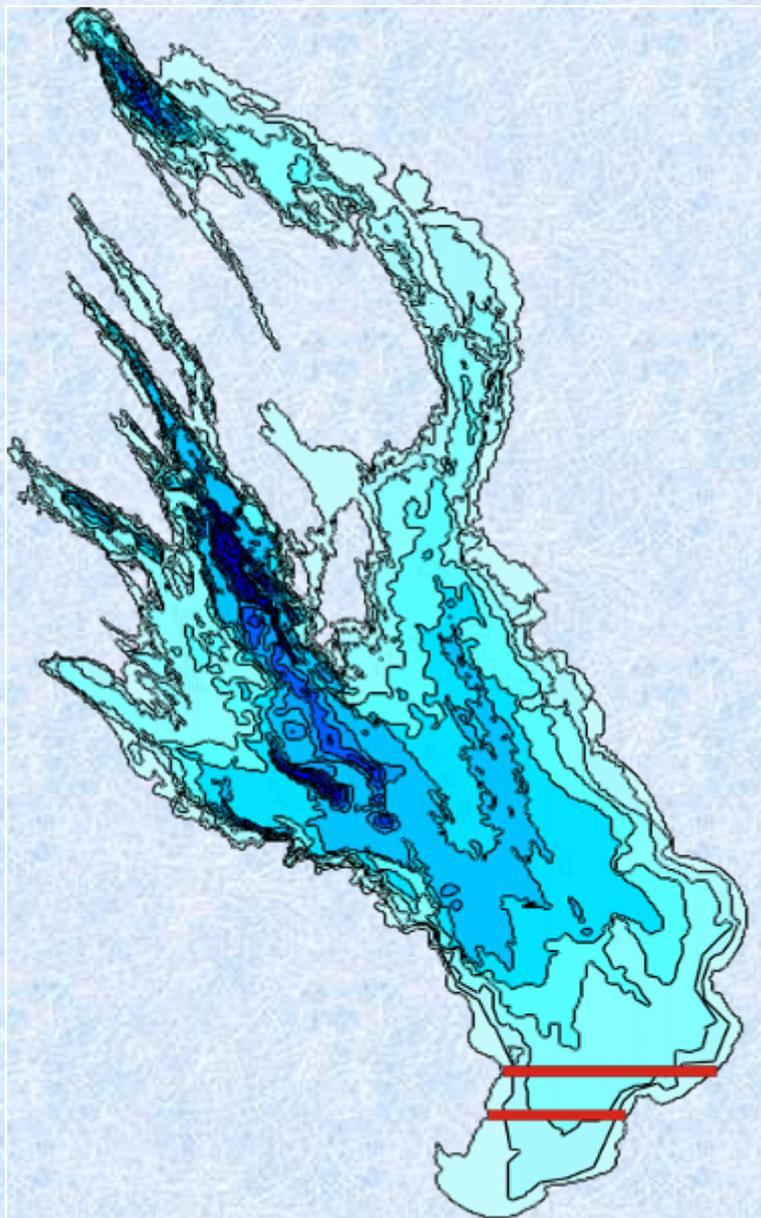
Водосбор Ладожского озера включает Онежское озеро, озера Ильмень, Сайма и др.

Ладожское озеро расположено между $59^{\circ}54'$ с.ш. и $61^{\circ}47'$ с.ш.

Оно является самым северным среди великих озер мира



ОНЕЖСКОЕ ОЗЕРО



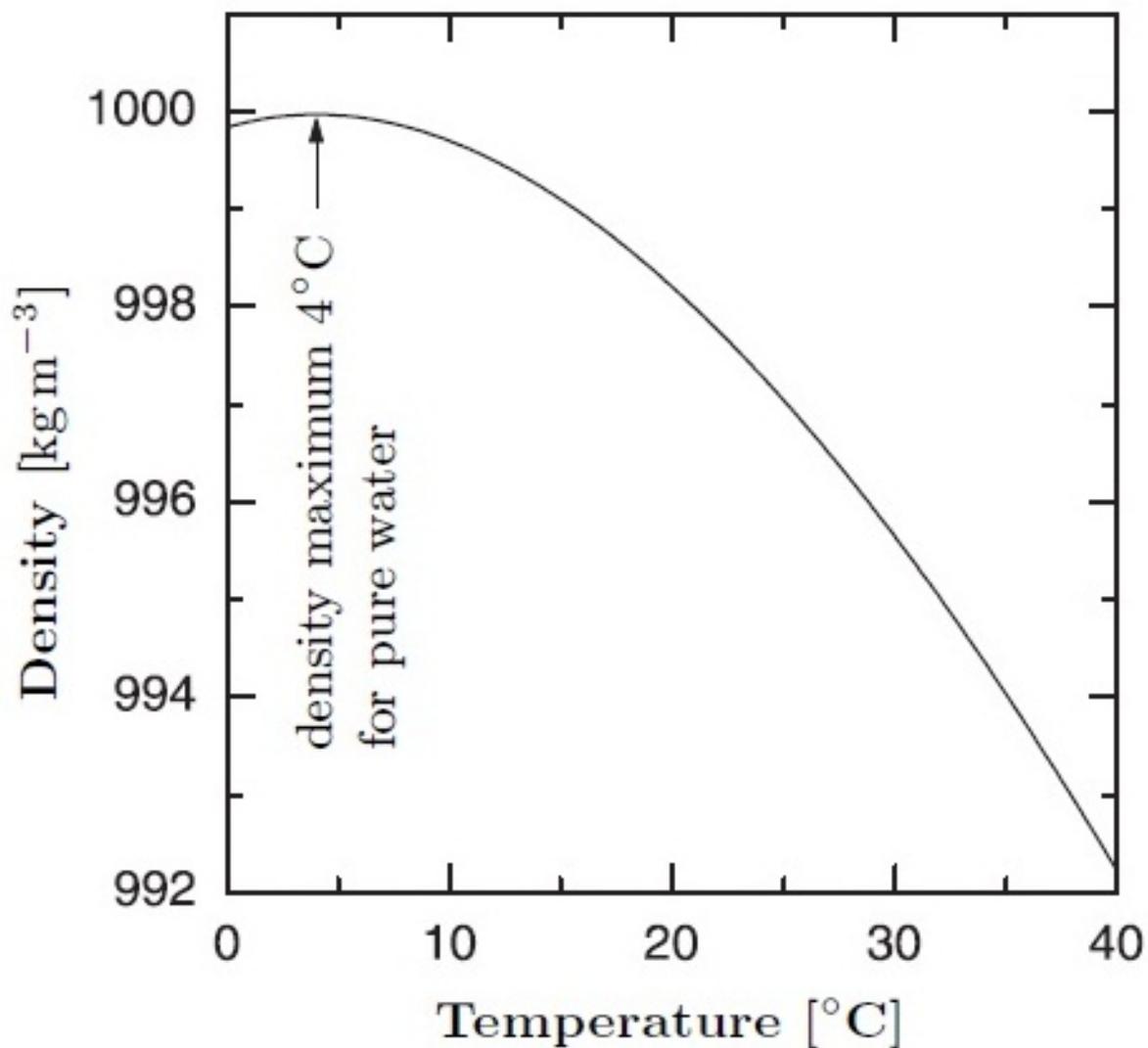
ОСНОВНЫЕ РАЗМЕРЫ:

- 1) Площадь 9890 km²
 - 2) Объем 280 km³
 - 3) ср. глубина 30 м
 - 4) Максимальная глубина 120 м
- Площадь водосбора 56 3400 km³.

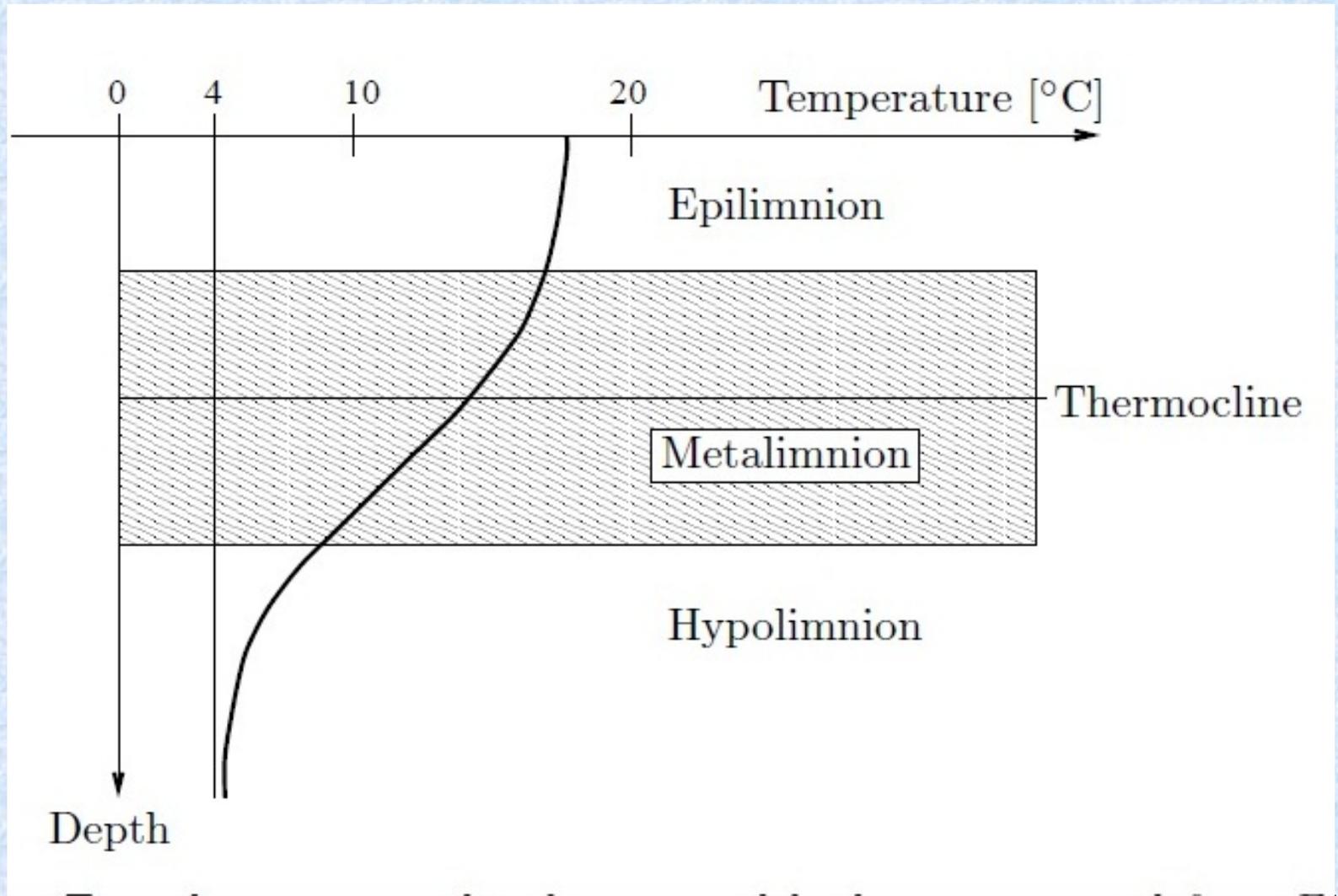
*Черняева (1973) и
Науменко (2000).*

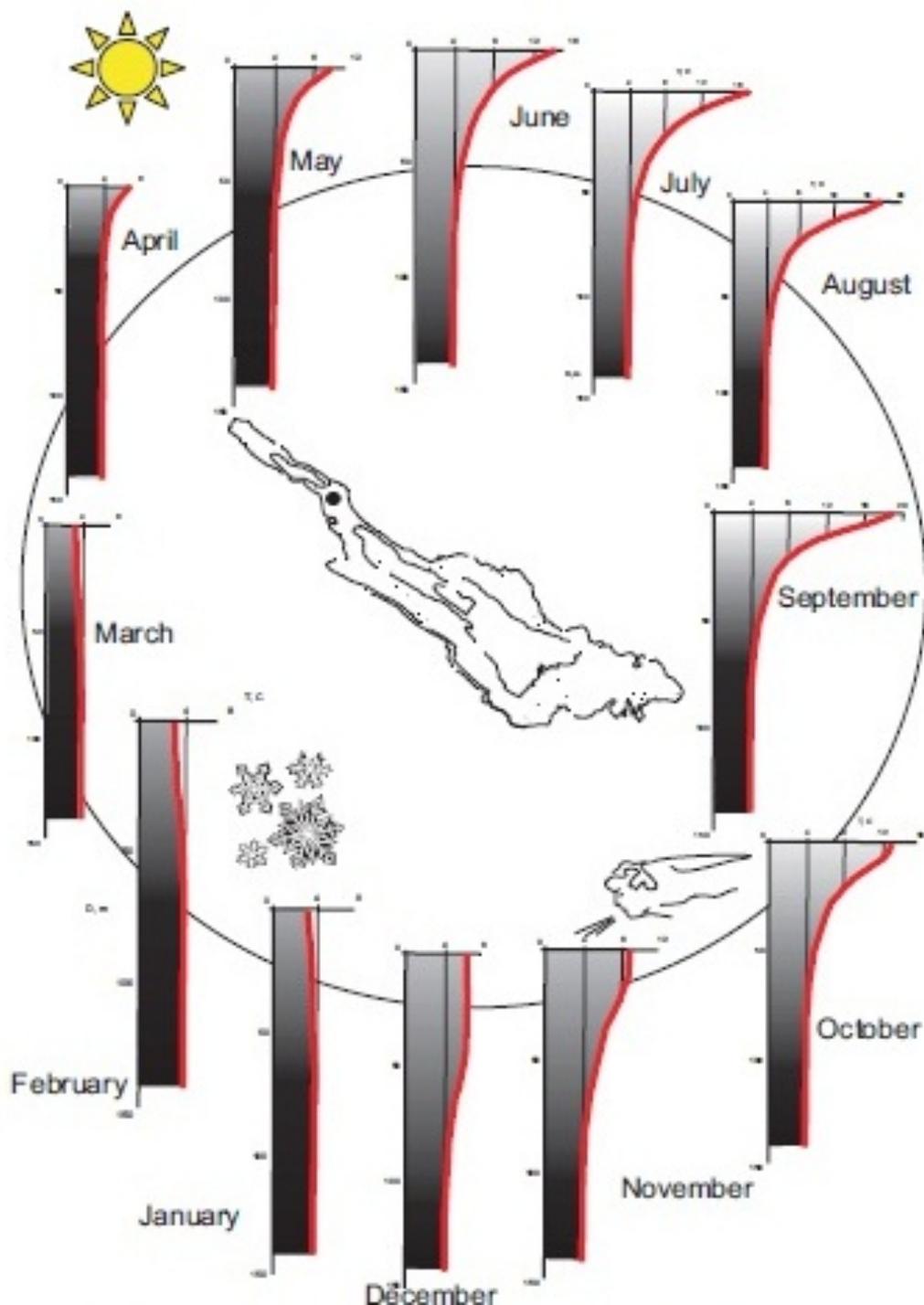


Зависимость плотности пресных вод от температуры



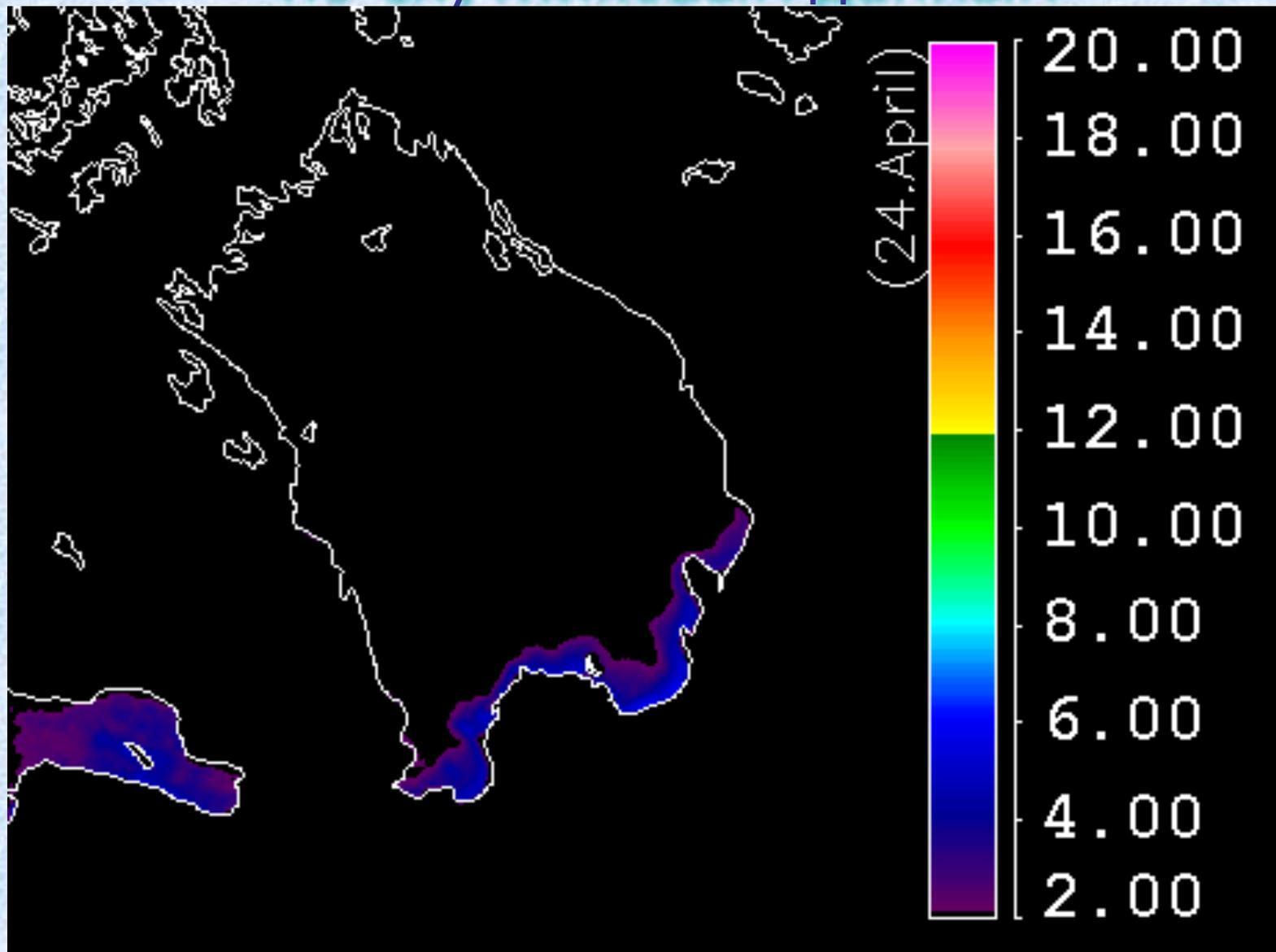
Типичные слои в озерах





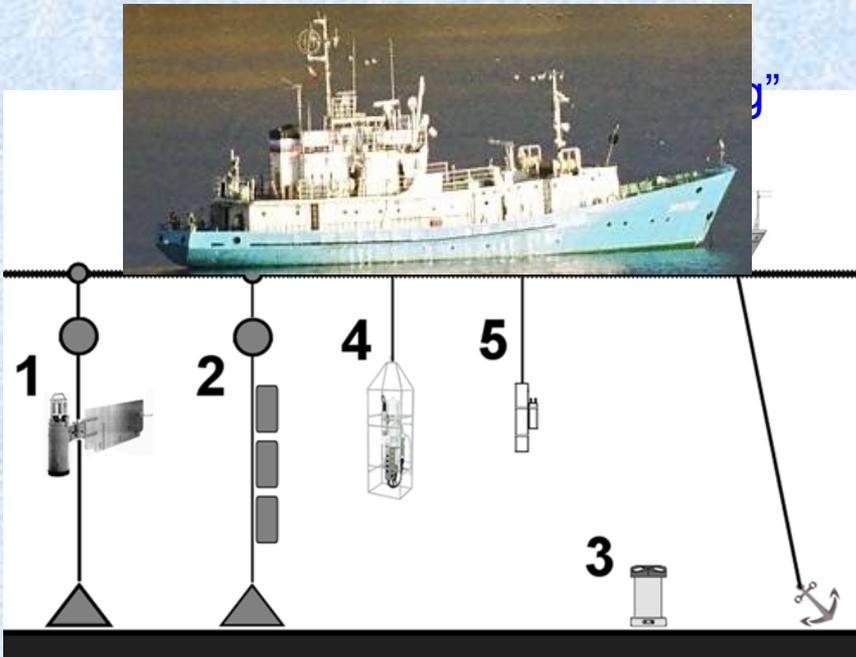
Сезонные изменения температуры воды в димиктических озерах

Сезонная динамика температуры воды по спутниковым данным

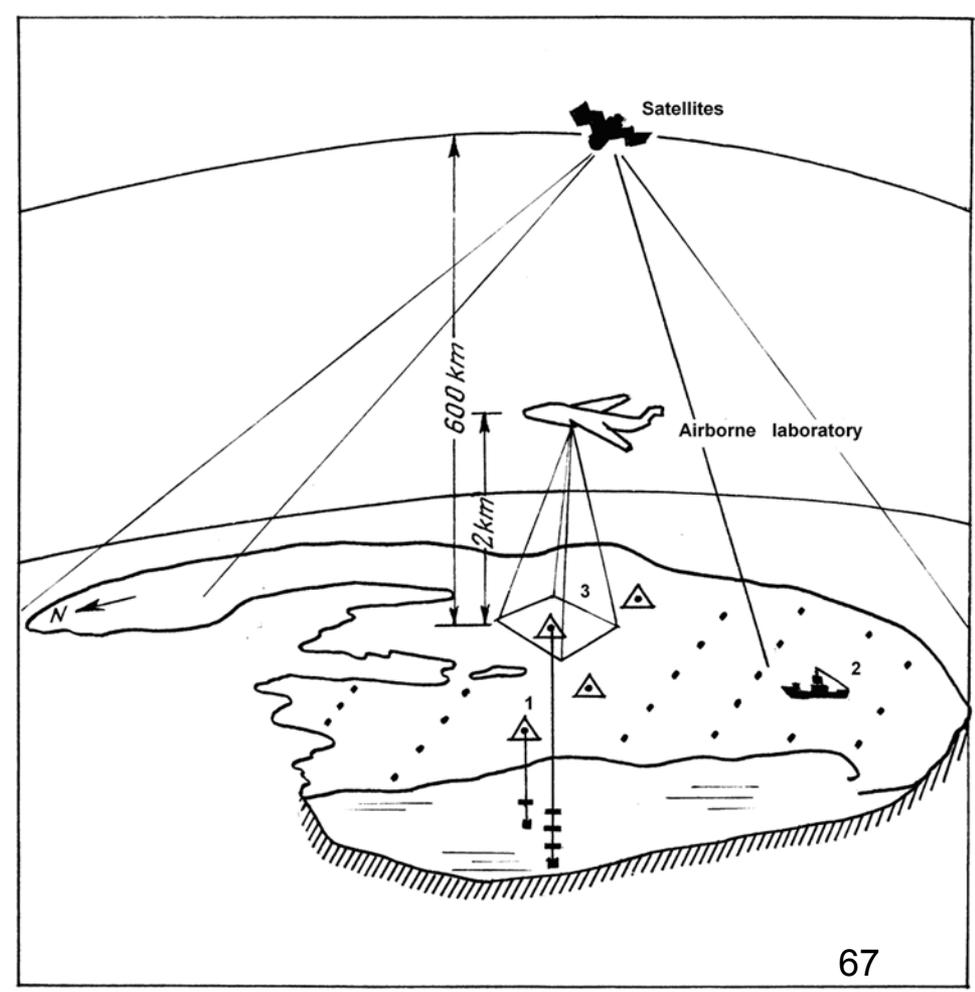


ТПВ, С

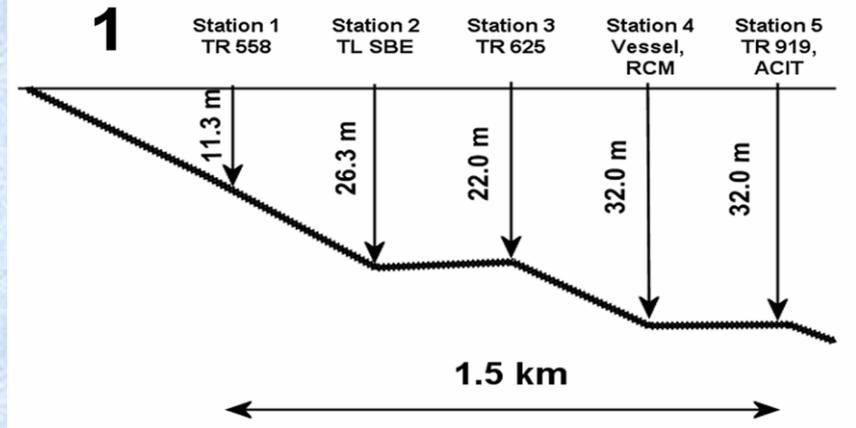
ИНФОРМАЦИОННУЮ ОСНОВУ СОСТАВИЛИ КОМПЛЕКСНЫЕ ЭКСПЕРИМЕНТЫ



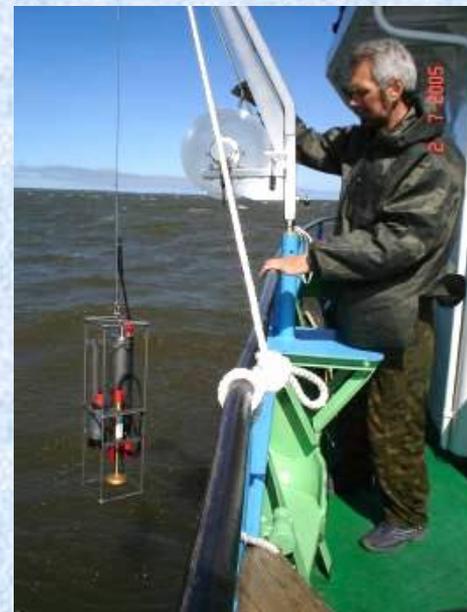
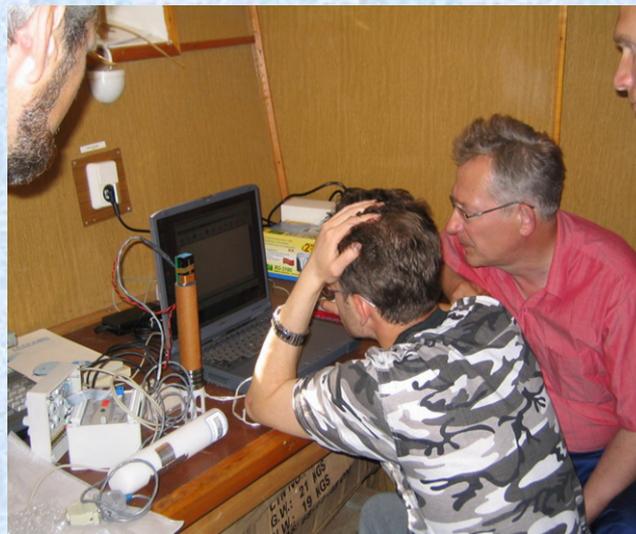
Multi layer experiment "Onego"



Разрез для изучения внутренних волн



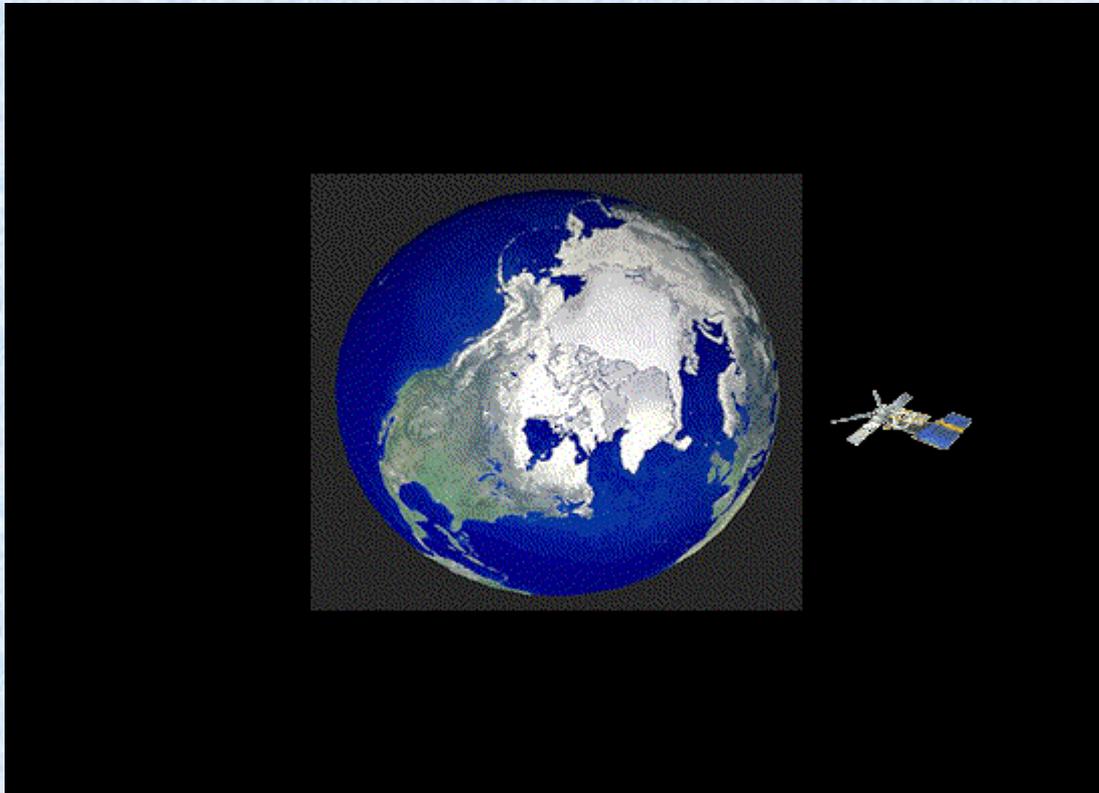
НА БОРТУ НИС «ЭКОЛОГ»



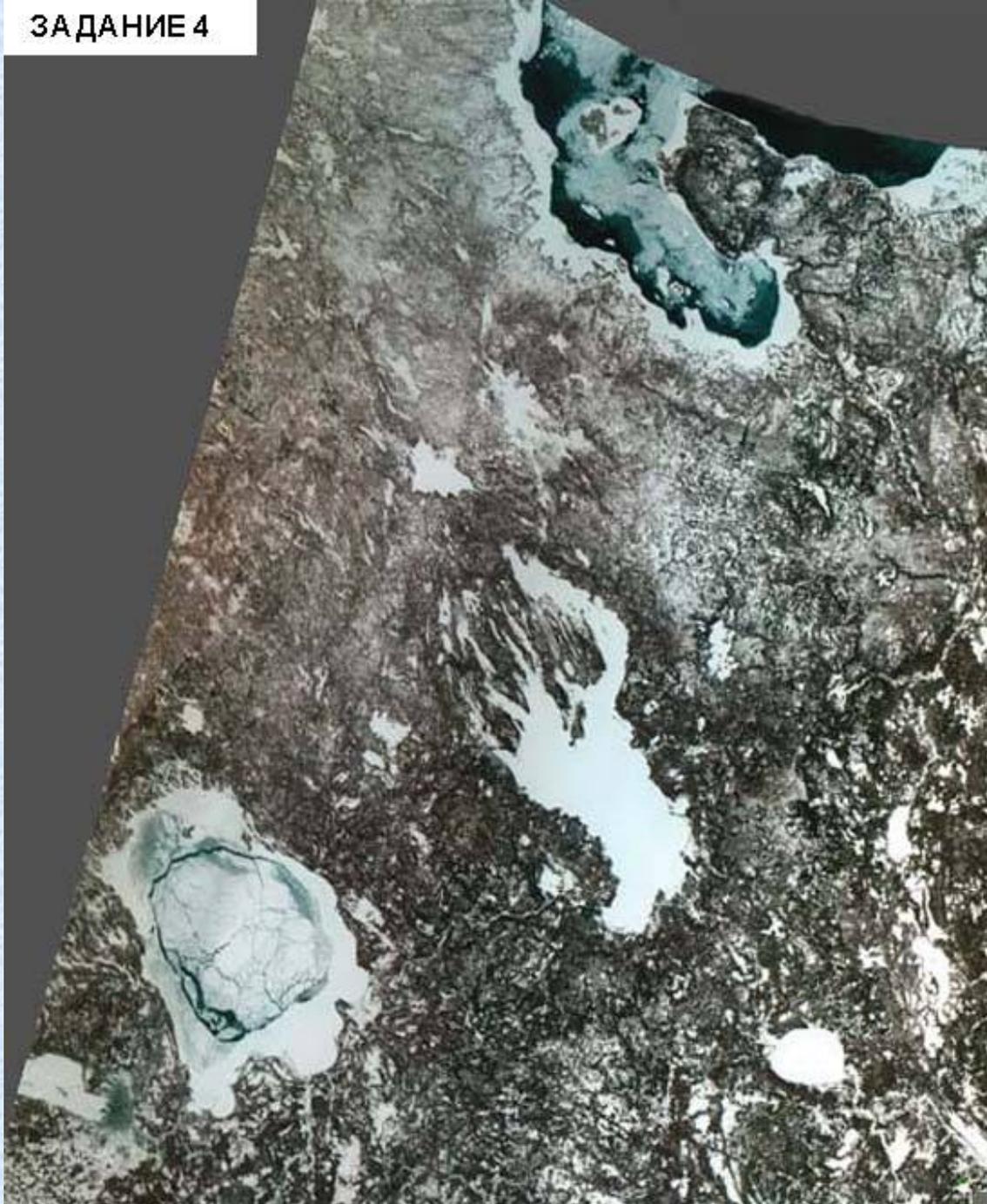
Вот так измеряют лед



ВНЕДРЕНИЕ СОВРЕМЕННЫХ АЭРОКОСМИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ОЗЕР



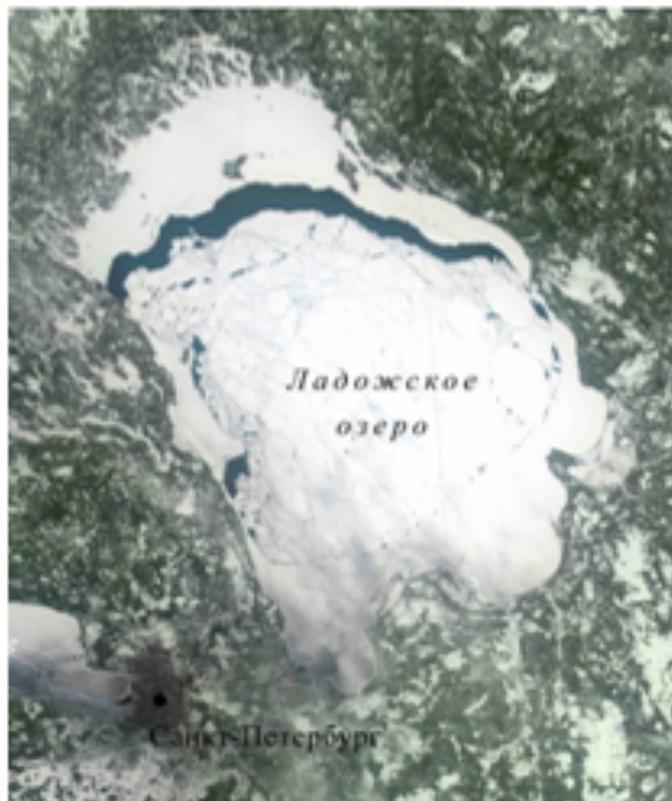
проведены комплексные подспутниковые наблюдения, широкий комплекс спутниковых измерений с разных космических аппаратов, применены математические модели,



Онежское и
Ладожское озера-
крупнейшие озера
Европы.
Имеют
стратегические
запасы пресной
воды.
Безальтернативные
источники питьевого
водоснабжения.

Ладога: а)холодный б) теплый год

А



Meteor-M 21.03.2012

Б



NOAA, 25.03.2007

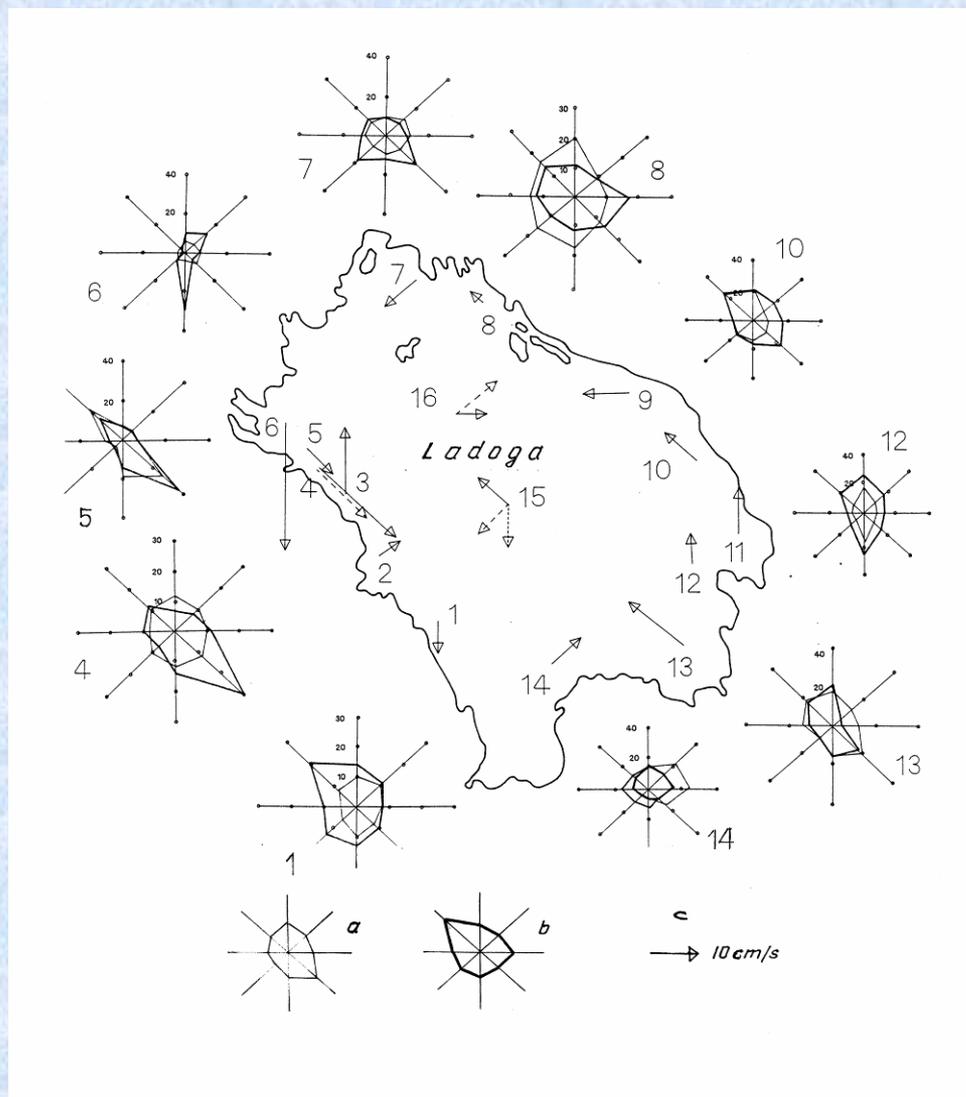
8

ОНЕГО: А)ХОЛОДНЫЙ Б) ТЕПЛЫЙ ГОД

THE *TERRA* SATELLITE IMAGES



Осредненные за длительный период 1969-1974 данные о течениях Ладожского озера (Филатов, 1991).



ТЕЧЕНИЯ В ОНЕГО В ВЕСЕННЕ-ЛЕТНИЙ ПЕРИОД

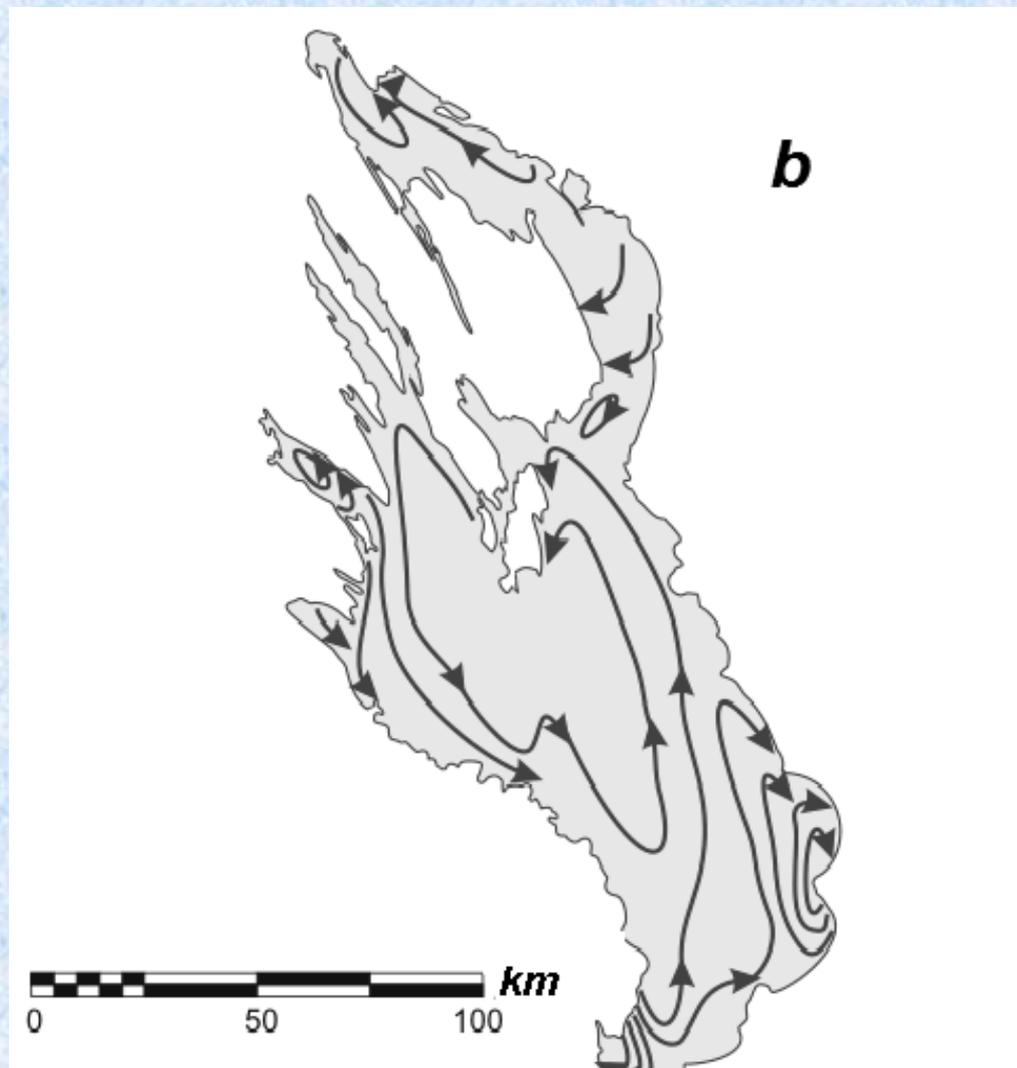
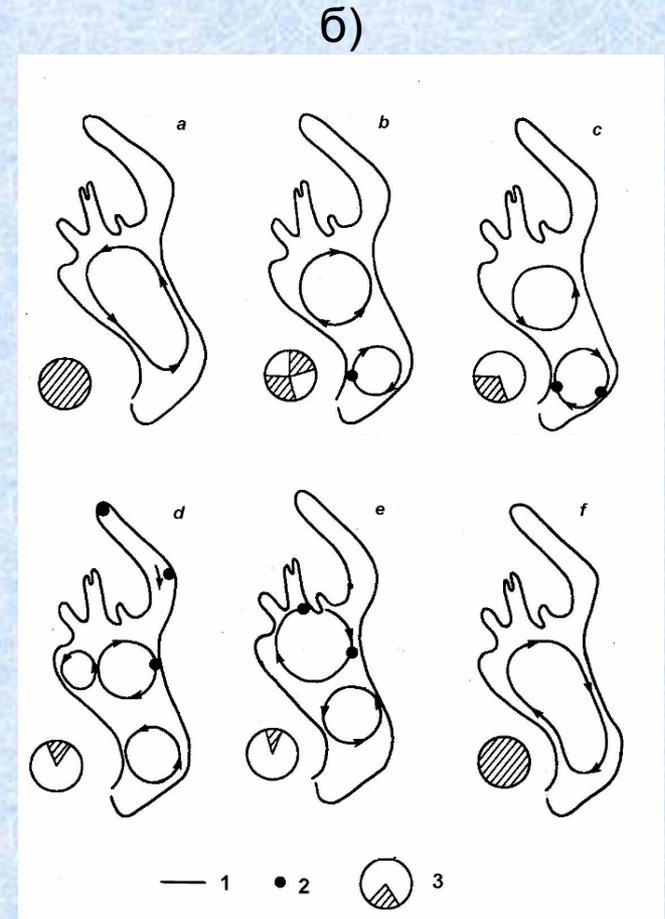
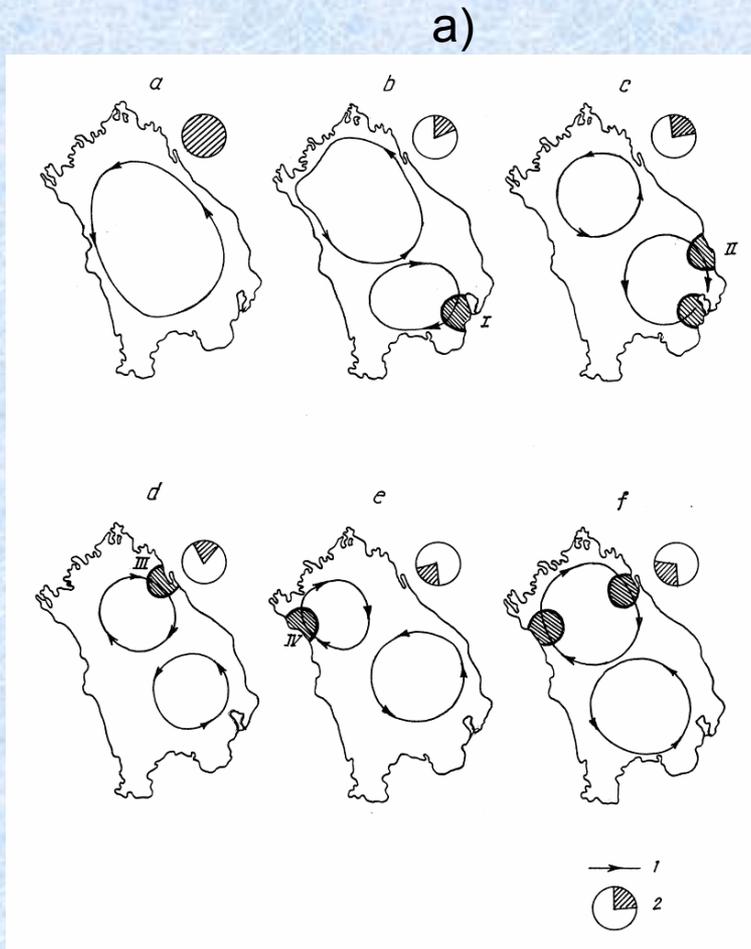


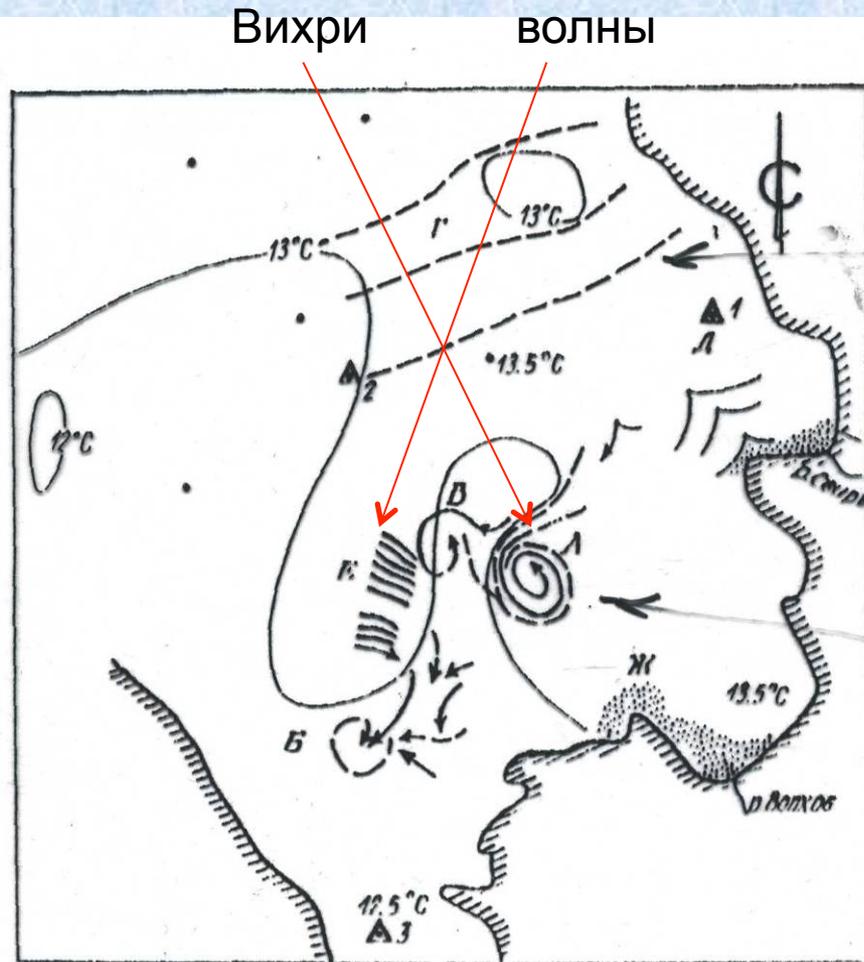
СХЕМА ИНТЕГРАЛЬНОЙ ЦИРКУЛЯЦИИ ВОД ДЛЯ РАЗЛИЧНЫХ СЕЗОНОВ ГОДА. 1- направление циркуляции вод, 2- направление скорости ветра по данным гидрометеостанций.



Проявление вихрей и волн в Ладожском озера

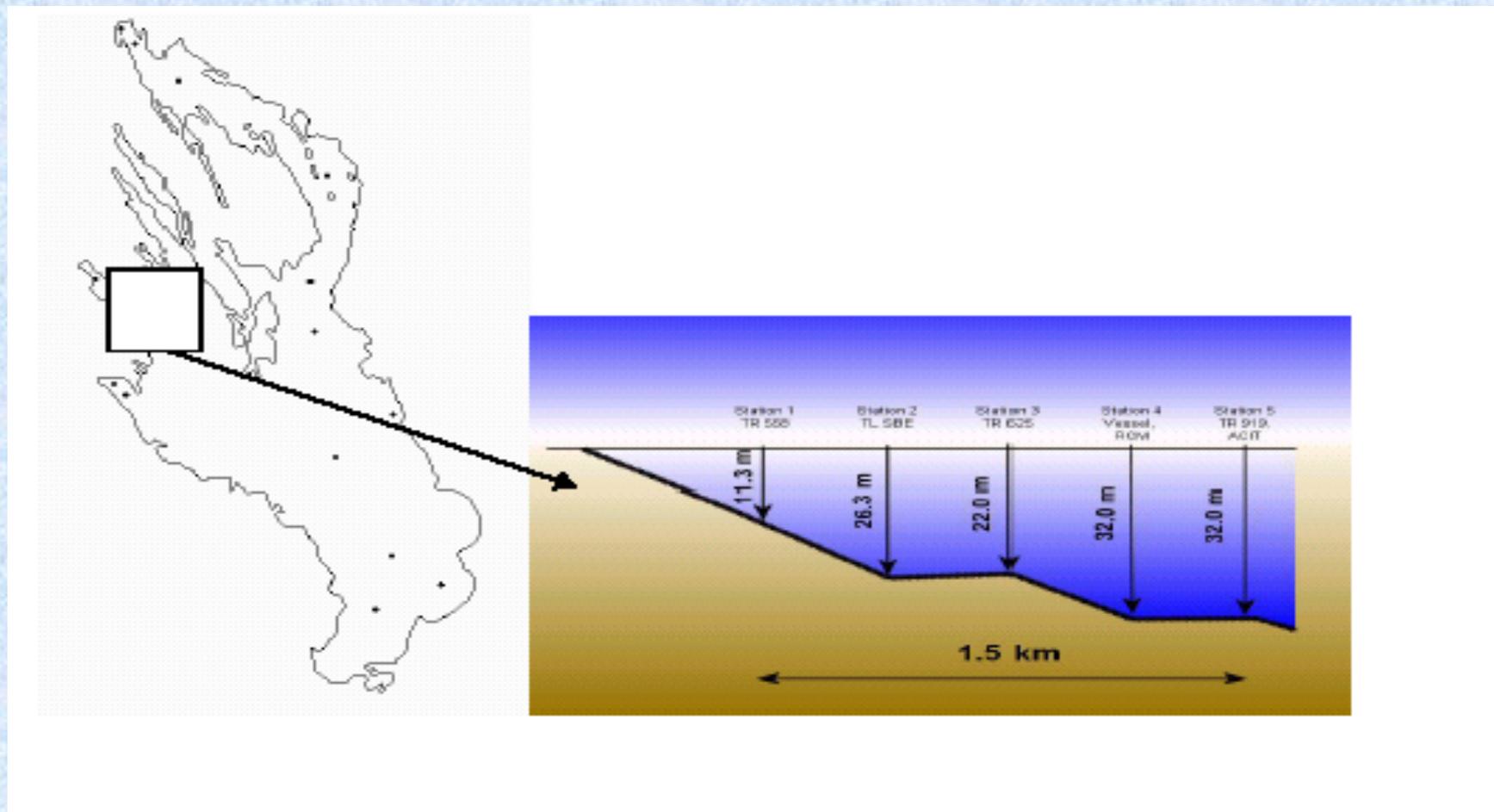


Спутниковый снимок



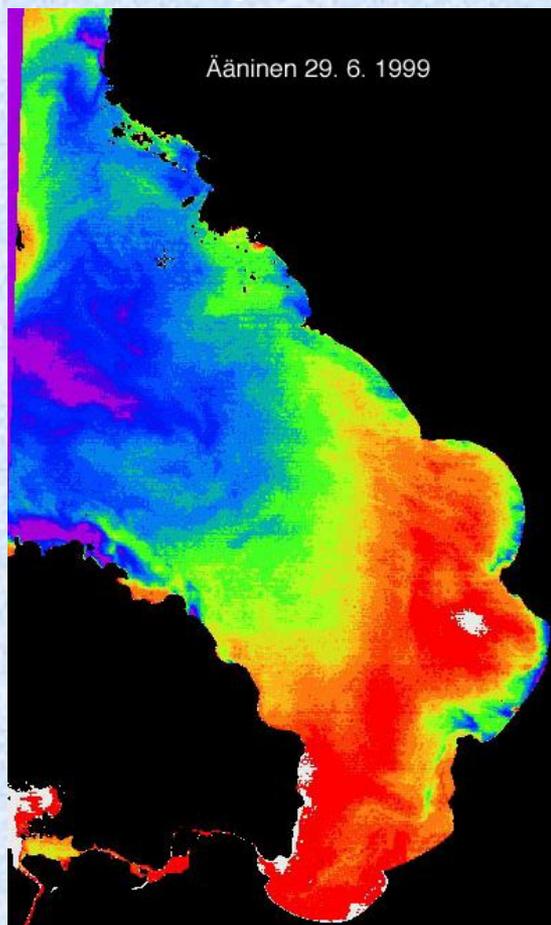
дешифрованный снимок

Эксперименты по исследованию генерации и разрушения внутренних Волн в Онего 2004-2007.



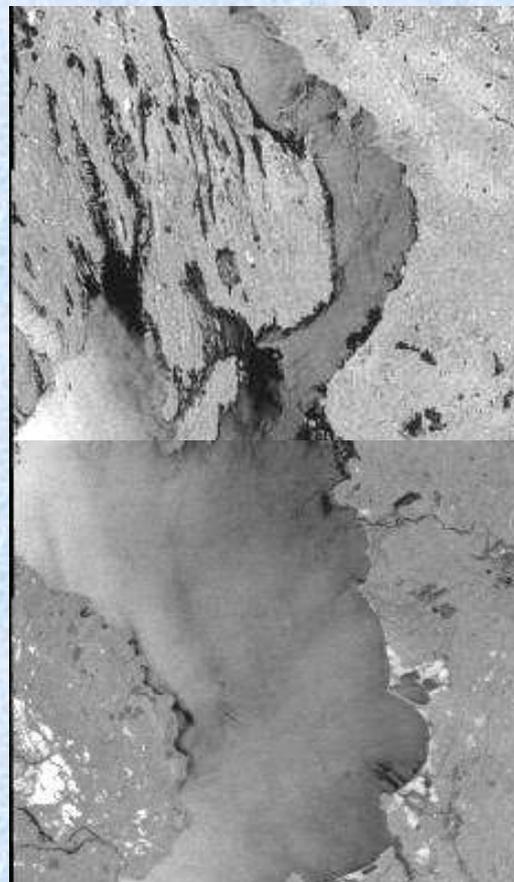
ИЗМЕНЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ПВ И ПРОЯВЛЕНИЯ ВВ AVHRR (a) and SAR (b) снимки Онего.

a

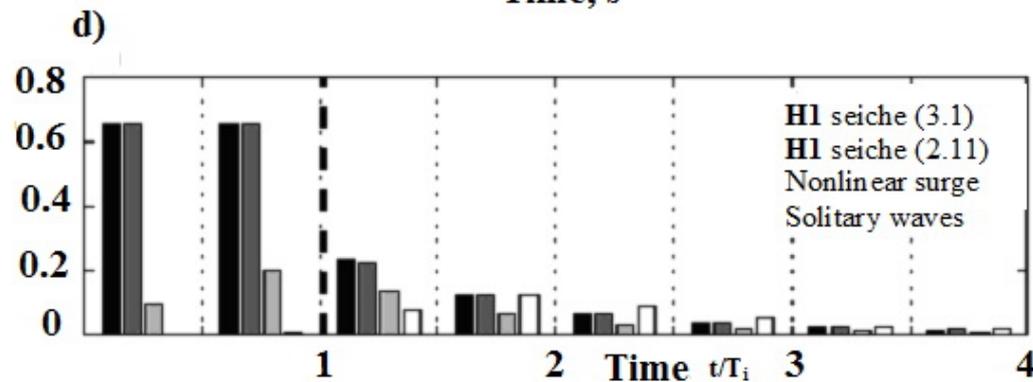
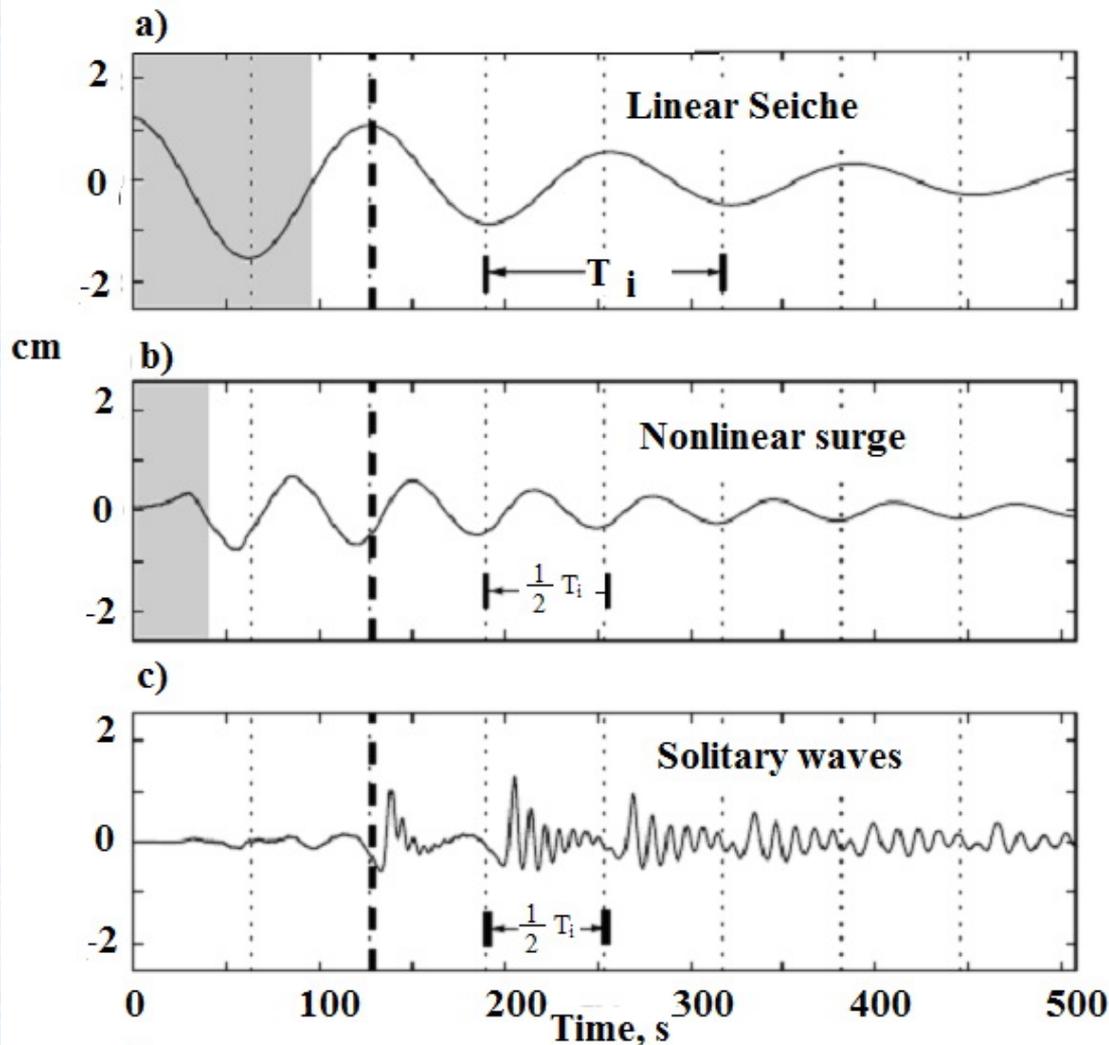


a

b

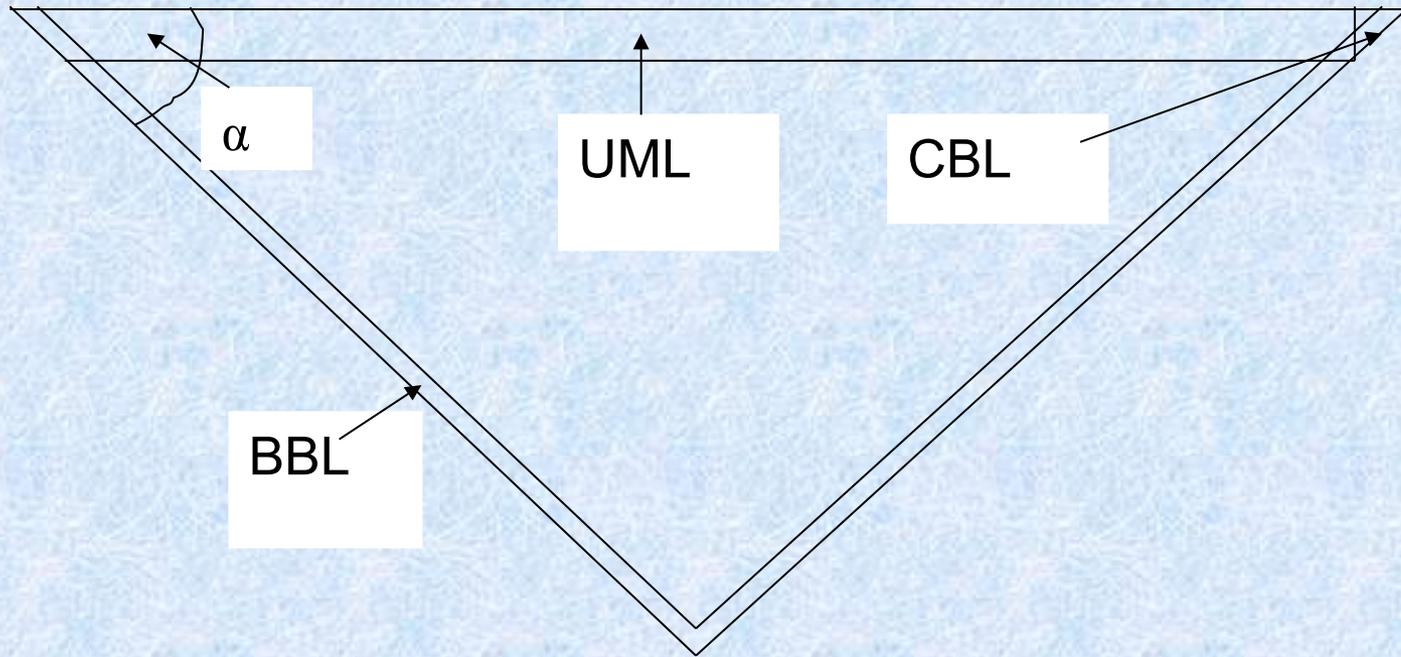


b



Поля ВВ складываются из линейных сейш, нелинейных нагонов и солитонов (Horn, 2006).
Высокочастотные волны генерируются крупномасштабными движениями взаимодействующими с батиметрией Thorpe et al. (1996) (Horn, 1996).

ПОГРАНИЧНЫЕ СЛОИ В КРУПНЫХ ОЗЕРАХ



UML (толщина) ~ 10 m; CBL (ширина) ~ 10 km; BBL (толщина) ~ 1 m; $\text{tg}\alpha \sim 0.001$

При характерных горизонтальных и вертикальных масштабах озера более 50 км и 50 м, соответственно, становится очевидно, что ГД-моделирование озера сводится к описанию погранслоев

Для изучения экосистем Великих озер Европы наибольшее распространение получили модели, формулируемые в виде краевых задач для систем дифференциальных уравнений переноса как консервативных, так и неконсервативных примесей в водной среде. Эти уравнения включают нелинейные операторы, описывающие трансформацию живого и мертвого органического вещества (фитопланктона, зоопланктона, бактериопланктона, бентоса, детрита), и растворенных в воде биогенов (углерода, азота, фосфора и кремния).

В зависимости от задач иногда включаются рыбы, макрофиты, учитывается наличие растворенного в воде кислорода и его обмен с атмосферой через поверхность воды

ОСОБЕННОСТИ АНТРОПОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ВЕЛИКИЕ ОЗЕРА

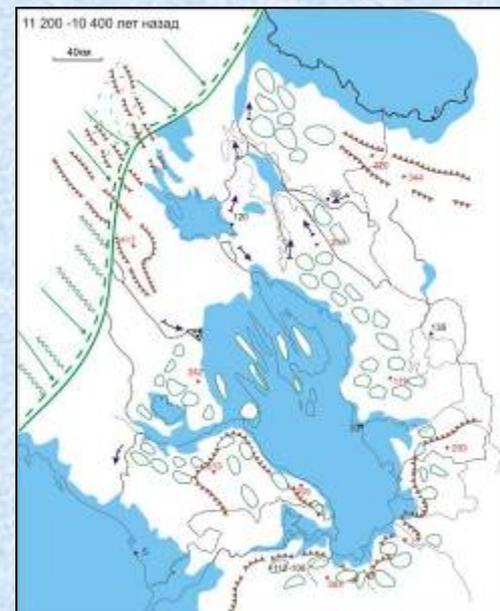
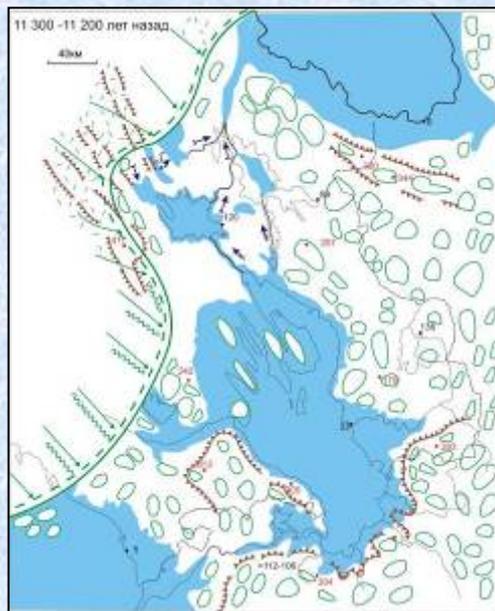
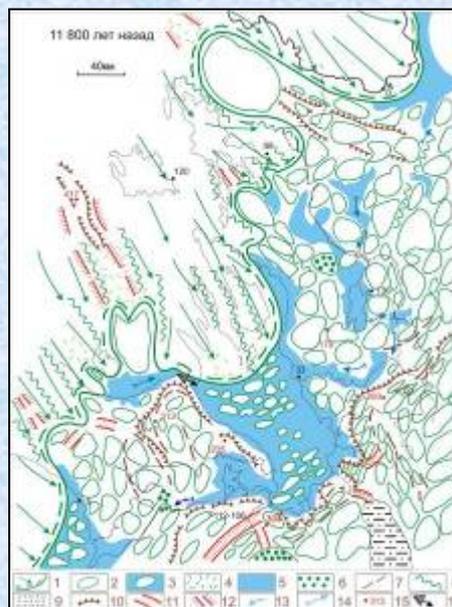
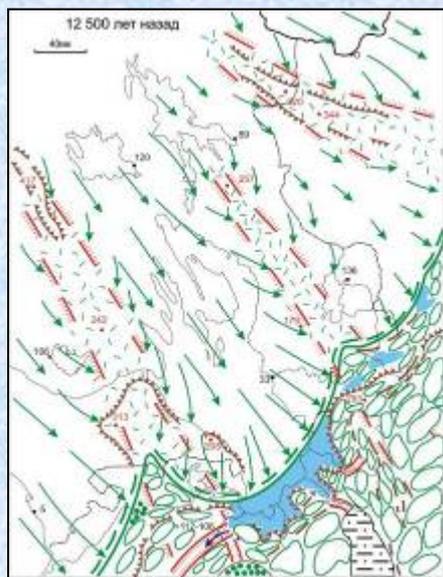
Антропогенное воздействие на большие стратифицированные озера имеет весьма длительное последствие, исчисляемое многими годами и даже столетиями, если иметь ввиду оз. Байкал. Это время практически кратно времени условного водообмена. Прекращение сброса загрязняющих веществ со временем приведет к снижению их концентрации в воде озера

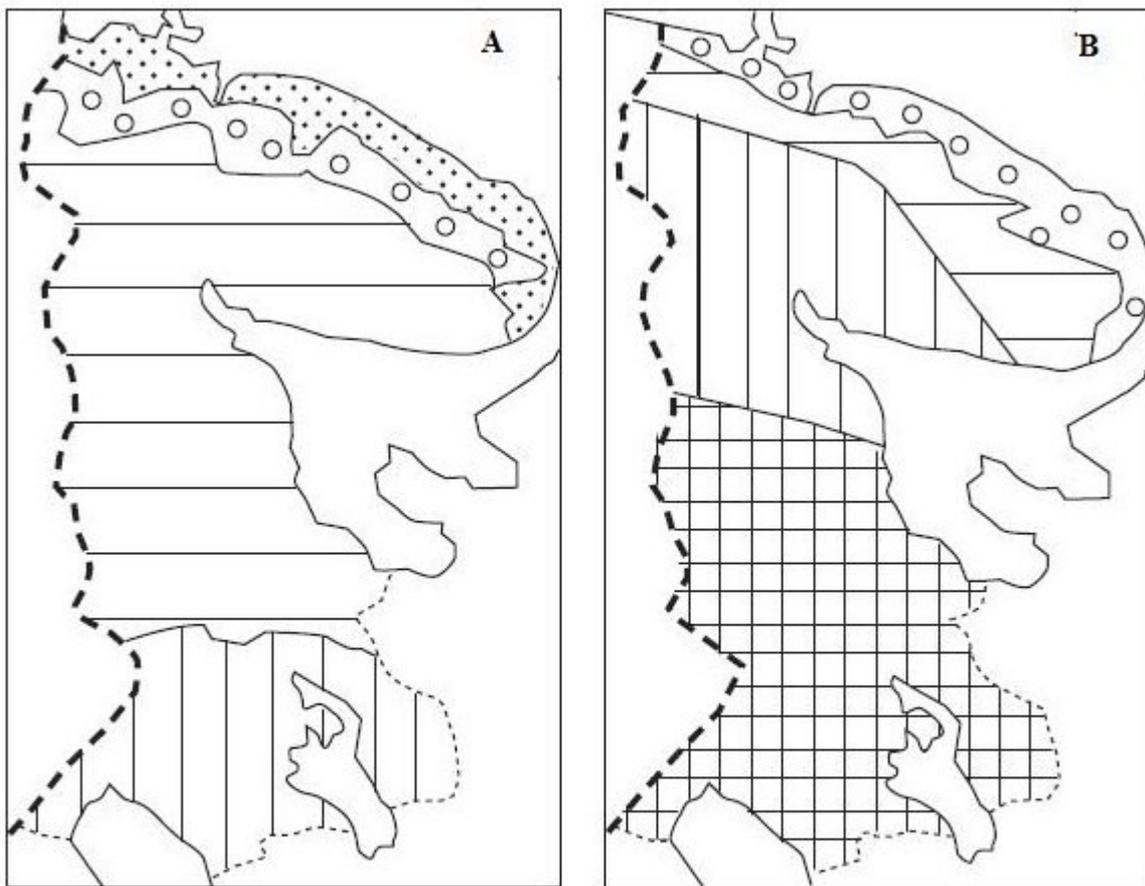
ПРОБЛЕМЫ ЭВТРОФИРОВАНИЯ ВЕЛИКИХ ОЗЕР

Биогены, прежде всего, фосфор, порождают процессы трансформации экосистем озер, остановить которые даже полным прекращением сброса не удастся. Ни одно из больших стратифицированных озер, на которые биогенная нагрузка была существенно снижена не вернулось в исходное природное состояние.

Борьба с антропогенным эвтрофированием озер имеет , глобальный характер. Имеется угроза качеству ограниченного запаса пресных вод, стимулировала проведение широкого круга исследований в области лимнологии, математического моделирования, для сохранения, восстановления и эффективного использования природных ресурсов больших стратифицированных озер.

История развития Онежского озера за 12.5 тыс. лет





**Изменение географических ландшафтов:
А) современный, В) 6 000 лет назад (Елина, 1999)**



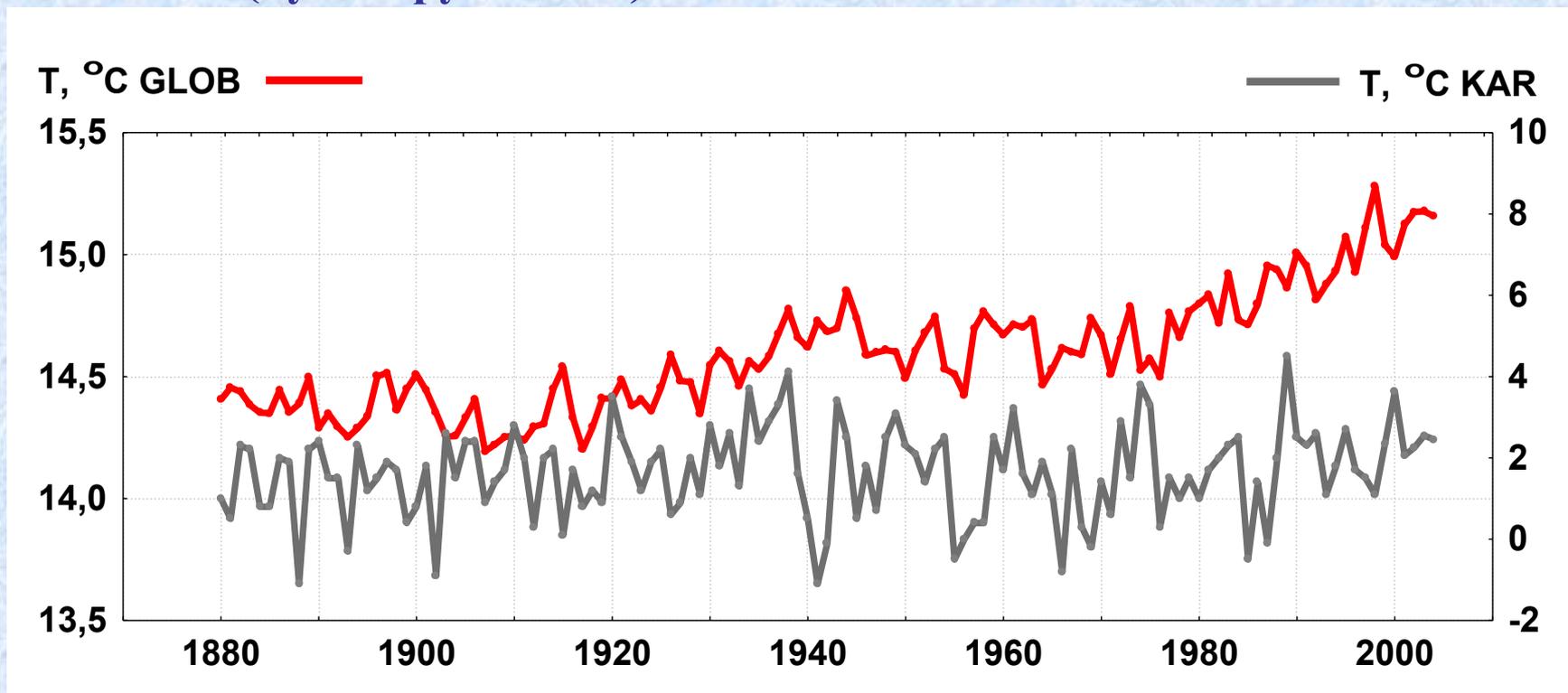
Тундра лесо-тундра

Т А Ю Г А
северная средняя южная

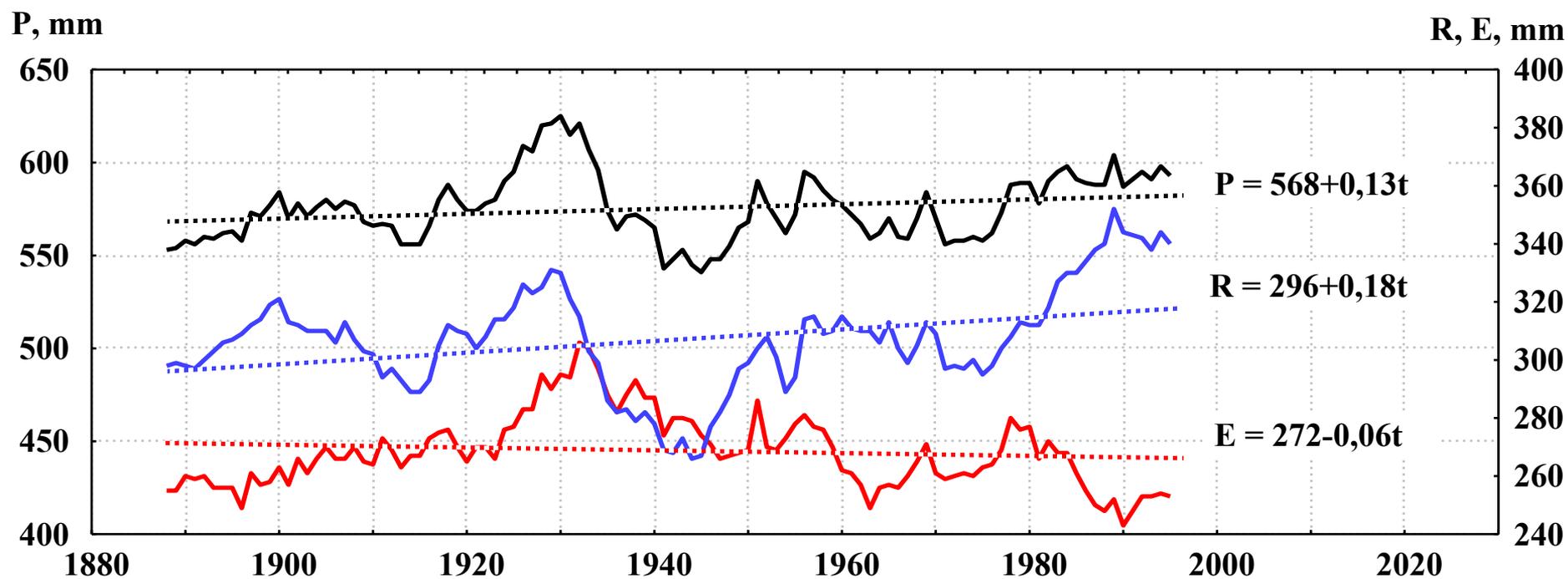
ИЗМЕНЕНИЯ И ИЗМЕНЧИВОСТЬ КЛИМАТА

Изменение глобальной и региональной температуры воздуха за период 1880-2010- гг. Отмечаются циклы 2, ок. 11, 30, 60 лет, которые определяются рядом причин и в том числе периодическими

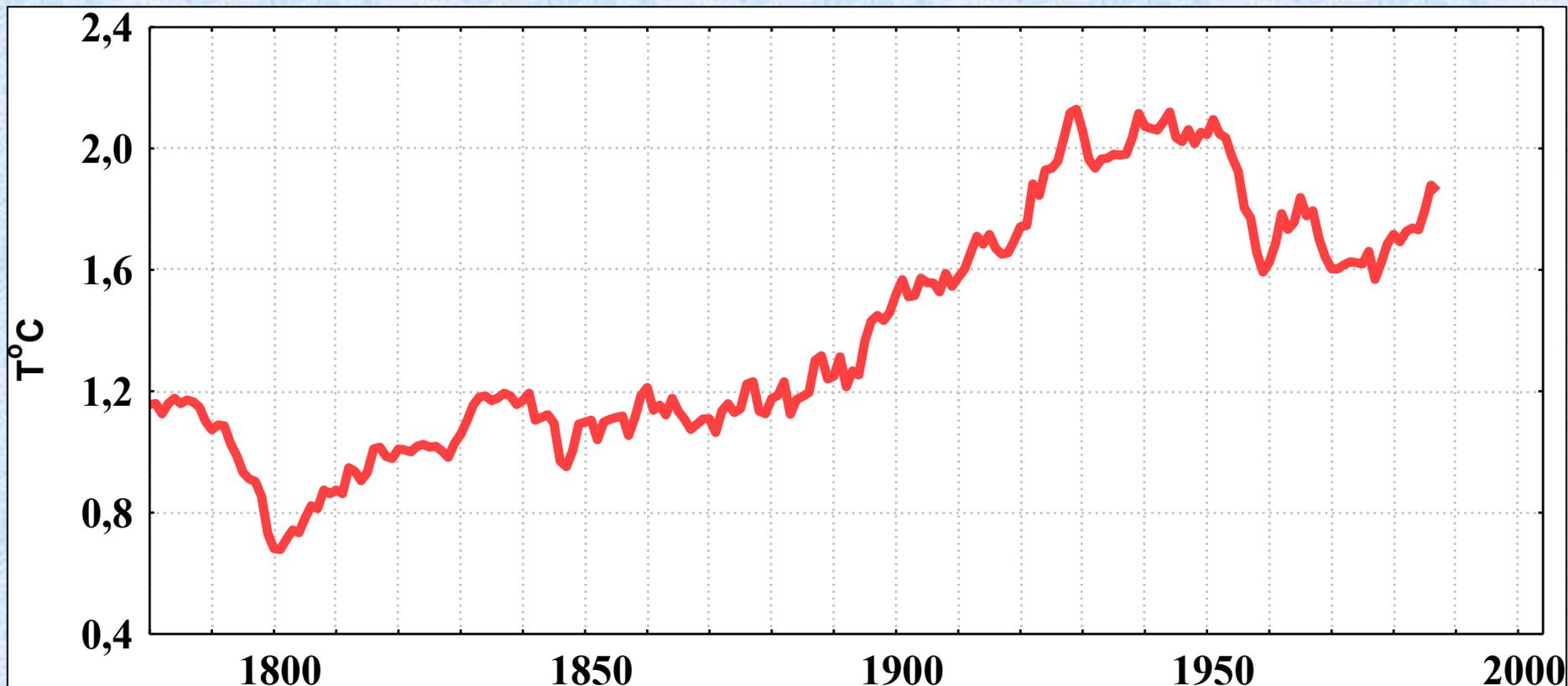
(пульсирующими) изменениями светимости Солнца



Многолетняя изменчивость элементов водного баланса С-З России (осадки (P), испарение (E) и сток рек (R) оценнены как по данным наблюдений на сети Росгидромета, так и моделирования



Динамика «нормы» температуры воздуха в Карелии
за 1752 -2010 гг.
(30-летние скользящие средние)

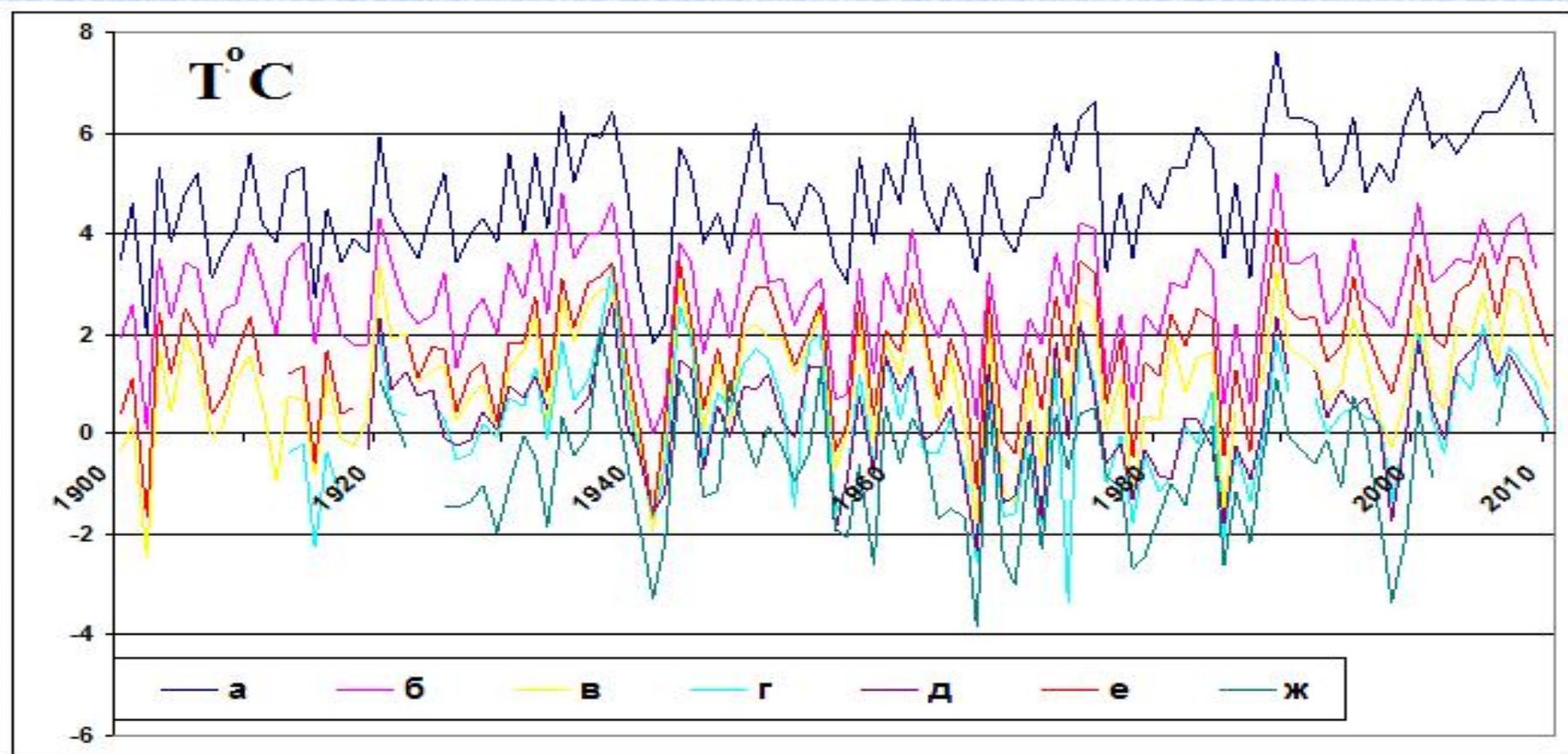


Наиболее чувствительные, регулярно измеряемые параметры озер, для изучения климатических изменений:

- Температура воды.
- Лед. Начало и окончание ледостава, безледоставный период.
- Уровень воды озер.
- Элементы водного баланса озер.
- Донные отложения.
- Температура воздуха, осадки, сток, испарение на водосборе озер.

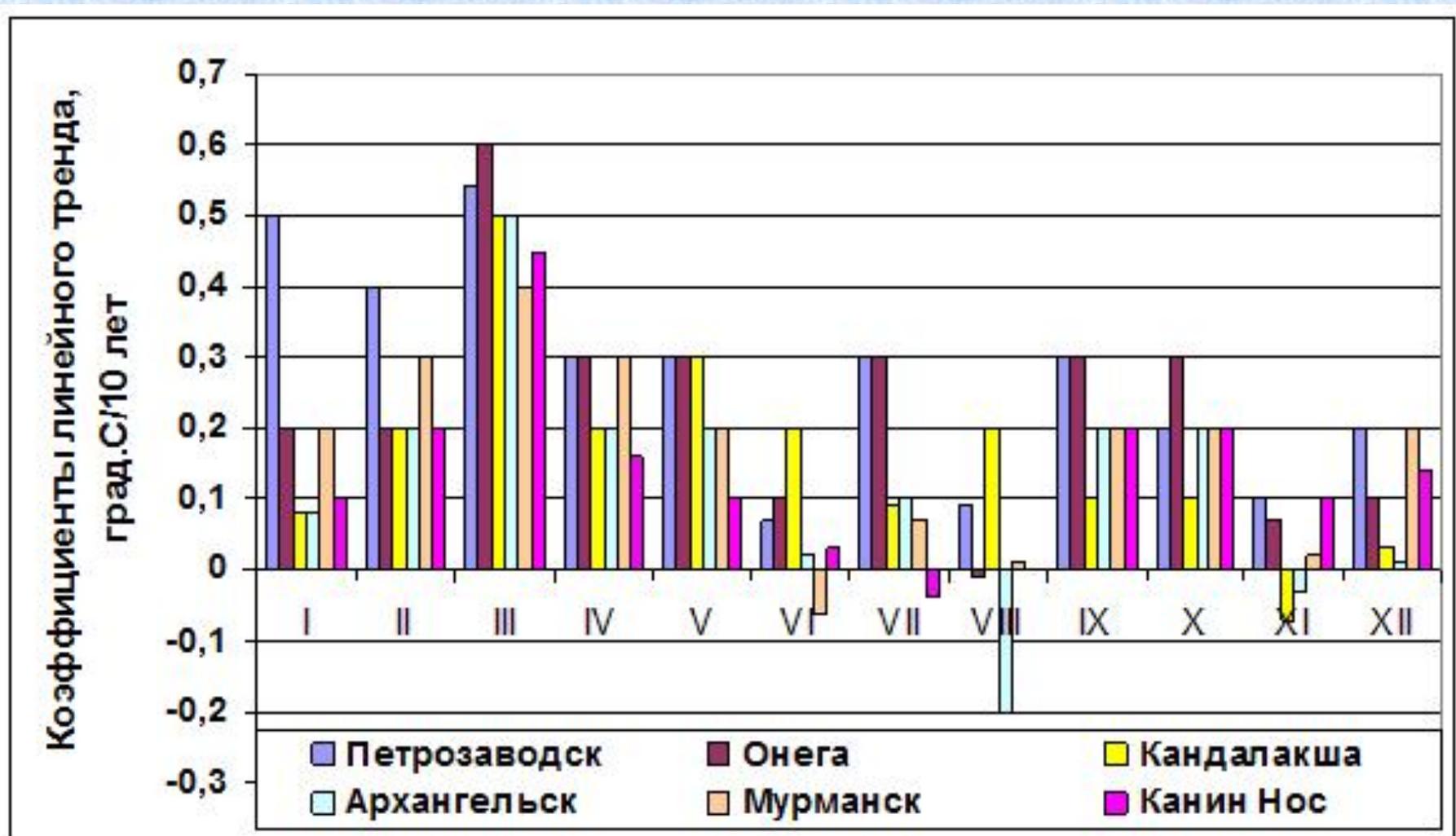
Среднегодовые значения температуры воздуха на станциях

ЕТР

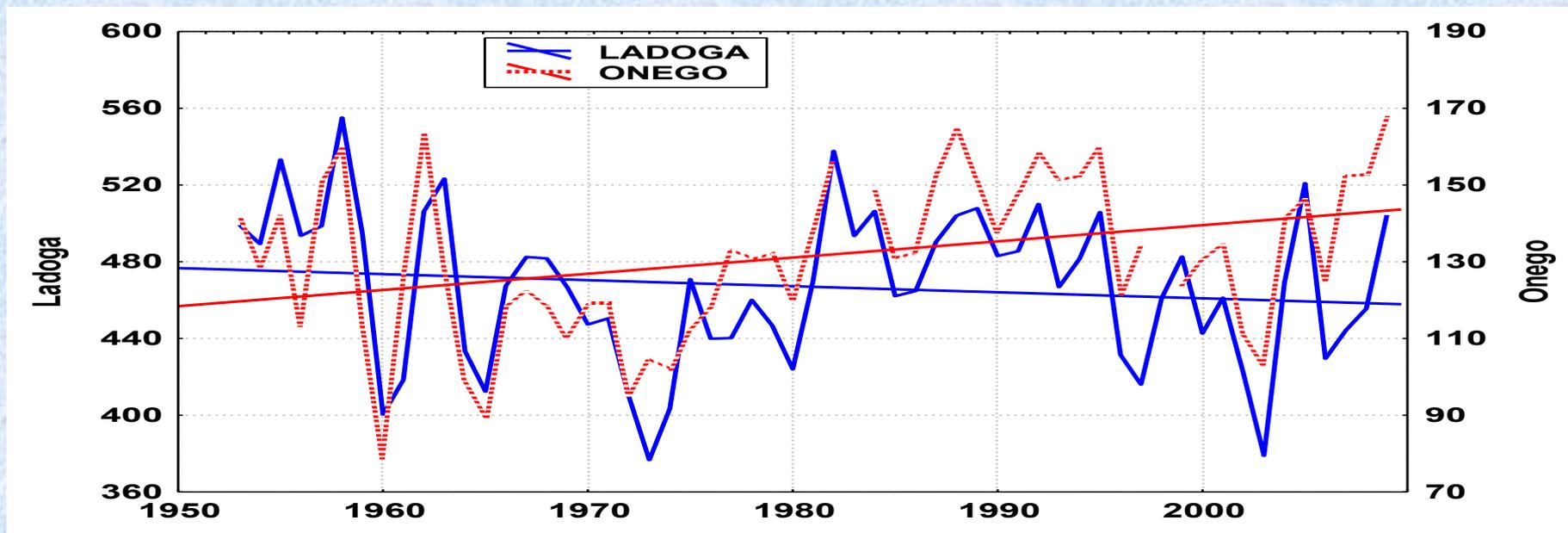


а – Санкт-Петербург; б – Петрозаводск; в – Архангельск; г – Кандалакша;
д – Мурманск; е – Онега; ж – Канин Нос за период наблюдений до 2010 г.
включительно. (данные с сайта www.meteo.ru)

КОЭФФИЦИЕНТЫ ЛИНЕЙНОГО ТРЕНДА (0С/10 ЛЕТ) СРЕДНЕЙ МЕСЯЧНОЙ ПТВ ПО СТАНЦИЯМ РЕГИОНА ЗА ПЕРИОД 1951-2010 ГГ.

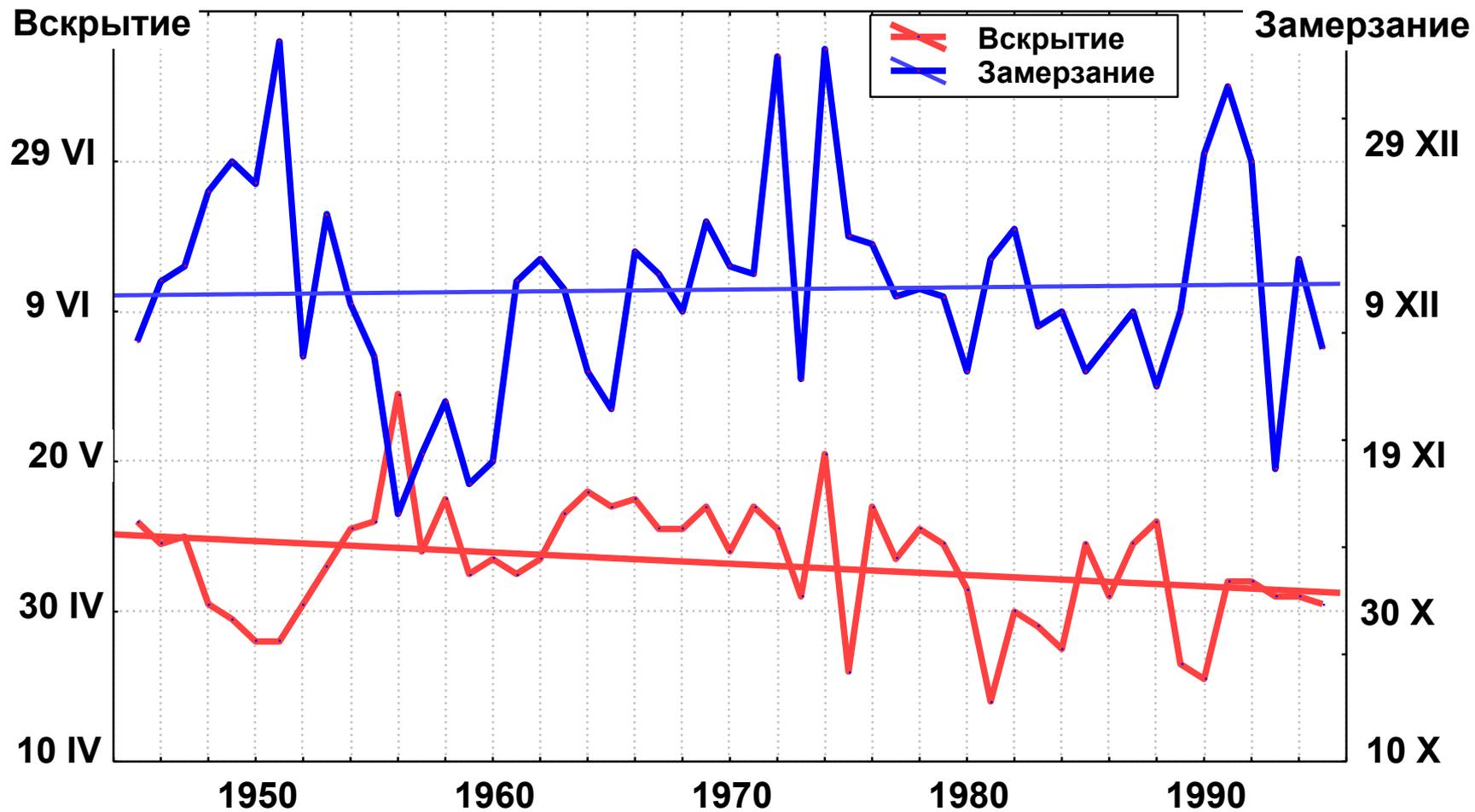


КОЛЕБАНИЯ УРОВНЯ ВОДЫ ЛАДОЖСКОГО И ОНЕЖСКОГО ОЗЕР ЗА 1950-2009 ГГ.

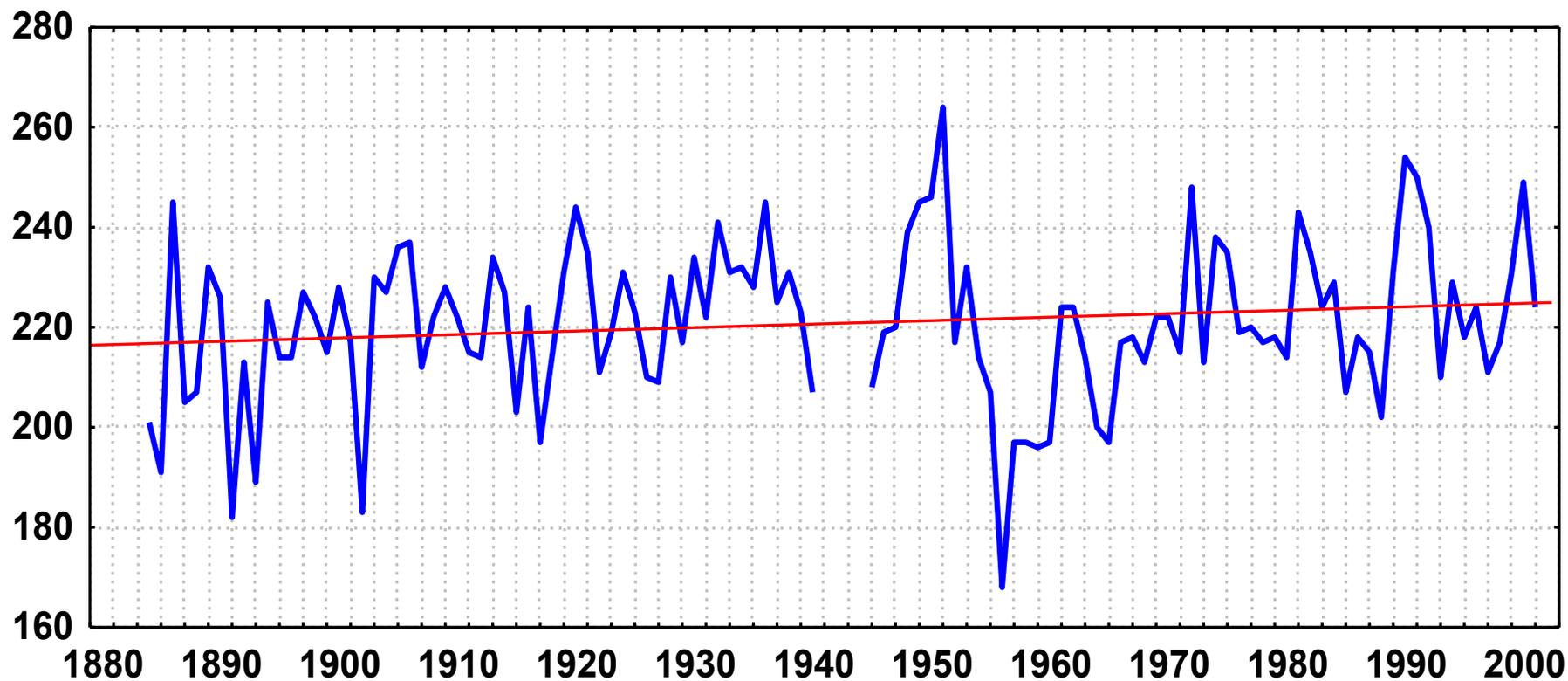


Цикличности с временными масштабами ок. 2, 11, 30, 60 лет

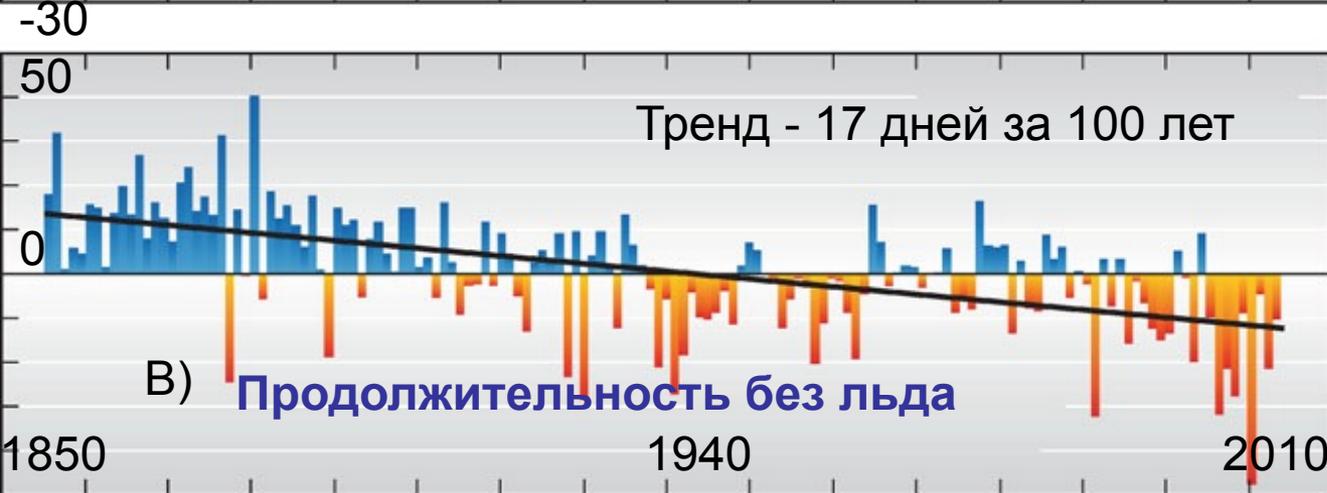
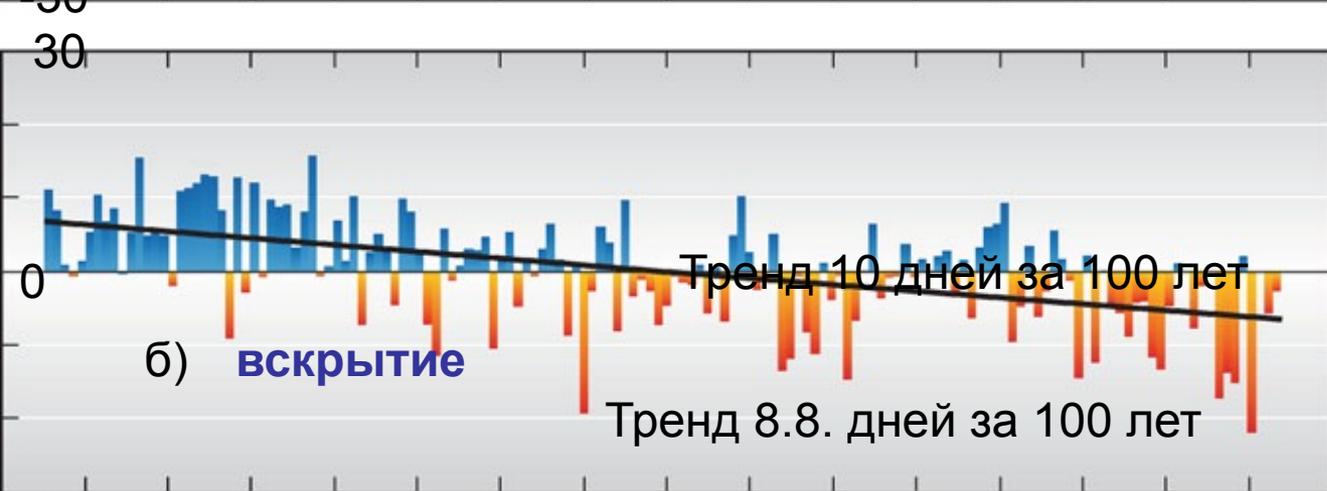
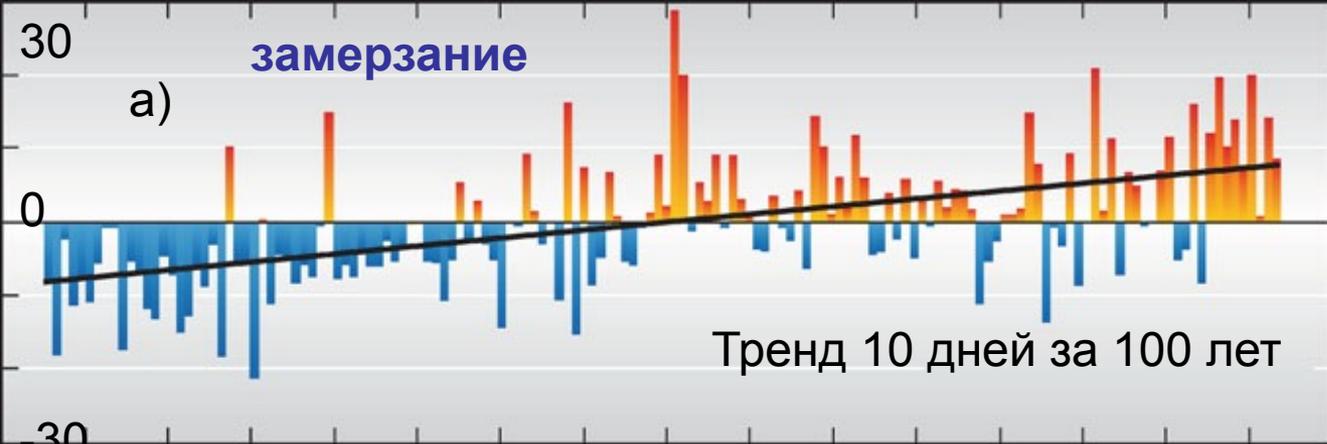
ДАТЫ ВСКРЫТИЯ И ЗАМЕРЗАНИЯ ЛЕДОВОГО ПОКРОВА НА ПЕТРОЗАВОДСКОЙ ГУБЕ ОНЕЖСКОГО ОЗЕРА



ИЗМЕНЕНИЕ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ БЕЗЛЕДНОГО ПЕРИОДА (В ДНЯХ) НА ОНЕЖСКОМ ОЗЕРЕ (ПЕТРОЗАВОДСКАЯ ГУБА)



Коэффициент линейного тренда 7 дней за 100 лет

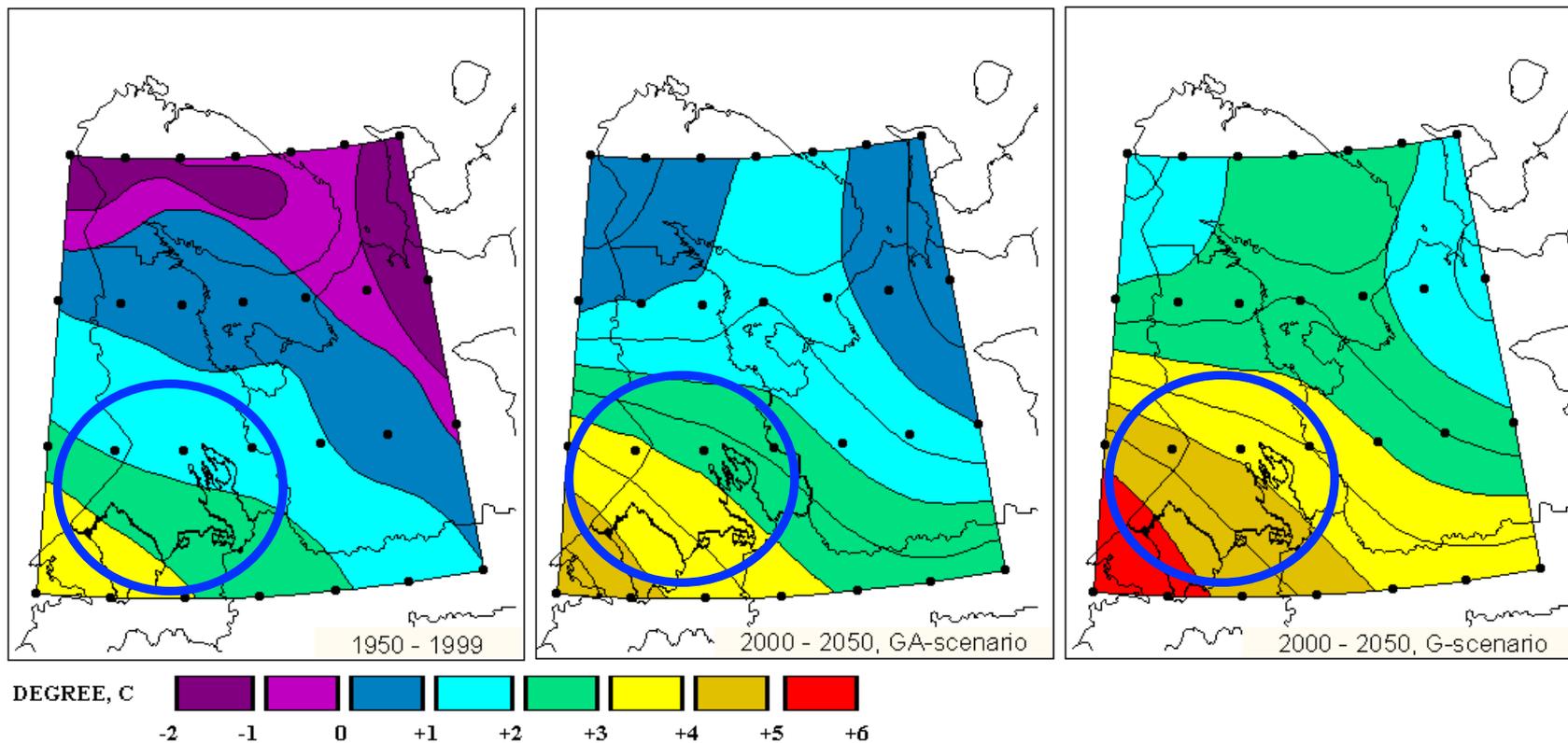


Озера Северного полушария: замерзание (а) freeze-up, вскрытие ото льда (б) и продолжительность периода свободного ото льда (в) с до 2007 (Prowse et al, 2011)

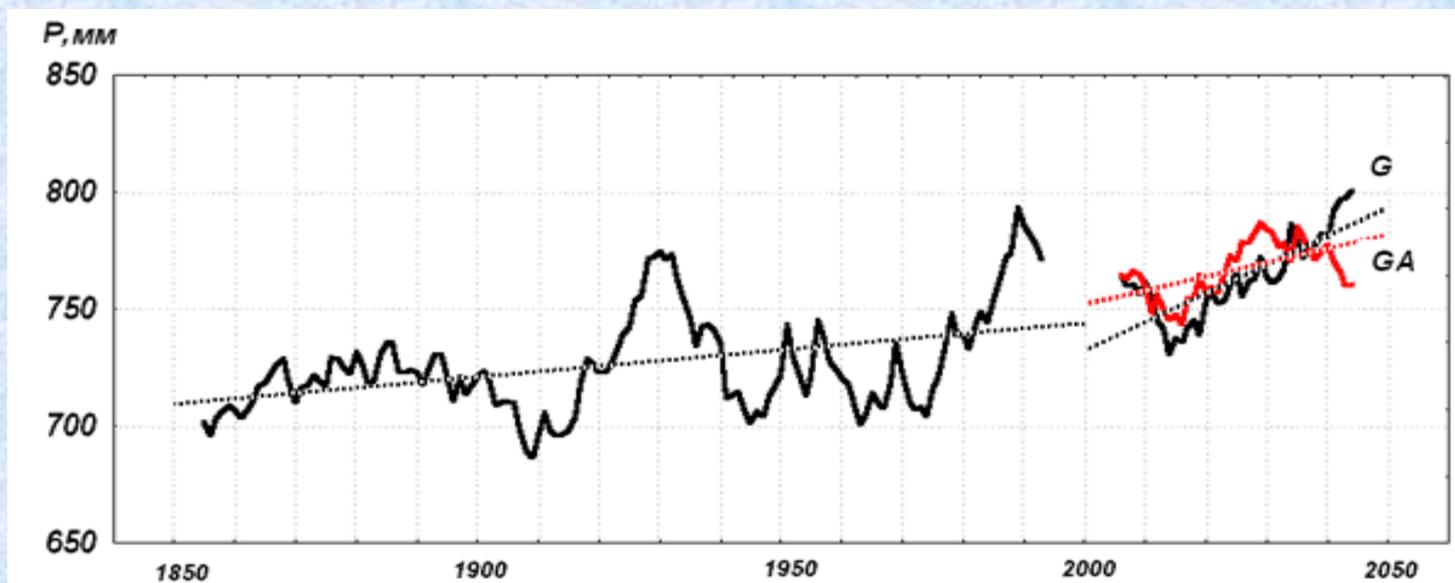
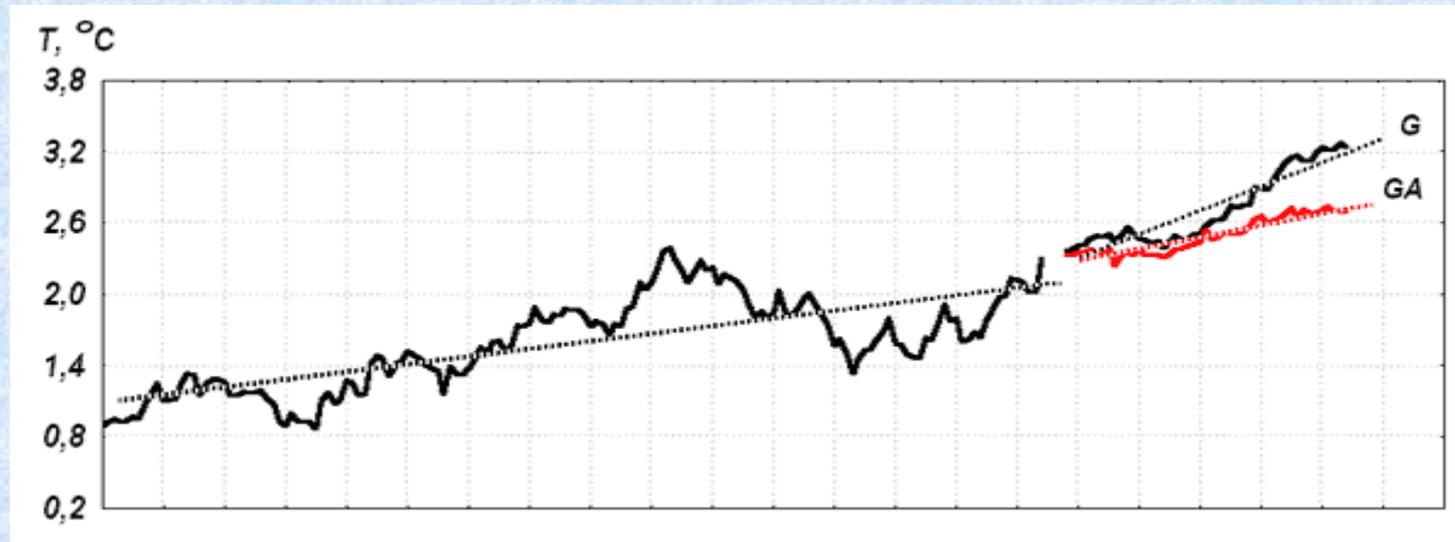
Аномалии от среднего в днях

ИЗУЧЕНЫ ИЗМЕНЕНИЯ КЛИМАТА

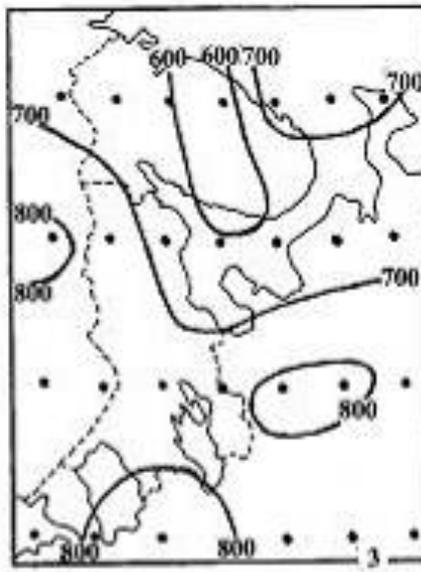
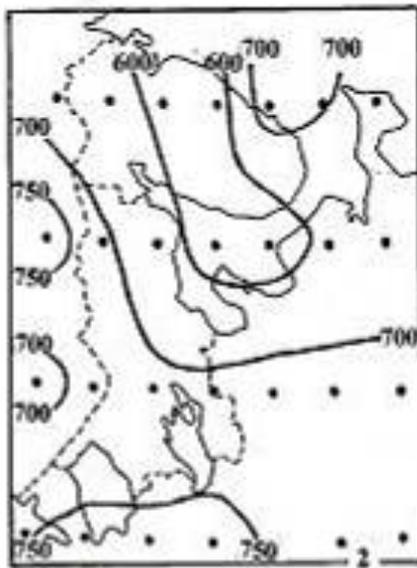
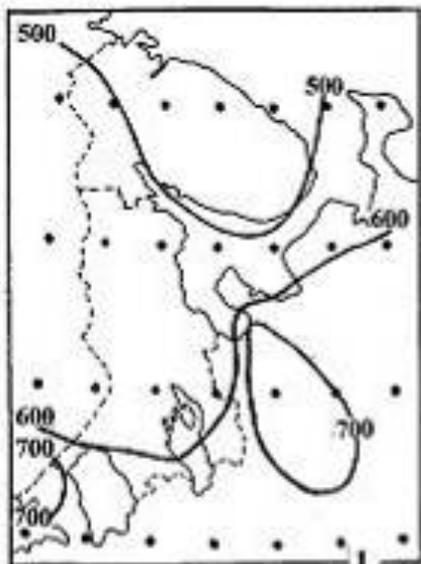
Изменение приземной температуры воздуха в (1950-1999) и рассчитанной по данным модели ЕСНАМ-4 (2000-2050) по двум сценариям ИРСС



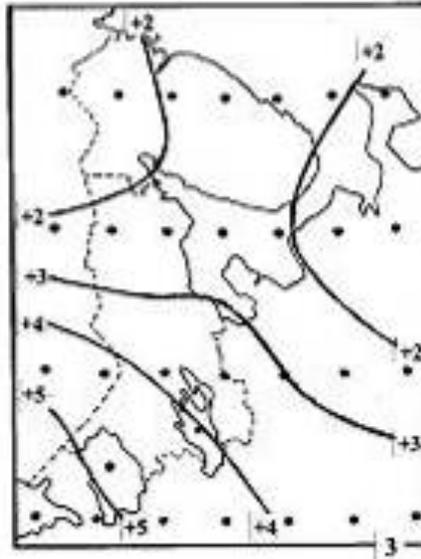
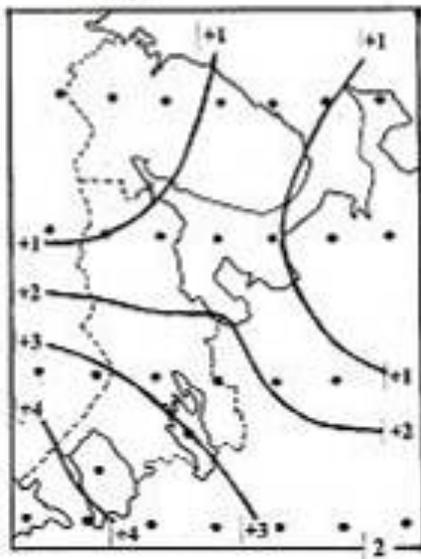
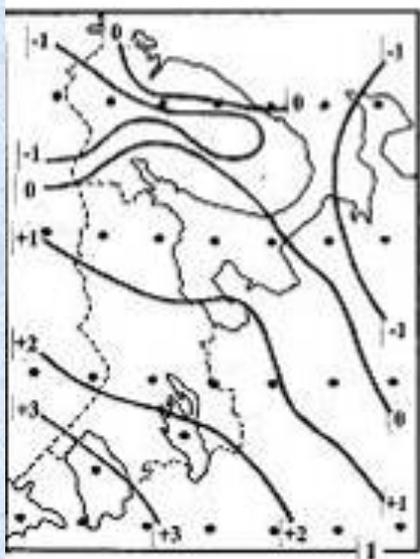
Результаты численного моделирования на моделях GSM ECHAM 4: по сценариям G- и GA- значения температуры воздуха и осадков и наблюдаемые (до 2000 г.) значения этих параметров для ЕТР



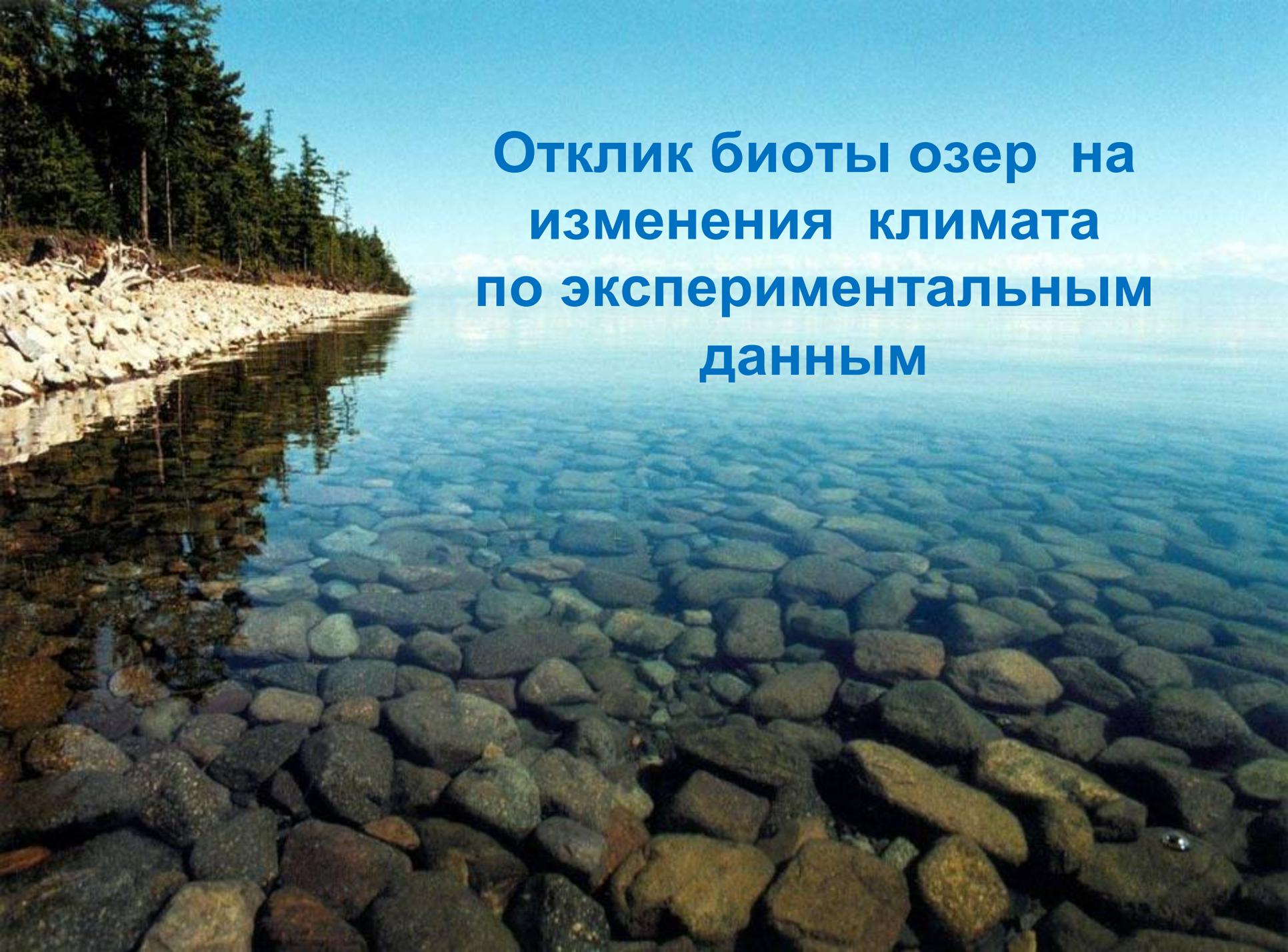
a)



б)



**Пространственное
распределение
нормы годовых
сумм
атмосферных
осадков: (8 а) и
температуры
воздуха (8 б) для
периода 1950-2000
гг. (1) и 2000-2050
гг. по сценариям
IPCC: GA (2) и G
(3)
соответственно.**

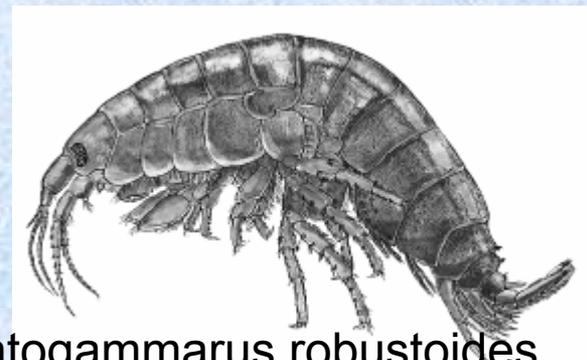
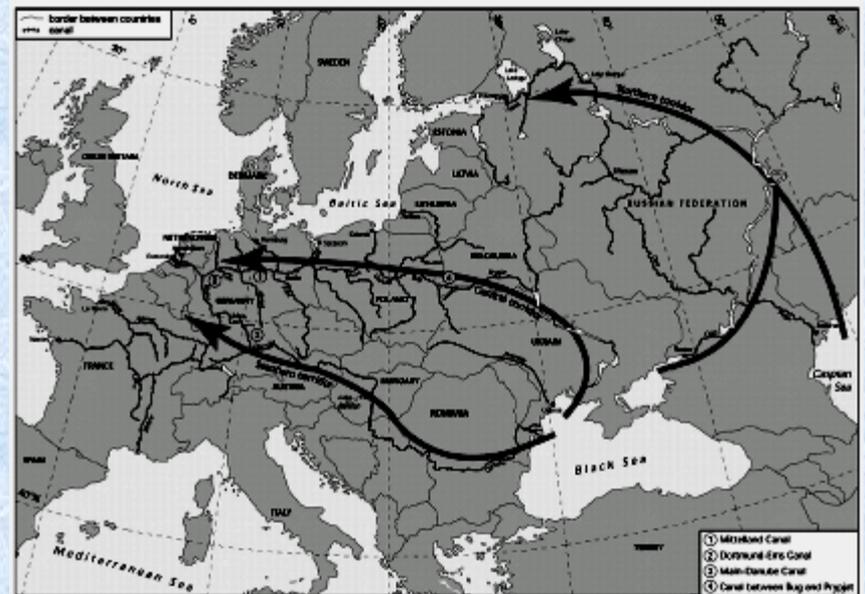


**Отклик биоты озер на
изменения климата
по экспериментальным
данным**

Климатические изменения и биологические инвазии...

- Климатические изменения, наряду с созданием канально-речных сетей и развитием судоходства способствовали расселению некоторых водных животных, в том числе теплолюбивых видов из бассейна южных рек Понто-Каспийского и Средиземного морей в более северные водоемы

Fig. 1. The migration corridors of Ponto-Caspian species in Europe.



Pontogammarus robustoides

Новый тип антропогенного воздействия - Инвазии): *Gmelinoides fasciatus* Stebbing – amphipod from Lake Baikal

What is a reason of penetrating of this species to the west of Russia?



Lake Onego bioresearches.
2008

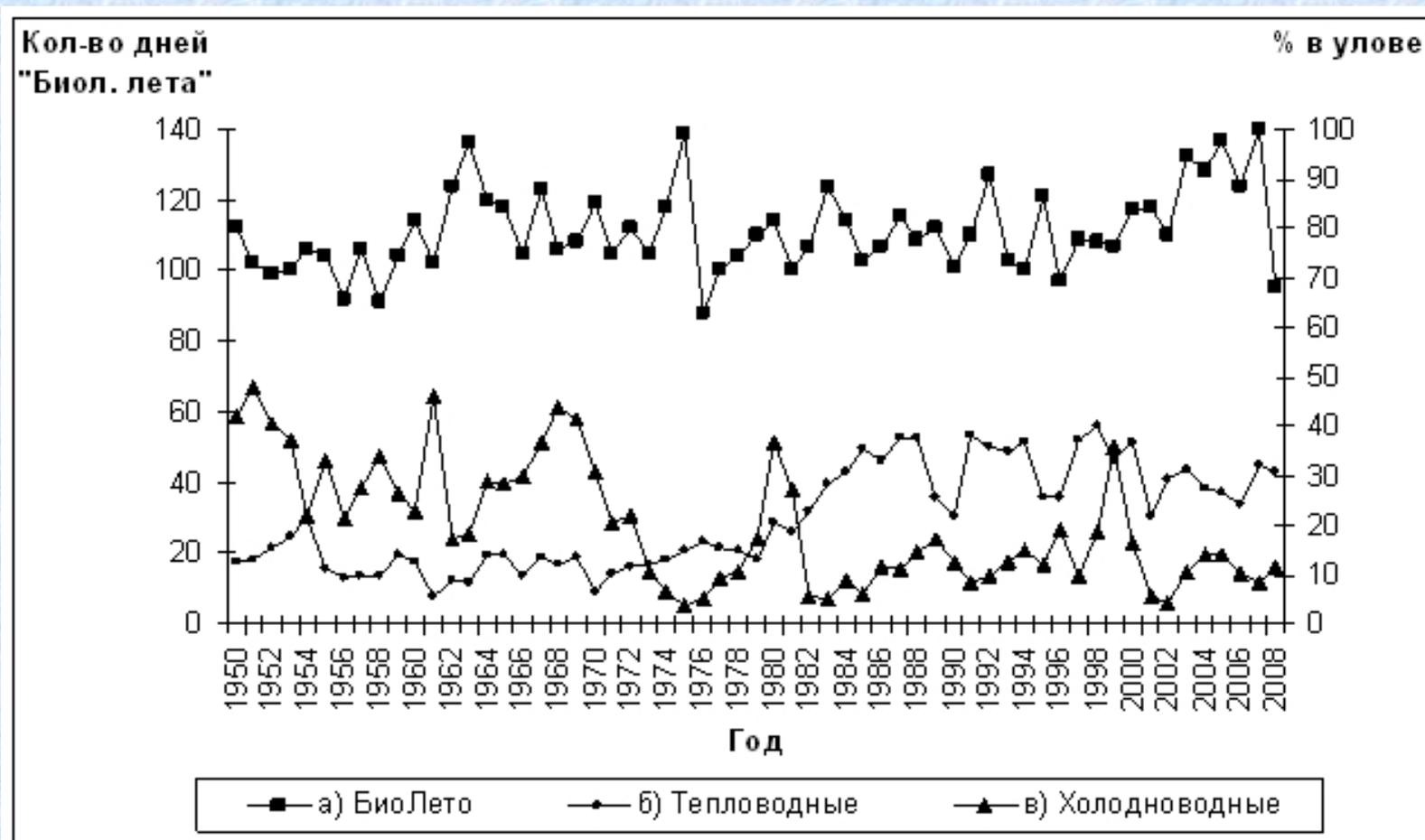
Author V.Kucharev¹⁰² et a.
NWPII

Изучены продолжительность «биологического лета», изменения удельного веса в уловах холодноводных и тепловодных видов рыб в исследуемых озера.

- БЛ - сумма градусо-дней как лимитирующий фактор, которая определяет сроки развития гидробионтов, их жизненные циклы, границы ареалов распространения различных видов и возможность их существования в том или ином водоеме:
- холодноводные (*сига, ряпушка, корюшка, хариус, налим*),
- тепловодные весеннерестующие (*синец, густера, лещ, судак*),
- фоновые или эвритермные (*щука, плотва, язь, окунь, ерш* и др.), которые мало восприимчивы к температурным изменениям окружающей среды.

Изменения биоты при вариациях климата:

Динамика продолжительности «биологического лета» (а) и удельного веса (% общего улова) тепловодных (б) и холодноводных видов (в) в оз. Водлозеро 1950-2008 г

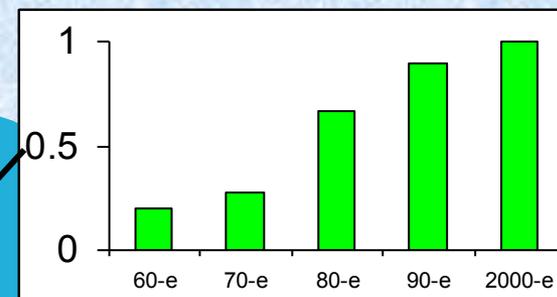
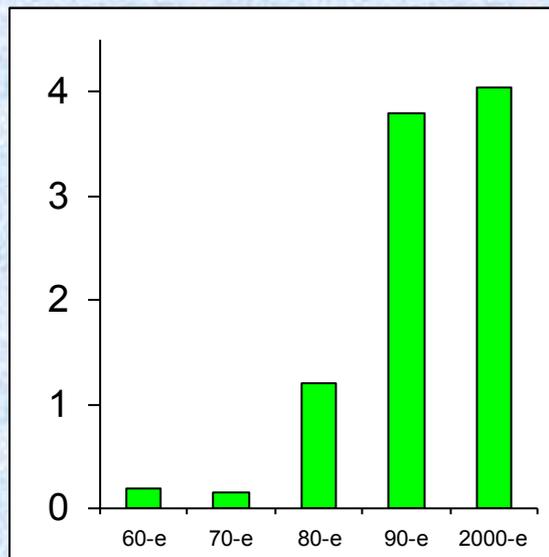
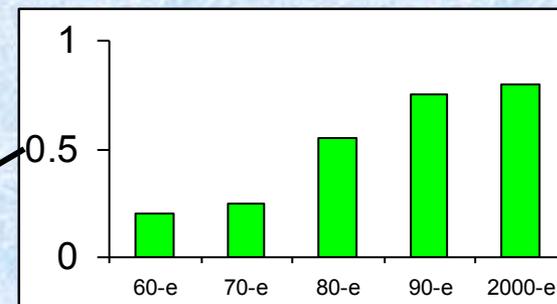
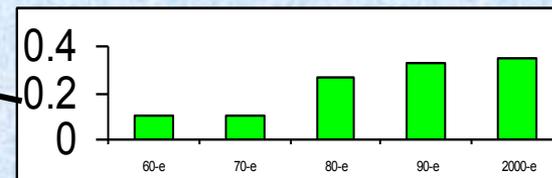
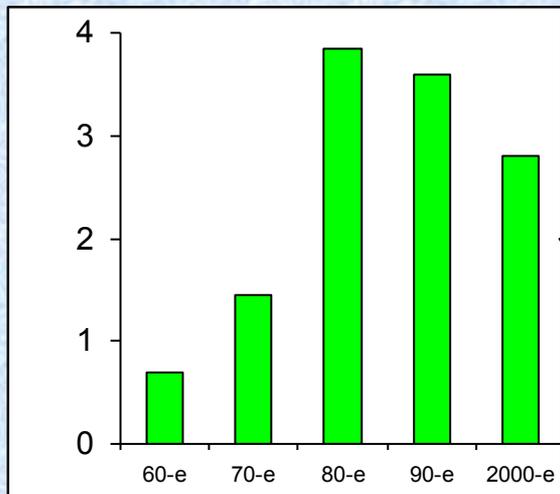


Продолжительность БЛ за 60 лет увеличилась в озерах в северной части ЕТР на 10-14 суток, в крупных и средних мета- и гипотермических озерах центральной и южной части региона на 17-24 суток.

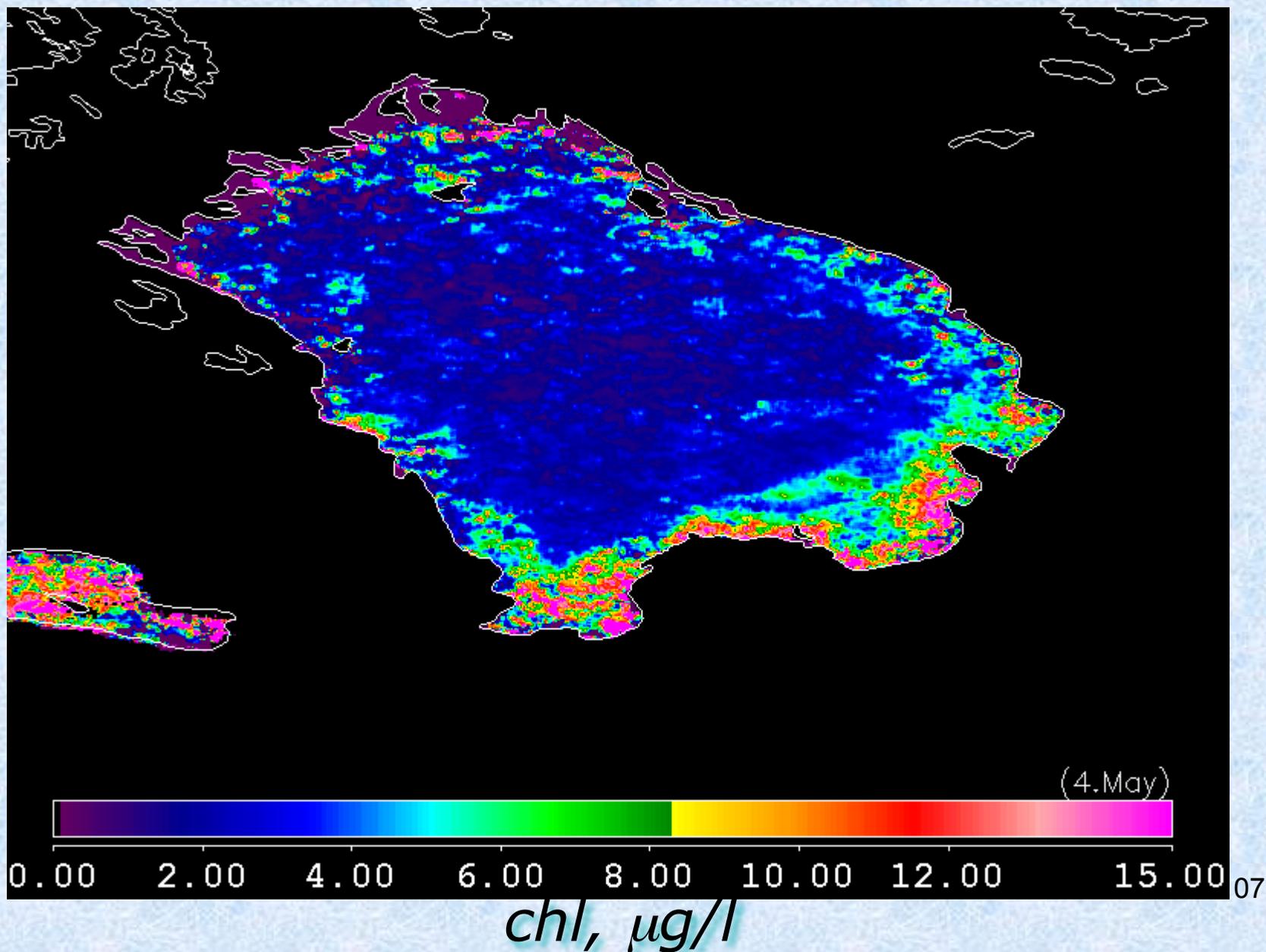
Динамика удельного веса (% в общем улове) представителей холодноводных (снеток, ряпушка) и тепловодных (синец, судак) видов рыб оз. Водлозеро (1950-2008 г.)



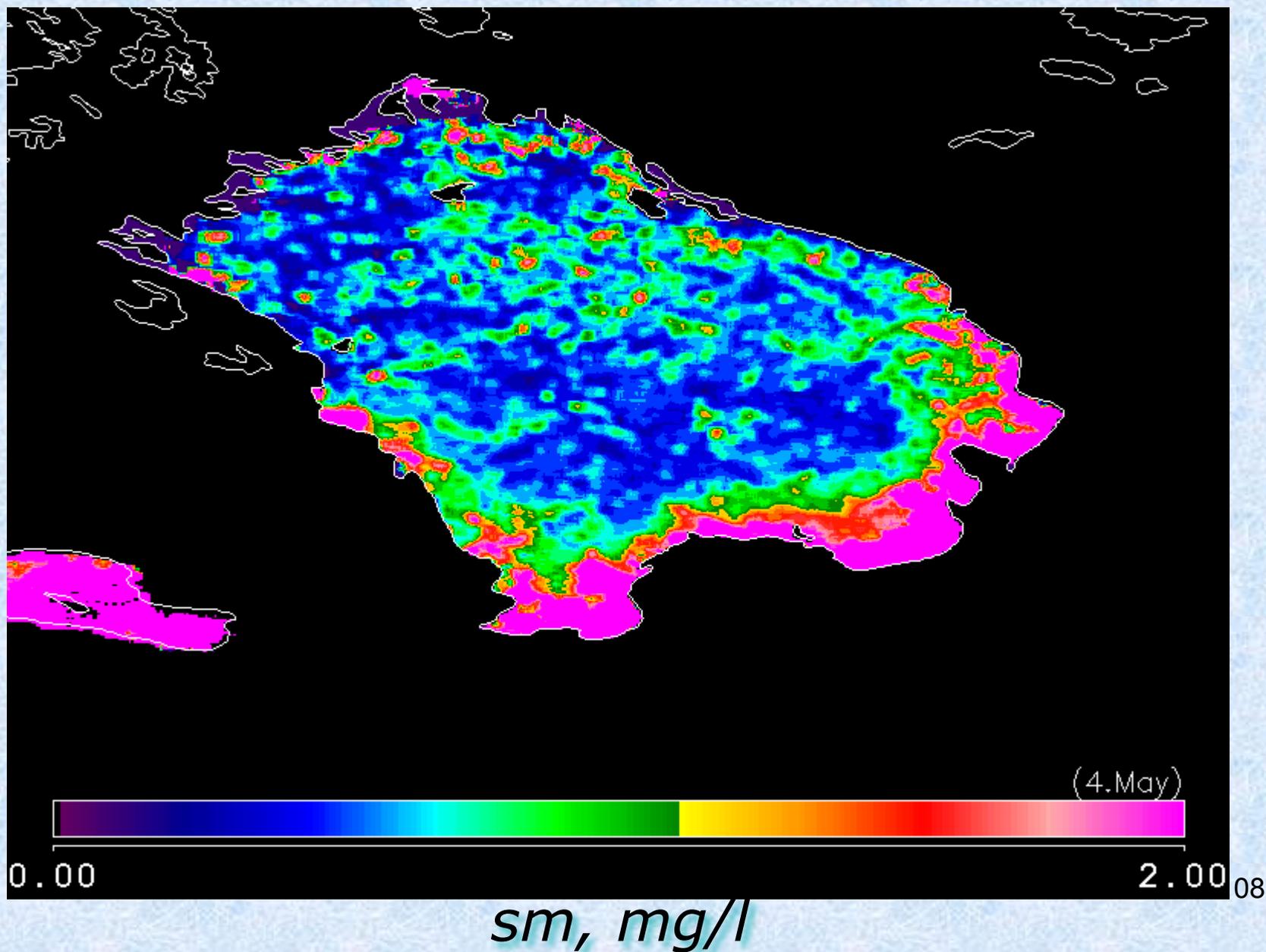
При потеплении климата отмечается изменение биомассы фитопланктона (мг/л) в различных частях Онежского озера (средние значения)



Сезоная динамика концентрации хлорофилла -а по спутниковым данным



Сезоная динамика взвешенного вещества по спутниковым данным

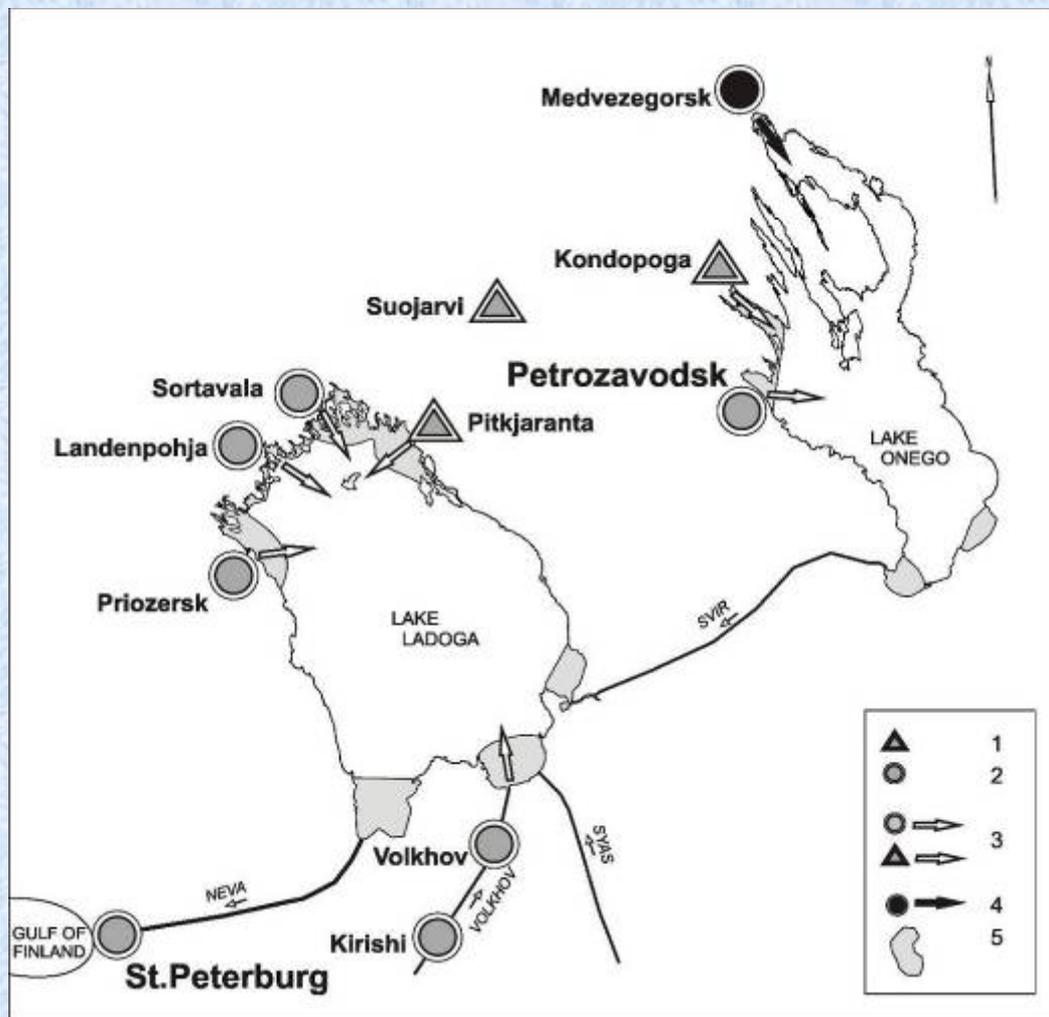


Предварительные выводы

- Изменения климата отражаются на температурном, уровне и ледовом режиме. Это может влиять на длину вегетационного периода и на сезонные циклы водных организмов.
- Изменения климата прямо или косвенно влияют на динамику популяций водных организмов и их географическое распределение.
- Для озер повышение температуры приводит к увеличению первичной продуктивности и изменению структуры трофической сети.
- Климатические изменения приводят к трансформации структурных характеристик водных сообществ. В то же время не обнаружили значимых корреляций между климатическими переменными и биомассой планктона и бентоса из-за сильного влияние других факторов на экосистемы озер.
- Крупные озера, глубоководные районы озер характеризуются более высокой стабильностью экосистем, чем малые.

Экспериментальных данных не достаточно, чтобы возможность оценить в полной мере влияние климата на водные системы.

ОСНОВНЫЕ ИСТОЧНИКИ АНТРОПОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ЛАДОГУ И ОНЕГО

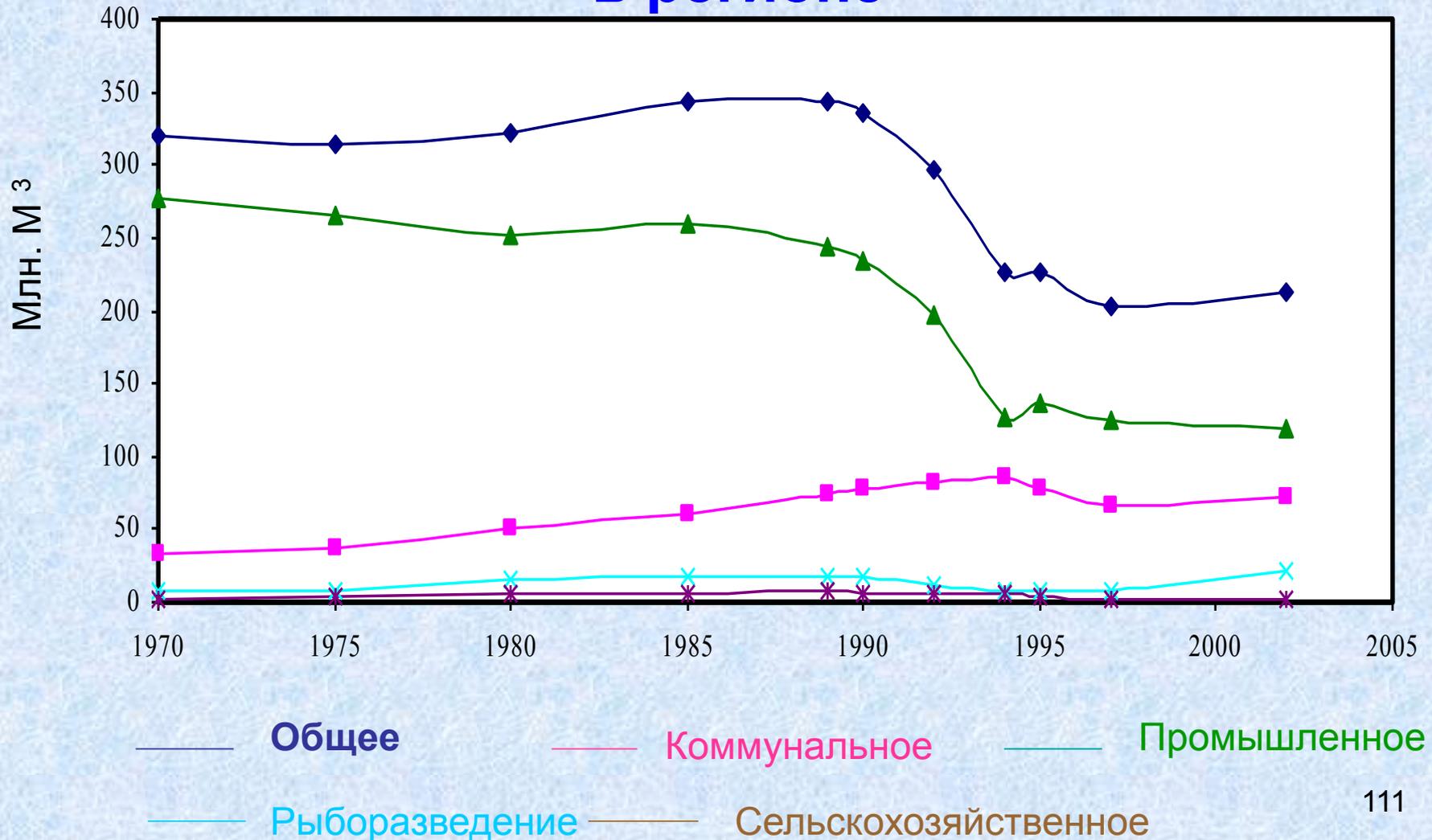


1 – ЦБП;
2 – Другие отрасли промышленности.

Поступления со стоком:
3 – после предварит. очистки;
4 – неочищенные стоки;
5. – области с повышенным загрязнением.

ИЗУЧЕНЫ АНТРОПОГЕННЫЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ВОДОСБОРЕ

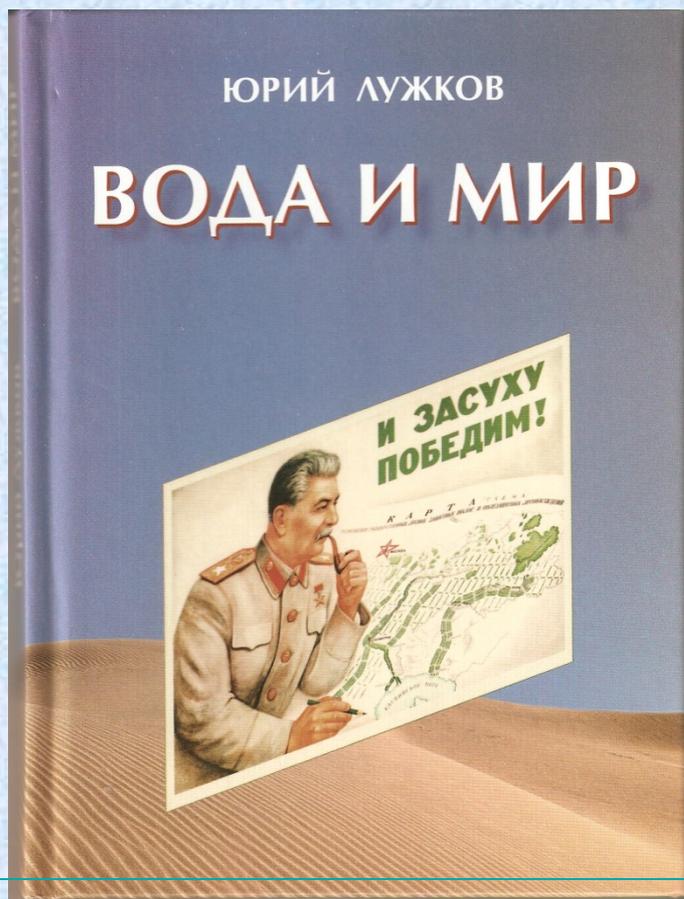
Динамика водопотребления и водопользования в регионе



Развитие водоемких технологий!?

Перераспределение?!?

Продажа воды!?



В.И.Данилов-Данильян

Вода – стратегический
фактор развития
экономики России

Москва 2007

Рациональное использование!
Сохранение!

Для сохранения водных ресурсов Ладожского и Онежского озер, также как и для других больших озер умеренных широт Северного полушария, можно выделить три задачи:

- I. определение уровня допустимой антропогенной нагрузки по основным загрязняющим веществам и биогенам (ЗВ и Б);**
- II. установление основных параметров, определяющих регламенты водопользования для данного водоема (нормативы и лимиты на сброс ЗВ и Б, ставки платежей за сброс ЗВ и Б, ставки платежей за водозабор и сброс воды);**
- III. создание интегрированных систем управления водопользованием.**

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВОЗМОЖНЫХ ИЗМЕНЕНИЙ ПОД ВЛИЯНИЕМ АНТРОПОГЕННЫХ И КЛИМАТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ.

ПРИМЕНЕН КОМПЛЕКС МОДЕЛЕЙ:

Flake, – модель термогидродинамики
(ИВПС, ИНОЗ, IGB, German Weather Service – Terzhevik,
Kirillin, Mironov, Golosov, 2006).

Модель водосбора

(LakeWeb catchment area (Håkanson & Vuolion, 2002).

Озерная экологическая модель (Lake ecological model
Fu-Liu Xu, Jørgensen, 2001.

Комплекс 3-D Моделей гидродинамики и экосистем
озер,

разработанные СПб ЭМИ РАН
(проф. Л.А. Руховец и др.)

Примеры 3-Д моделей термогидродинамики для Великих озер

- POM (Princeton Ocean Model) (Blumberg, Mellor, 1987, Mellor, 2003). Для озер - Beletsky, Schwab, 2008.
- ECOM (основанная на POM (Quamrul Ahsan, 1999)). В отличие от POM, в ECOM не используется прием спрямления дна, а в расчетах применяется неявная разностная схема.
- ELCOM (Estuary and Lake Computer Model), (Hodges et al., 2000 a,b; Laval et al., 2007).
- EFDC (The Environmental Fluid Dynamics Code), предназначенная для моделирования одно-, двух- и трехмерных водоёмов (США). Все применяют модель замыкания (Mellor, Yamada, 1982).
- DELFT 3D-ECO (Los Hans, 2009), (Нидерланды).
- NEMO (Nucleus for European Modelling of the Ocean), (Madec et al., 2012).
- Модель оз. Байкал, создана Е.А. Цветовой (1977), новый вычислительный алгоритм, разработан В.В. Пененко (1981).

Примеры 3-Д моделей ЭКОСИСТЕМ

- CAEDYM – ELKOM (Hipse, Hamilton, 2008), углерод, азот, фосфор и кремний; фитопланктон, зоопланктон, бентос, рыбы и макрофиты представлены различным числом групп.
- PROTECH (Phytoplankton RespOnces To Environment Changes). Включает биогены, 10 групп фитопланктона. (Reynolds et al., 2001).
- DELFT 3D-ECO (Los Hans, 2009), (Нидерланды) имеет блок BLOOM.
- IPH-PCLake (Fragoso et al., 2009) имеет 3-D, три группы фитопланктона, и три трофические группы рыб. Зоопланктон и бентос не имеют деления.
- GLOBIO3 (Alkemade et al., 2000).
- Использование стохастического моделирования более характерно для моделей популяций и сообществ, чем для моделей экосистем.

Математические модели, разработанные для изучения динамики вод, экосистемы Ладожского и Онежского озер

- Модель гидротермодинамики Ладожского и Онежского озер: (Саркисян А.С., Демин Ю.Л. Филатов Н.Н. и др. 1987).
- Модель термогидродинамики воспроизводит круглогодичную циркуляцию озера (систему течений и температурный режим) (Руховец Л.А. и др. 1987-2010)

Модели экосистем, разработанные в СПб ЭМИ РАН:

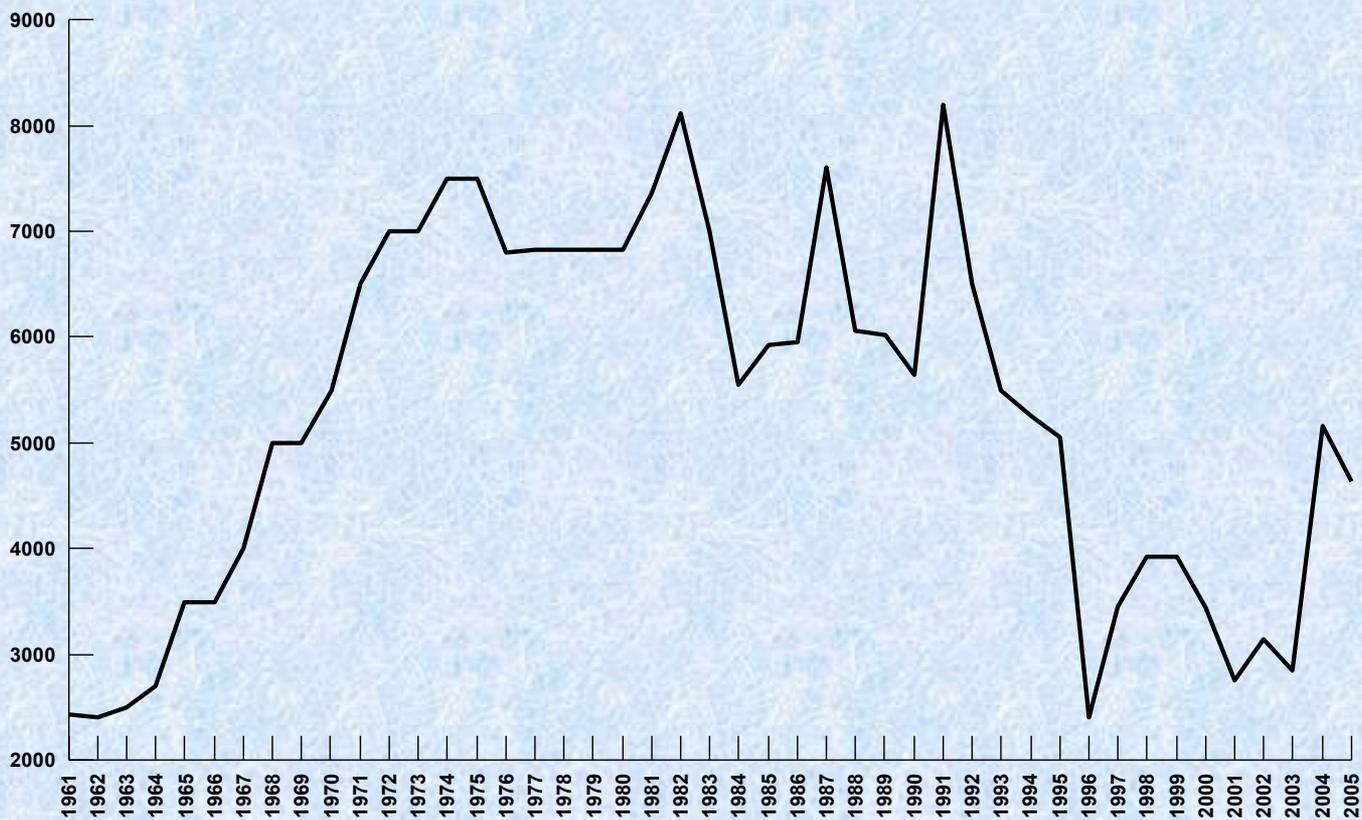
- Модель экосистемы В.В. Меншуткина и О.Н. Воробьевой (1987)
- Модель биогидрохимического режима А.В. Леонова, М.М. Остащенко и Н.Н.Филатов (1990).
- Модель, основанная на круговороте азота и фосфора (1992)
- Базовая модель, основанная на круговороте фосфора (1998)
- Модель, имеющая три трофических уровня (1998)
- Модель, включающая зообентос (2003)
- Модель сукцессии фитопланктона (2003)
- Комплексная модель экосистемы озер (2008)
- Комплексная модель экосистемы озер с учетом усиления деструкции ОВ бактериопланктоном и водными грибами (2011)

I. Определение уровня допустимой антропогенной нагрузки на озера

- задача определения уровня допустимой антропогенной нагрузки на озеро – это фактически задача количественной оценки ассимиляционного потенциала (АП) его экосистемы;
- АП природной среды – это её самовосстановительная способность по отношению к поступлению в природную среду вещества и энергии в результате хозяйственной деятельности;
- сохранение АП экосистем озер, его количественная и экономическая оценки, влияние глобального потепления на АП экосистем озер – это проблемы, актуальные как с теоретической точки зрения, так и практически;
- задача сохранения АП экосистем крупнейших пресноводных озер – одна из важнейших.

Количественная оценка АП экосистемы Ладожского озера

В качестве количественной оценки АП представляется естественным принять систему лимитов на объёмы сброса ЗВ и Б по ингредиентам, соблюдение которых обеспечивает олиготрофный статус озера (или устойчивость экосистемы озера, или слабomezотрофное состояние)



**Фосфорная нагрузка (т Р/год) на Ладожское озеро в 1961-2005 гг.
 (данные Института озераедения РАН ; Расплетина Г.Ф. (2006))**

Динамика экосистемы Ладоги

- До 1970: Озеро имело олиготрофный статус. Концентрация фосфора $\sim 10 \mu\text{g P/l}$.
- 1970-1980: Интенсивная антропогенная нагрузка. Концентрация фосфора $26 \mu\text{g P/l}$.
- 1983-1989: небольшое уменьшение антропогенной нагрузки и концентрация фосфора $\sim 22 \mu\text{g P/l}$.
- 1991-2012: Антропогенная нагрузка резко упала. Концентрация фосфора $17 \mu\text{g P/l}$.

Моделирование гидродинамического режима Ладожского озера

МОДЕЛЬ КЛИМАТИЧЕСКОЙ ЦИРКУЛЯЦИИ БОЛЬШИХ СТРАТИФИЦИРОВАННЫХ ОЗЕР

Уравнения движения

$$\frac{\partial u}{\partial t} - lv = \frac{\partial}{\partial z} \left(k_z \frac{\partial u}{\partial z} \right) - g \frac{\partial \xi}{\partial x} - \frac{g}{\rho_w} \int_z^0 \frac{\partial \rho}{\partial x} dz'$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + lu = \frac{\partial}{\partial z} \left(k_z \frac{\partial v}{\partial z} \right) - g \frac{\partial \xi}{\partial y} - \frac{g}{\rho_w} \int_z^0 \frac{\partial \rho}{\partial y} dz'$$

Уравнение неразрывности:

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0$$

Уравнение состояния:

$$\rho(T) = \rho_w \left[1 - 6.8 \cdot 10^{-6} (T - 4)^2 \right], \quad [T] = ^\circ\text{C}$$

Уравнение переноса тепла:

$$\frac{\partial T}{\partial t} + u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} + w \frac{\partial T}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial x} \left(v_x \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(v_y \frac{\partial T}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(v_z \frac{\partial T}{\partial z} \right)$$

Закон изменения тепла в водоеме:

$$\frac{\partial}{\partial t} C_p \rho_w \int_{\Omega} T d\Omega = \int_{S_0} Q ds - C_p \rho_w \int_{S_{\text{втек}}} \bar{v}_n T_r ds - C_p \rho_w \int_{S_{\text{вытек}}} \bar{v}_n T ds - C_p \rho_w \int_{S_0} \frac{\partial \xi}{\partial t} T ds$$

ГРАНИЧНЫЕ И НАЧАЛЬНЫЕ УСЛОВИЯ

**Boundary conditions for \vec{v}
at $z = 0$:**

$$k_z \frac{\partial u}{\partial z} = \frac{\tau_x}{\rho_w}, \quad k_z \frac{\partial v}{\partial z} = \frac{\tau_y}{\rho_w} \quad (6)$$

$$w = \alpha \frac{\partial \xi}{\partial t} \quad (7)$$

Here τ_x , τ_y are wind stress components; $\alpha = 0, 1$

at $z = -H(x, y)$:

$$k_z \frac{\partial u}{\partial z} = k_2 U \sqrt{U^2 + V^2}, \quad k_z \frac{\partial v}{\partial z} = k_2 V \sqrt{U^2 + V^2}, \quad (8)$$

$$w = -u \frac{\partial H}{\partial x} - v \frac{\partial H}{\partial y}, \quad (9)$$

Here $\vec{V} = (U, V)$ is depth-averaged velocity vector;

$$U = \frac{1}{H} \int_{-H}^0 u(x, y, z, t) dz, \quad V = \frac{1}{H} \int_{-H}^0 v(x, y, z, t) dz.$$

On vertical side boundaries $\vec{v} = 0$ everywhere but river inlets.

Boundary conditions for equation of heat transfer:

at $z = 0$

$$v_z \frac{\partial T}{\partial z} = \frac{1}{c_p \rho_w} Q \quad (10)$$

At all solid boundaries heat flux is equal to zero. For inlets, the boundary condition is

$$\frac{\partial T}{\partial N} - \vec{v}_n (T - T_n) = 0 \quad (11)$$

- Потоки тепла и момента рассчитаны из метеонаблюдений на станциях вокруг озера.
- Речной сток - из наблюдений.
- Изменения климата до 2100 г. заданы по данным GCM согласно сценариям IPCC.
- Расчетные сетки 0.5-2 км.
- Результаты моделирования течений, температуры воды, ледовый покров сравнивались с данными наблюдений.
-

НА МОДЕЛЯХ СПБ ЭМИ РАН ИССЛЕДОВАНЫ ИЗМЕНЕНИЯ ЭКОСИСТЕМЫ ОЗЕРА ДЛЯ:

- Нормы или многолетней среднеклиматической ситуации,
- Теплых лет (потепление климата),
- Холодных лет,
- Маловодных,
- Многоводных периодов.
- При разном антропогенном воздействии: разные сценарии биогенной нагрузки.

Определение климатической

циркуляции

- А.С. Монин (1982) характеризует крупномасштабную циркуляцию как статистический ансамбль движений таких образований в океане, которым можно дать индивидуальное описание.
- Климатическая циркуляция для крупных озер складывается из общей крупномасштабной, повторяющейся из года в год, циркуляции, охватывающей основную часть водной массы озера течениями циклонического характера.
- Воспроизведению климатической циркуляции - построение периодического решения, для чего требуется проводить расчеты на значительное физическое время, кратное времени условного водообмена озера. Для Ладоги и Онего - приблизительно 12–14 лет. Практически счет на модели проводят до тех пор, пока озеро “не забудет” начальные условия и его циркуляция и температурный режим станут определяться текущими внешними воздействиями (Астраханцев и др., 2003а).

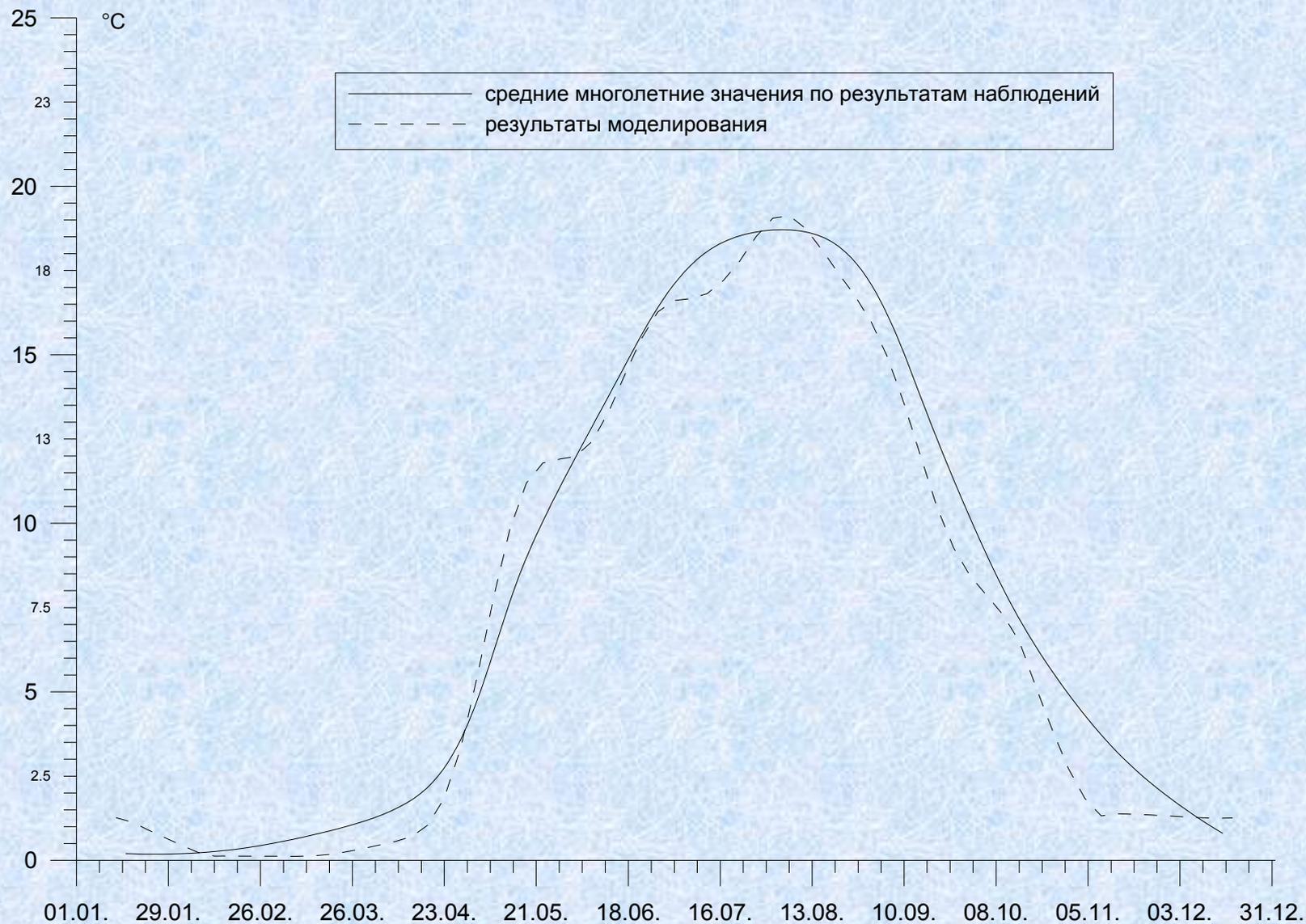
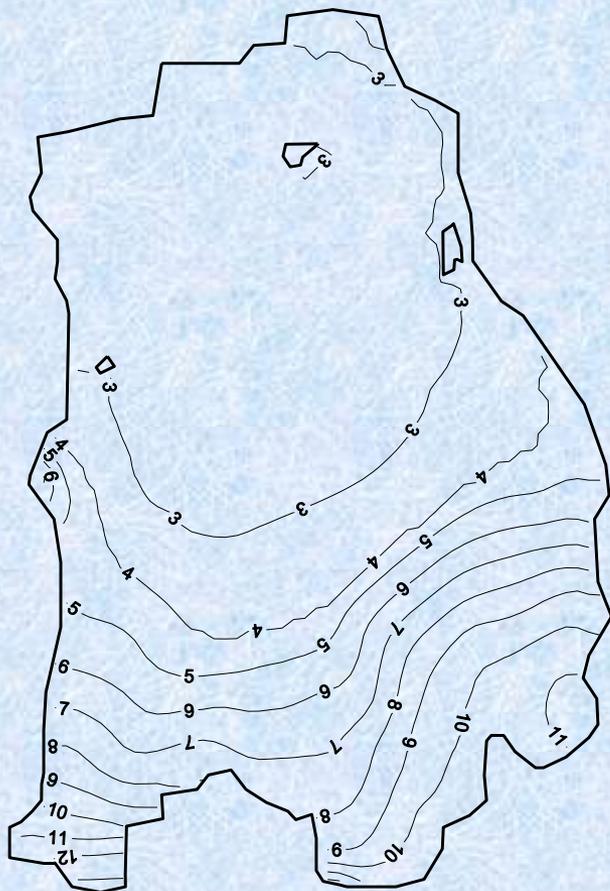
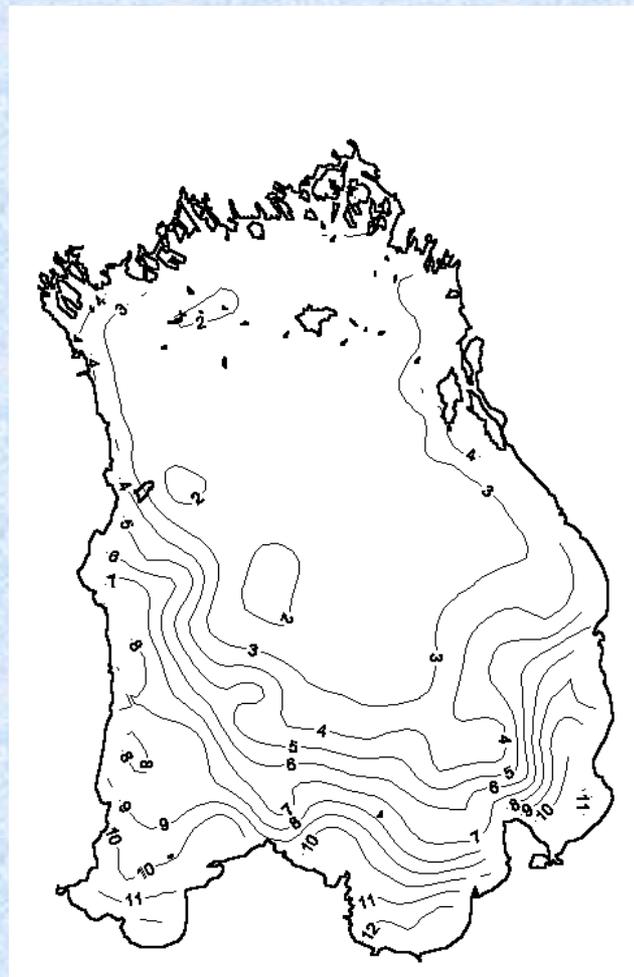


Рис. 2. Температура воды в истоке реки Невы: ———— средние многолетние данные
----- результаты моделирования



(а)



(б)

Рис. 1. Температура поверхности 1 июня: а) результаты моделирования б) данные

**Влияние возможных
изменений климата на
гидродинамический режим
озер**

**Моделирование изменений
гидродинамического режима
Ладожского озера**

ЗАДАНИЕ ТЕПЛОВОГО ПОТОКА

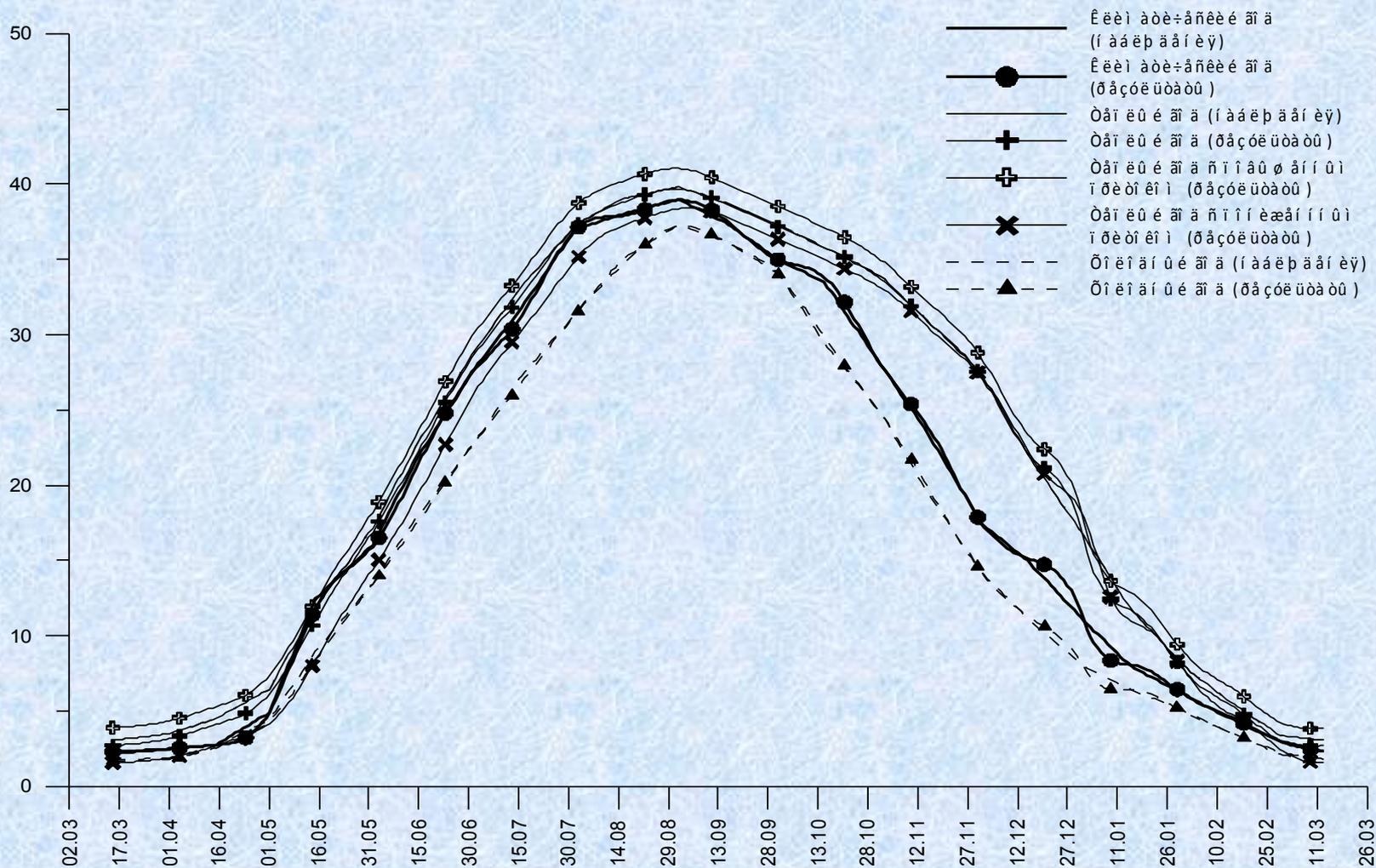
$$Q = \frac{d}{dt} \frac{1}{mes(S_0)} \int_{\Omega} c_p^v \rho_w T(x, y, z, t) d\Omega$$

удельный теплозапас

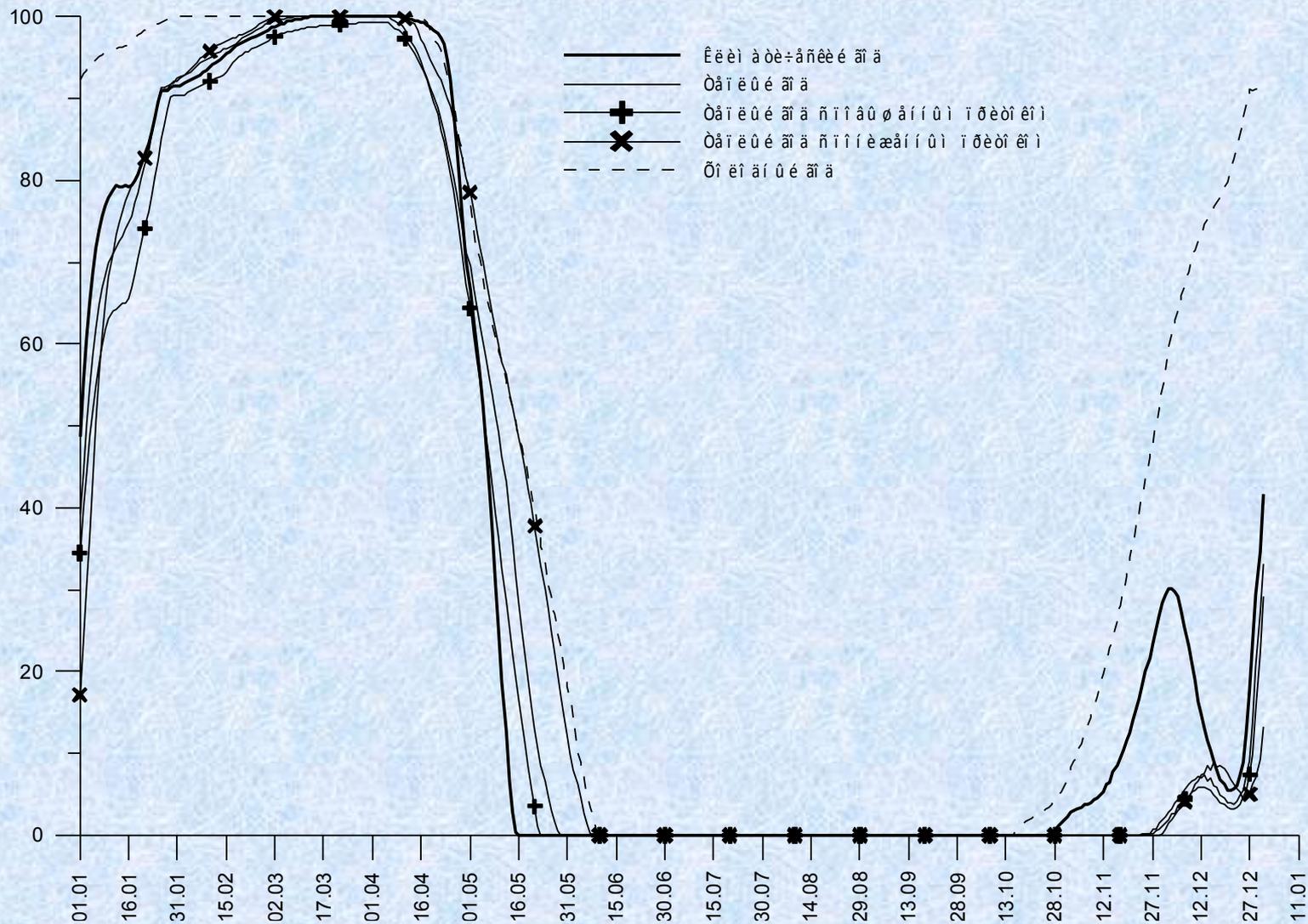
Средние за период 1957–1962 гг. значения удельного теплозапаса (ккал/см²)
Ладожского озера на середину месяца и границы их изменений, построенные на
основе данных наблюдений
(Тихомиров, стр. 208-209)

Месяцы	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Тепло-запас												
Средний за период	10.6	5.8	3.4	2.3	4.9	15.2	27	35.2	38.4	35.5	28.9	19.7
min	8	5.1	2.6	1.5	3.6	13.7	23	33.2	36.3	32.7	23.8	13.8
max	16	7.2	5.1	3.1	6.2	16.3	28.4	36.6	40	38.8	39.2	28.2

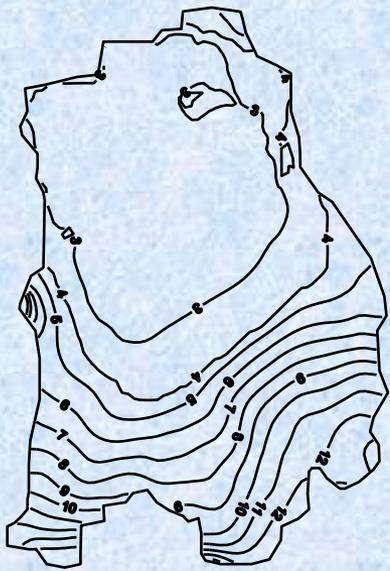
Данные из таблицы 1 использовались при построении циркуляций для задания теплового потока через границу вода–атмосфера.



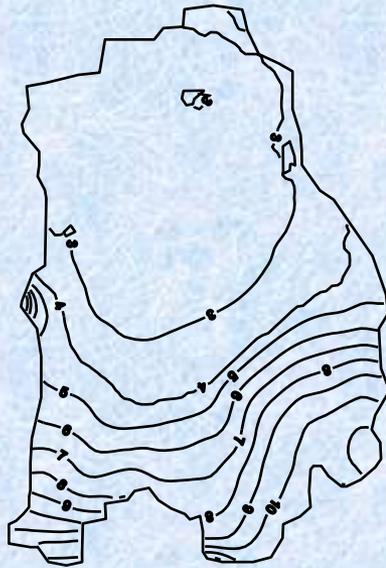
Годовой ход удельного теплозапаса Ладожского озера (ккал/см²)
(данные наблюдений и результаты моделирования)



**Рис. 4. Площадь ледового покрова (в % от площади озера)
(результаты моделирования)**



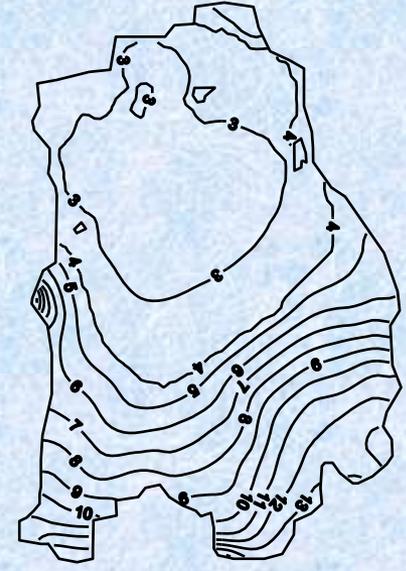
(a)



(б)

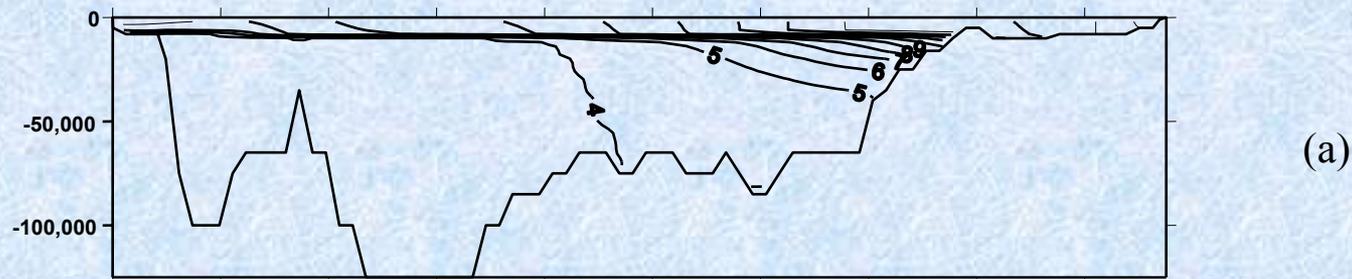


(в)

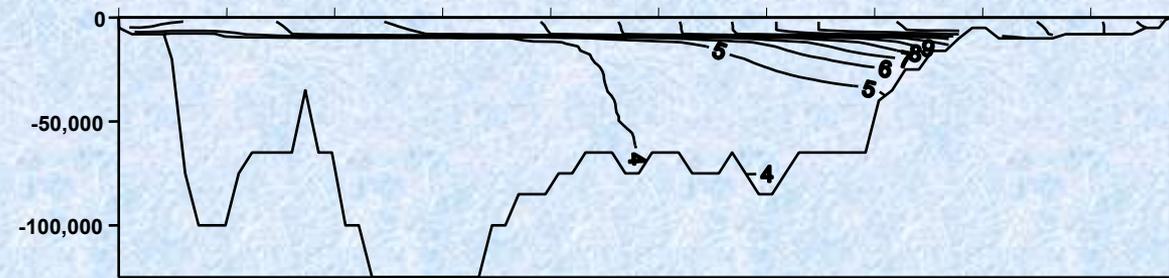


(г)

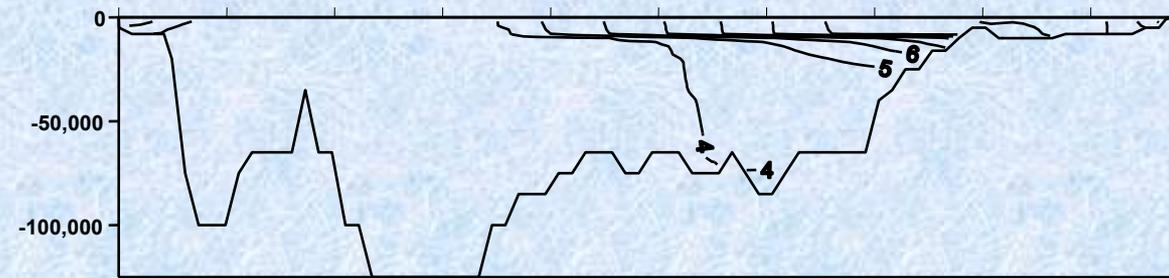
Температура поверхности на 01.06. для (а) теплой, (б) климатической, (в) холодной, (г) теплой с повышенным притоком циркуляций (результаты моделирования)



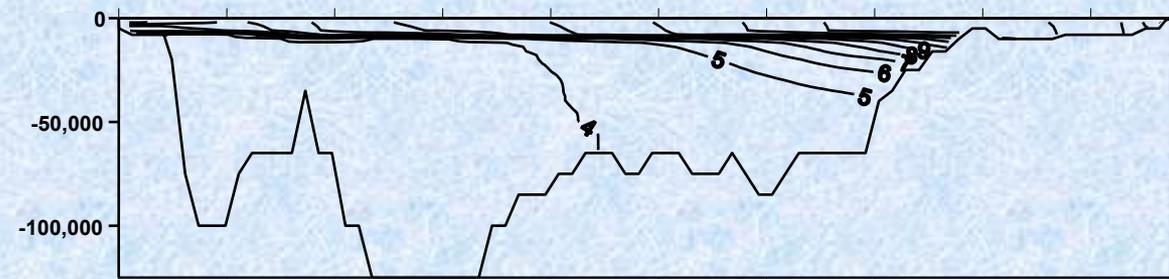
(a)



(б)



(в)



(г)

Температура на продольном разрезе водного тела озера на 01.07. для (а) теплой, (б) климатической, (в) холодной, (г) теплой с повышенным притоком циркуляций (результаты моделирования)

Некоторые характеристики термического режима Ладожского озера по результатам моделирования и данным наблюдений

Явление	Циркуляция			Средние многолетние данные
	«Теплая»	Климатическая	«Холодная»	
Установление полного ледового покрова	6 февраля – 94% 11 февраля – 95% 19 февраля – 97% 12 марта – 100%	10 февраля – 94% 14 февраля – 95% 23 февраля – 97% 16 марта – 100%	4 января – 94% 7 января – 95% 17 января – 97% 1 февраля – 100%	10 февраля
Исчезновение ледового покрова	29 мая	16 мая	10 июня	25 мая
Появление изотермы 4°C (весеннего термобара)	23 апреля	27 апреля	28 апреля	1 мая
Исчезновение изотермы 4°C (весеннего термобара).	29 июня	9 июля	26 июля	15 июля
Наименьшая толщина эпилимниона и время ее наступления	16-21 июля	21-26 июля	5-10 августа	20 метров
Появление изотермы 4°C (осеннего термобара).	15 ноября	24 октября	12 октября	1 октября
Исчезновение изотермы 4°C (осеннего термобара)	2 января	14 декабря	20 ноября	15 декабря
Начало установления ледового покрова.	28 ноября – 1% 2 декабря – 3% 6 декабря (24 декабря) – 5%	29 октября – 1% 3 ноября – 3% 12 ноября (21 декабря) – 5%	17 октября – 1% 25 октября – 3% 30 октября – 5%	30 декабря

Загрязнение водоема (озера) как правило является результатом экономической деятельности и по этой причине снижение загрязнения во власти водопользователей. По крайней мере, снижение загрязнений зачастую оказывается экономически доступным.

Иначе обстоит дело с избыточным поступлением в водоём биогенов (например, фосфора): запущенный ростом поступления фосфора процесс антропогенного эвтрофирования большого стратифицированного озера, как оказалось на конкретных примерах, весьма сложно остановить, даже снизив поступление фосфора в водоем.

Комплексная модель экосистемы Ладожского озера

Состояние экосистемы в любой момент времени определяется трехмерными полями концентраций следующих субстанций:

P – растворенные в воде минеральные формы фосфора (мкг P/л);

<i>Ph1-Aulacosira islandica</i>	} - диатомовые,	<i>Ph6- Oscillatoria tenuis</i>	} - синезелёные
<i>Ph2-Asterionella formosa</i>		<i>Ph7-Aphanisomenon flosaquae</i>	
<i>Ph3-Diatoma elongatum</i>		<i>Ph8- Microcystis aeruginosa</i>	
<i>Ph4-Fragilaria crotonensis</i>		<i>Ph9- Woronichinia naegeliana</i>	
<i>Ph5-Tribonema affine</i>	} - жёлтозелёные,		

Ph1; Ph2; ...; Ph9 - комплексы фитопланктона, измеряемые в мг/л сырой биомассы;

Z_f – мирный зоопланктон (фильтраторы), измеряемый в мг/л сырой биомассы;

Z_p – хищный зоопланктон, измеряемый в мг/л сырой биомассы;

DP – детритный фосфор, измеряемый в мкг P/л, и называемый далее детритом;

DOP – растворенное в воде органическое вещество, измеряемое в мкг P/л;

OX – растворенный в воде кислород, измеряемый в мг OX/л.

B – биомасса зообентоса, измеряемая в г P/ кв.м;

$$\frac{\partial C}{\partial t} + u \frac{\partial C}{\partial x} + v \frac{\partial C}{\partial y} + (w - w_c) \frac{\partial C}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial x} \left(v_x \frac{\partial C}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(v_y \frac{\partial C}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(v_z \frac{\partial C}{\partial z} \right) + L_C, \quad \frac{dB}{dT} = L_B$$

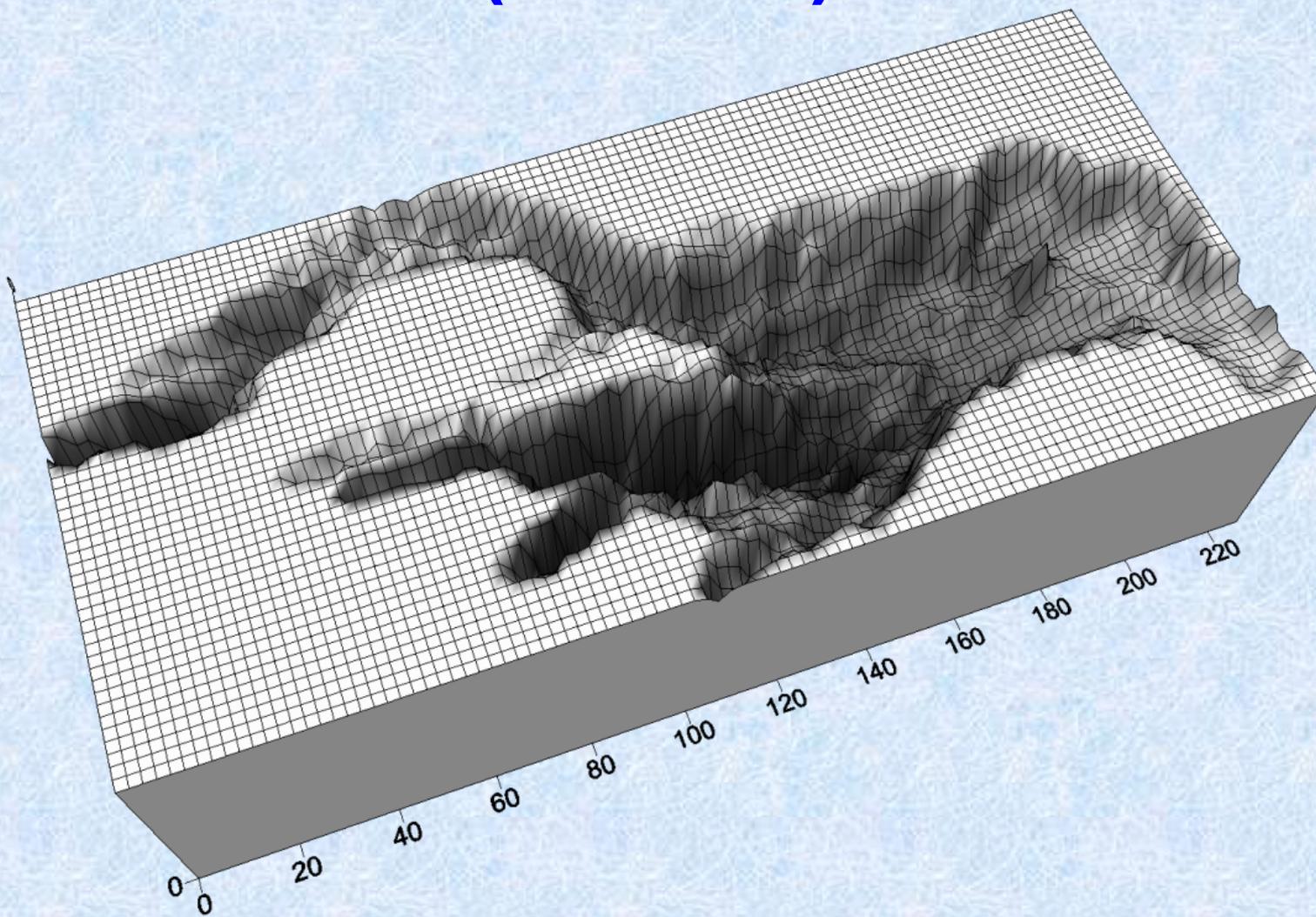
$C = Ph1; Ph2; \dots, Ph9, Z_f, Z_p, DP, DOP, P, OX.$

Моделирование изменений гидродинамического режима Онежского озера

Динамика экосистемы Онего.

- 1970-1986: Озеро имеет олиготрофный статус. Сильная антропогенная нагрузка. Начинается эвтрофирование отдельных заливов.
- 1991-2012: Резко падает антропогенная нагрузка . Озеро возвращается в олиготрофное состояние..
- В настоящее время концентрация фосфора $(8\div 10)\mu\text{g P/L}$.

Графическая модель сеточной области Онежского озера (1000 м)



Характеристика сеточной области Онежского озера (1000 м)

- Общее количество узлов прямоугольной сетки составляет 673260 *узлов*;
- Количество счетных узлов (узлов, входящих в область озерной котловины) составляет 152934 *узлов*;
- Количество узлов прямоугольной сетки на поверхности Онежского озера составляет 24045 *узлов*;
- Количество счетных узлов на поверхности Онежского озера составляет 9344 *узлов*;
- Количество точек поворота границы акватории в горизонтальной плоскости XOY , характеризующих детализацию описания береговой линии озера, составляет 593 *точки*.

ЗАДАНИЕ ТЕПЛООВОГО ПОТОКА

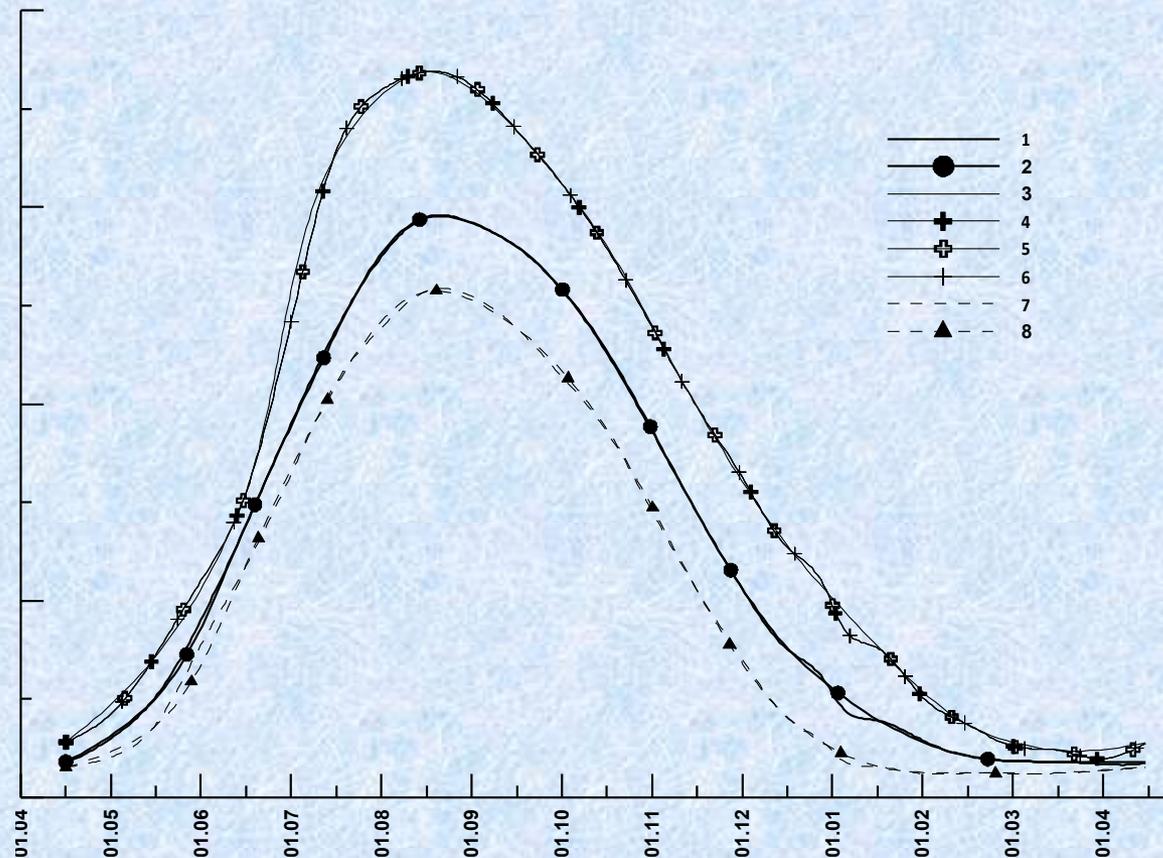
$$Q = \frac{d}{dt} \frac{1}{mes(S_0)} \int_{\Omega} c_p^v \rho_w T(x, y, z, t) d\Omega$$

удельный теплозапас

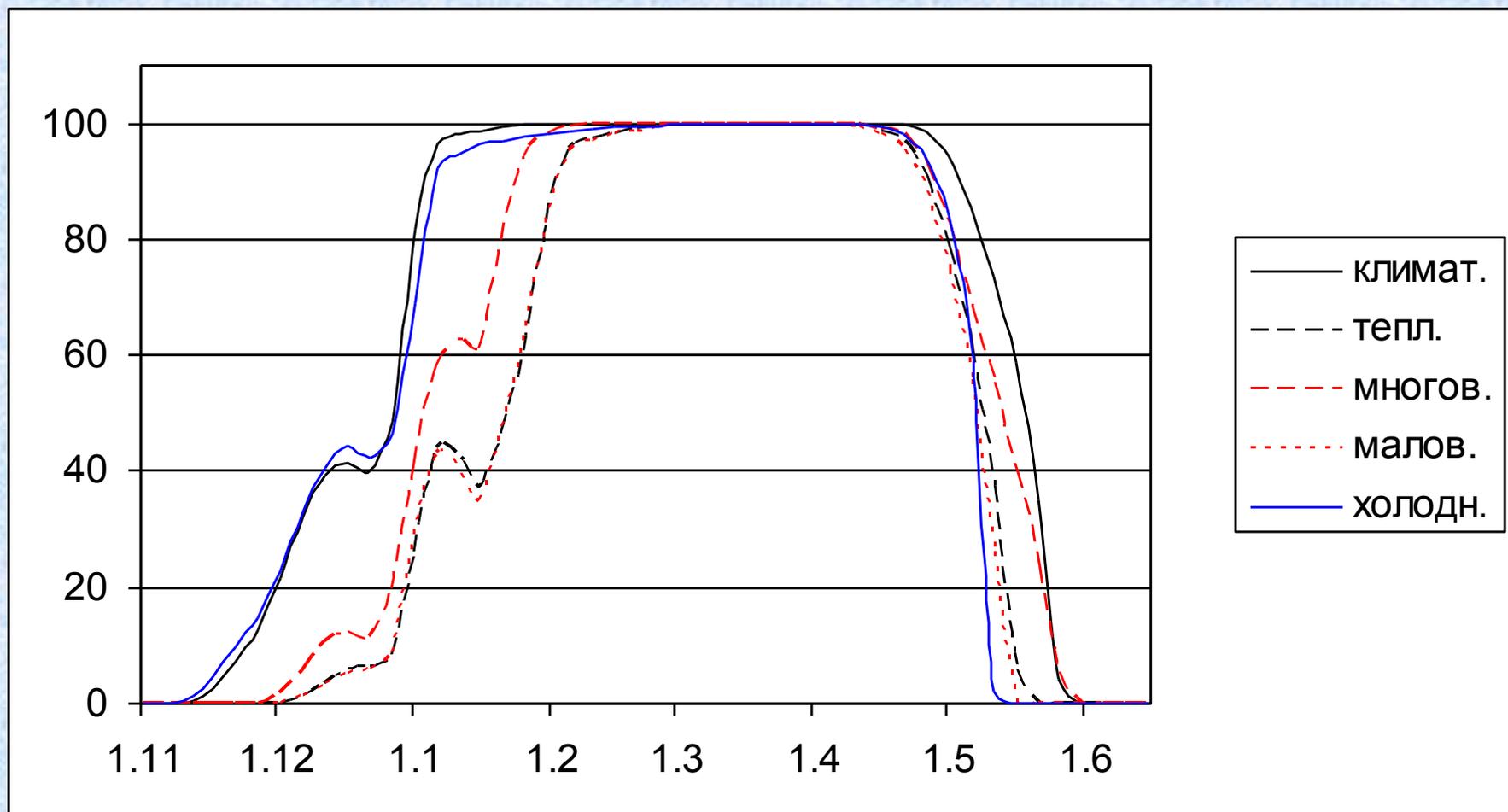
**Средние за период 1956–1967 гг. значения удельного теплозапаса (ккал/см²)
Онежского озера на середину месяца и границы их изменений, построенные на
основе данных наблюдений**

месяц	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
теплый год	7.60	3.70	2.40	2.80	7.26	15.50	32.86	36.89	33.91	27.90	19.84	12.71
климат. год	3.91	2.11	1.81	1.81	5.12	13.85	23.78	29.50	27.99	22.58	14.45	7.53
холодн. год	1.55	1.24	1.24	1.55	3.72	11.78	21.08	25.73	23.87	18.6	10.54	4.03

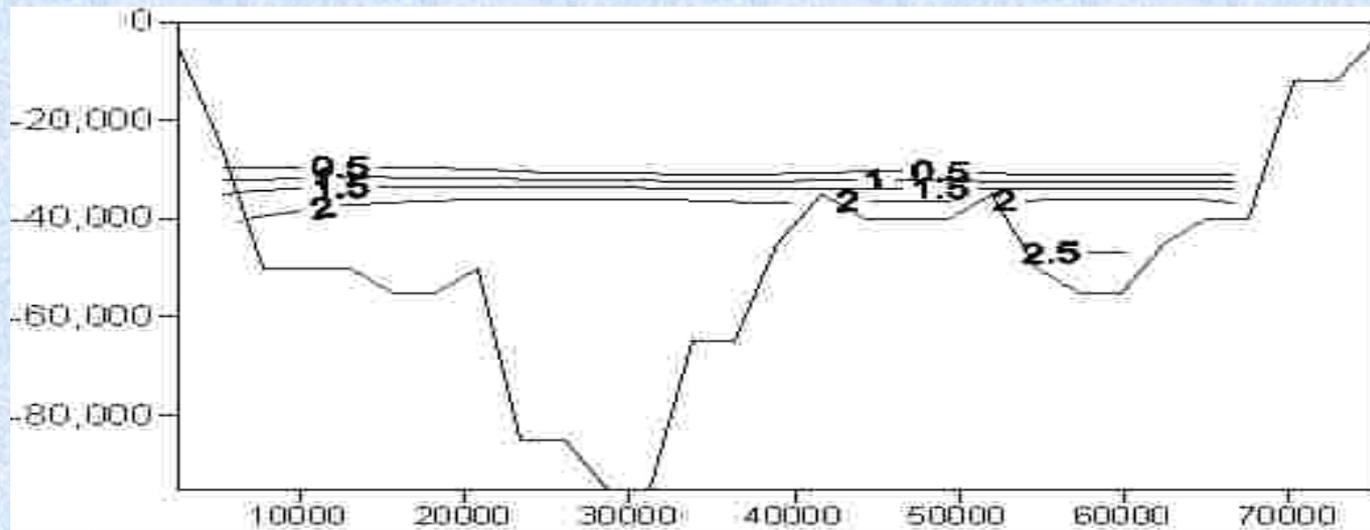
Данные из таблицы 1 использовались при построении циркуляций для задания теплового потока через границу вода–атмосфера.



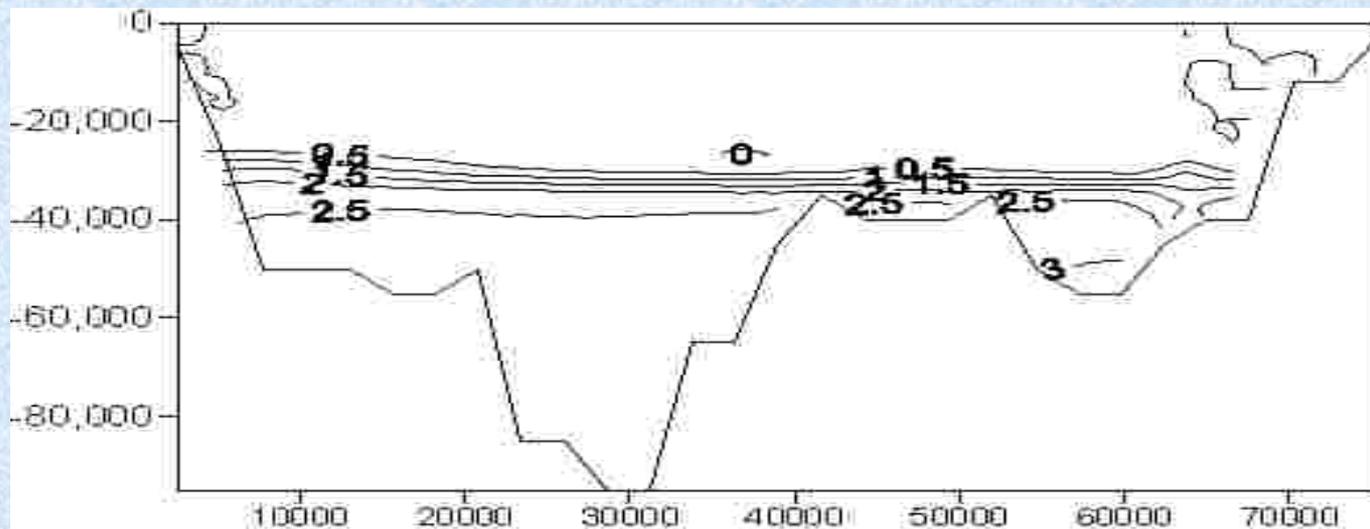
Годовой ход удельного теплозапаса Онежского озера ($kcal/cm^2$) для циркуляций: 1-климатическая (наблюдения); 2-климатическая (результаты моделирования); 3-теплая (наблюдения); 4-теплая (результаты моделирования); 5-теплая с повышенным притоком (результаты моделирования); 6-теплая с пониженным притоком (результаты моделирования); 7-холодная (наблюдения); 8-холодная (результаты моделирования)



Площадь ледового покрова (в % от площади озера) – результаты моделирования



а)
)

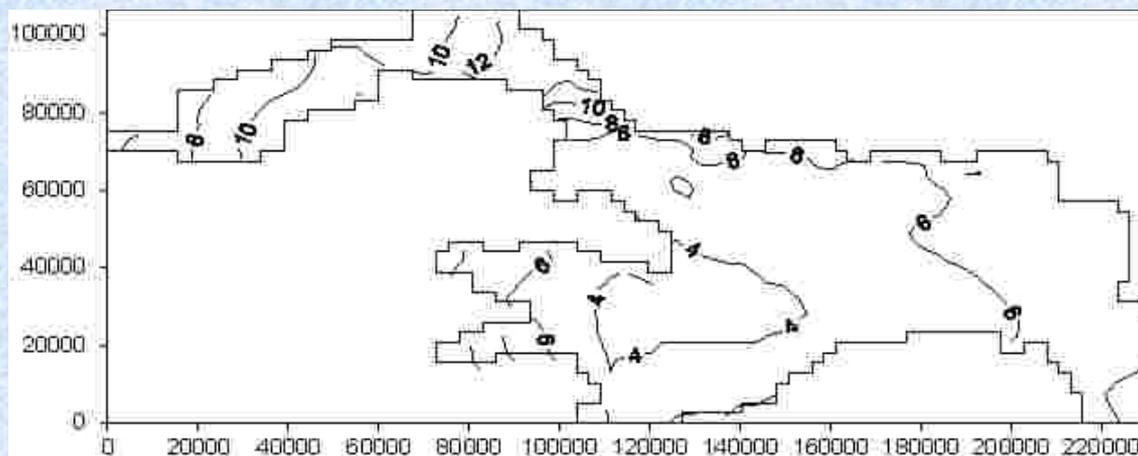


б)

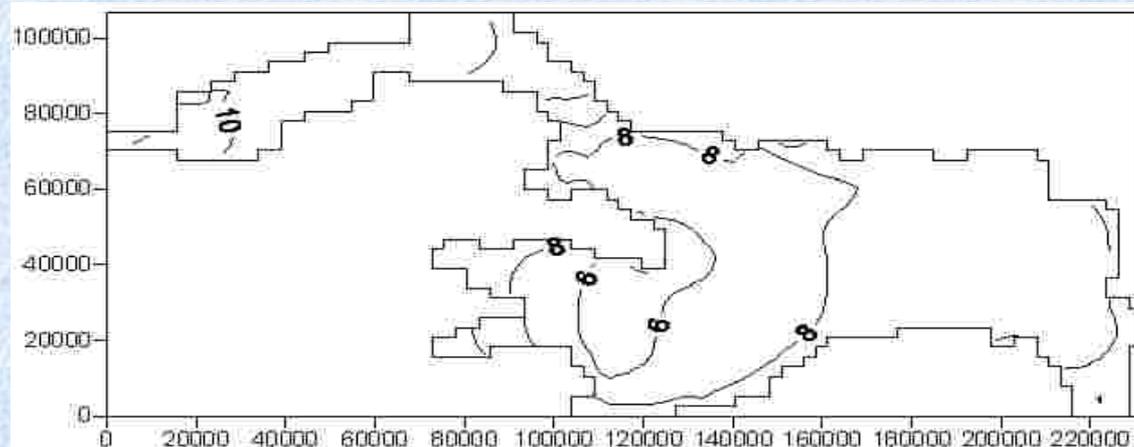
Изотермы в поперечном разрезе озера 01.04.

а) – климатический год, б) – теплый год

(результаты моделирования)



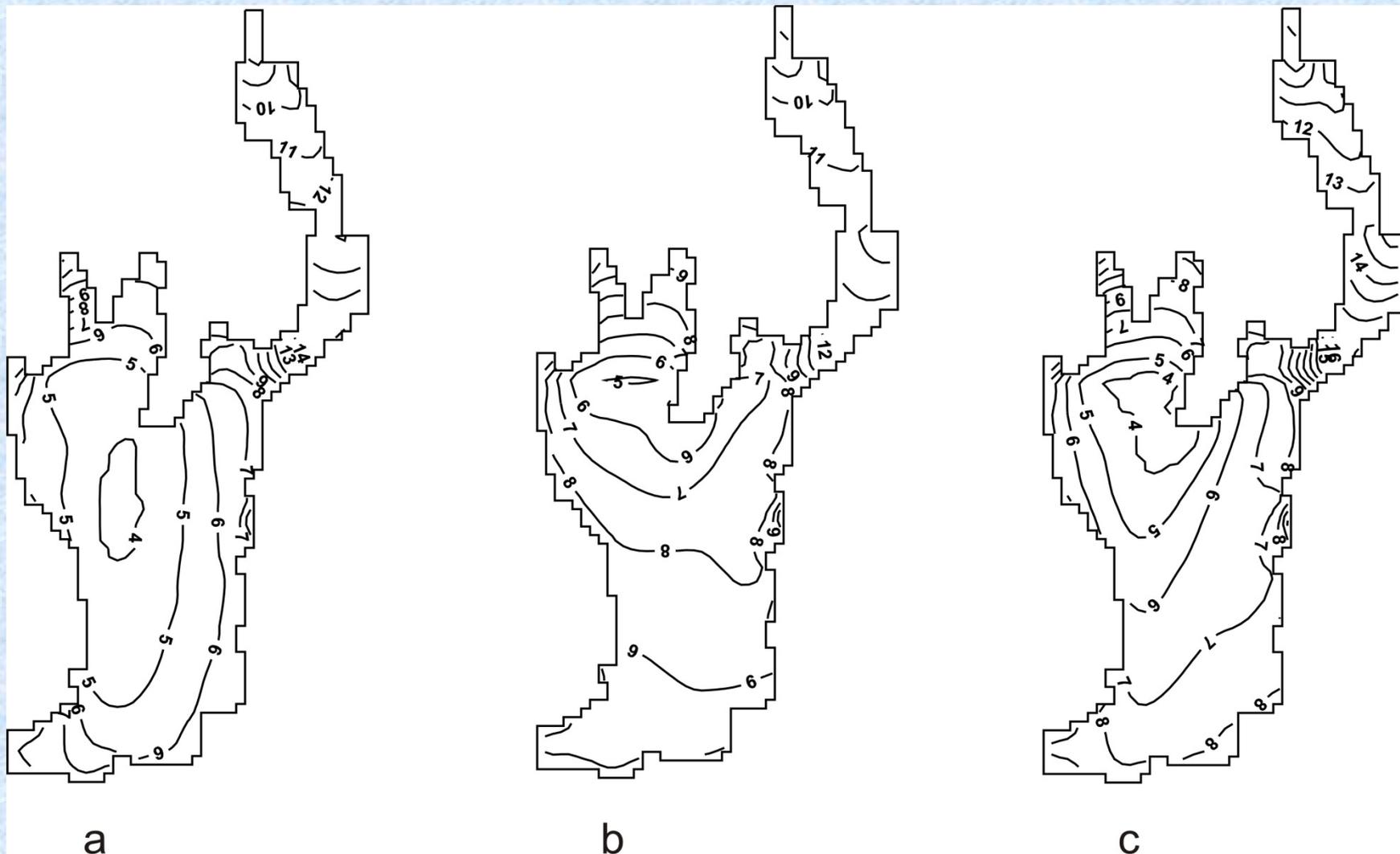
а)



б)

Изотермы на поверхности озера 15.06
а) – климатический год, б) – теплый год
(результаты моделирования)

Распределение температуры воды на 15 июня а) климатическая ,
б) теплая , с) теплая с повышенным притоком



Некоторые характеристики изменения температурного режима режима Онежского озера

Наблюдаемое явление	По данным наблюдений	Результаты моделирования	
		климат. год	теплый год
Исчезновение ледового покрова	18 мая	28 мая	16 мая
Появление на поверхности изотермы 4°C	10-25 мая	18 мая	29 апреля
Конец гидрологической весны	20-25 июня	13 июня	10 июня
Толщина верхнего перемешанного слоя поздним летом	20-25 м	25-50 м	35 – 45 м
Появление на поверхности изотермы 4°C	конец октября – начало оября	2 ноября	17 ноября
Исчезновение на поверхности изотермы 4°C	середина декабря	12 декабря	8 января
Установление полного ледового покрова	18 января	28 января	4 марта

- Перечислим ряд отличий теплой циркуляции от климатической по результатам моделирования:**
- весной вертикальная гомотермия исчезает на 10 дней раньше;
 - термический бар, если судить по появлению на поверхности изотермы 4°C, возникает на 20 дней раньше;
 - к концу июня в поперечном разрезе озера изотерма 4°C расположена значительно ниже;
 - осенний термический бар для теплой циркуляции в результатах расчетов не обнаружен;
 - скорость образования ледового покрова максимальна в первой половине февраля, тогда как для климатической циркуляции это явление наблюдается в конце декабря – начале января.

ИЗМЕНЕНИЯ ТЕРМОГИДРОДИНАМИКИ ПРИ ПОТЕПЛЕНИИ:

- Стратификация весной наступает на 10 дней раньше;
- Термобар формируется на 15- 20 дней раньше;
- Ледяной покров формируется на Ладоге только в первой половине февраля, в то время как при норме – в конце декабря – начале января.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ:

- По измерениям и моделированию доминирует крупномасштабная циклоническая циркуляция с антициклоническими вихрями, особенности которых зависят от батиметрии.
- Зимой циркуляция вод слабее, чем в навигационный период из-за ледяного покрова.
- При потеплении климата и уменьшении площади ледяного покрова, усилении воздействия ветра на акваторию возрастают скорости течений, при дальнейшем потеплении климата возможно формирование циркуляции вод как в Американских великих озерах (Schwab and Beletsky (2008)).

3-D MODEL OF LAKE LADOGA PHYTOPLANKTON SUCCESSION:

P – mineral dissolved phosphorus ($\mu\text{gP}\cdot\text{l}^{-1}$);

9 complexes (Ph1, Ph2, ..., Ph9) to represent plankton community

4 diatoms:

Aulacosira islandica, *Asterionella Formosa*,
Diatoma elongatum, *Fragilaria crotonensis*;

yellow-green – *Tribonema affine*;

four blue-greens – *Oscillatoria tenuis*, *Aphanizomenon flos-aquae*,
Microcystis aeruginosa, *Woronichinia naegelian*.

Z – zooplankton ($\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$),

DP – detrital phosphorus ($\mu\text{gP}\cdot\text{l}^{-1}$),

DOP – dissolved organic matter,

OX – dissolved oxygen ($\text{mg}\cdot\text{OX}\ \text{l}^{-1}$).

The model reproduces:

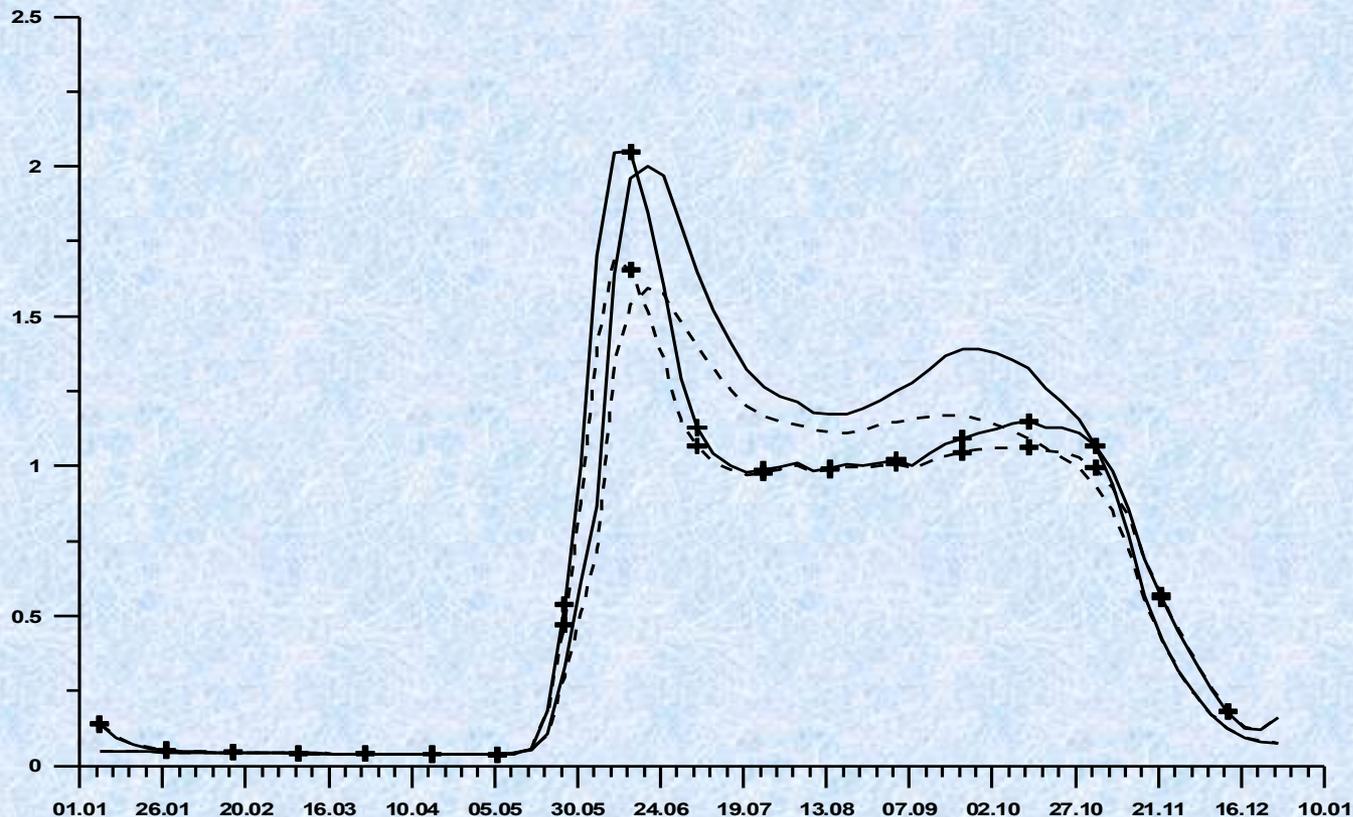
– the transfer of substances by currents;

– turbulent diffusion and sedimentation (for detritus and dissolved P being sorbed on particles of suspended matter);

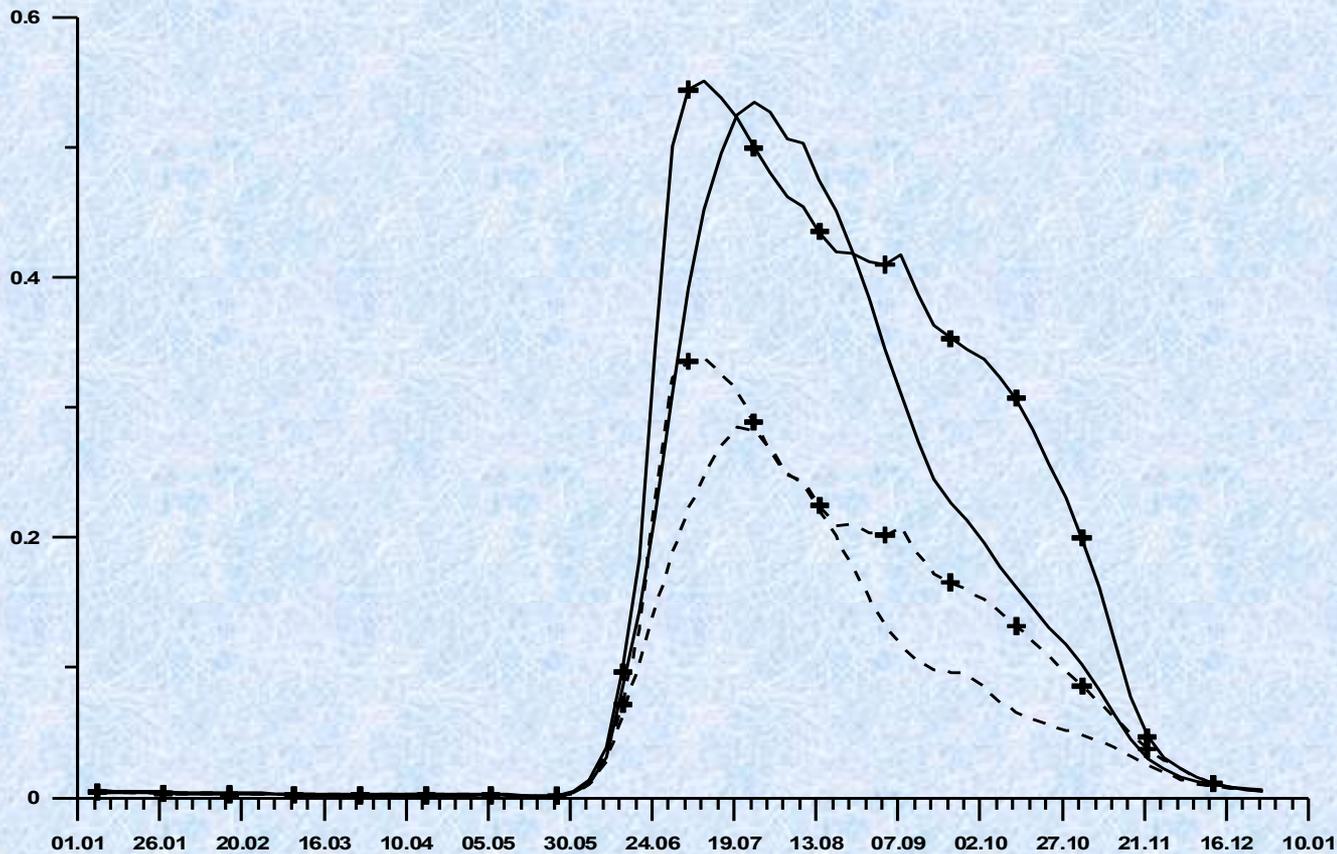
– transformation of organic components

(phyto- and zooplankton, detritus and DOP), dissolved mineral P and O_2 ,

– O_2 exchange through the water-atmosphere interface.



Фитопланктон в эпилимнионе Онеги (мг/л) для климатической циркуляции при нагрузках: сплошная линия – 1003 тР/год, 17739 тN/год; пунктирная линия – 786 тР/год, 15051 т N/год, линии с + для случая теплой циркуляции при тех же нагрузках.



Зоопланктон в эпилимнионе Онеги (мг/л) для климатической циркуляции при нагрузках: сплошная линия – 1003 тР/год, 17739 тN/год; пунктирная линия – 786 тР/год, 15051 тN/год, линии с + для случая теплой циркуляции при тех же нагрузках.

АССИМИЛЯЦИОННЫЙ ПОТЕНЦИАЛ (АП) ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ.

АП природной среды – это её самовосстановительная способность по отношению к поступлению в природную среду вещества и энергии в результате хозяйственной деятельности. Фактически АП является свойством экологических систем «сопротивляться» внешним воздействиям.

Термин АП как природный ресурс в литературе эколого-экономической тематики появился в работах сотрудников Института проблем рынка РАН (Гофман, Гусев, Рюмина и др. 1995, 1997).

Количественные оценки ассимиляционного потенциала Ладожского и Онежского озер:

**для Ладожского озера оценка АП по сбросу
фосфора – 2500 т P total/ год;**

**для Онежского озера оценка АП по сбросу
фосфора – 800 т P total/ год и по сбросу азота –
15000 т P total/ год.**

II. Установление основных параметров, определяющих регламенты водопользования Экономическая оценка АП

Экономическая оценка АП для каждого ЗВ и Б находится отдельно как минимальный размер платежа за сброс 1 т ЗВ и Б, при котором суммарное поступление данного вещества в водоем в результате хозяйственной деятельности предприятий-водопользователей на территории водосбора не превысит количественной оценки АП.

III. Создание интегрированных систем управления водопользованием

Одной из первых для Северо-Запада России была создана СППР для водной системы

Ладожское озеро-река Нева- Невская губа-Финский залив.

Подробно СППР представлена в двух монографиях, соавторами которых являются участники данного доклада:

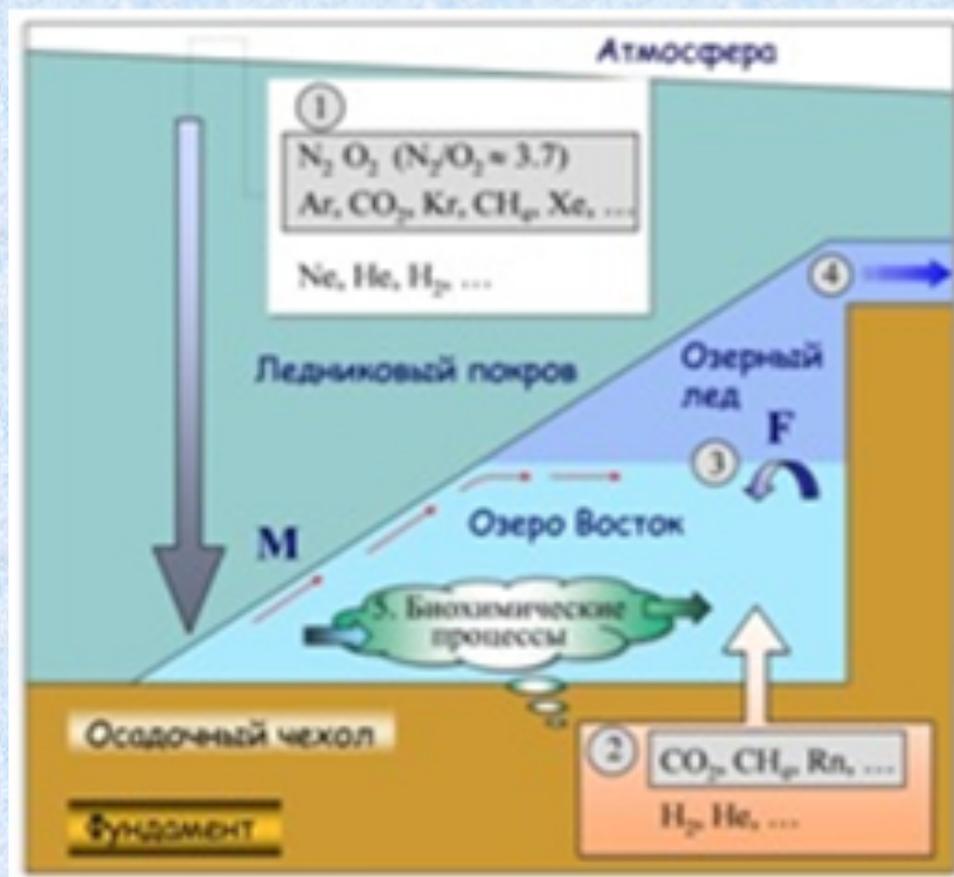
1. Алимов А.Ф., Астраханцев Г.П., Меншуткин В.В., Руховец Л.А., Степанов М.М., Семенцов В.И. и др. Невская губа – опыт моделирования // Монография под ред. Меншуткина В.В. - СПб.: Vorey Print, 1997г., 375с. (грант РФФИ № 95-04-28656).
2. Интегрированное управление водными ресурсами Санкт-Петербурга и Ленинградской области. Опыт создания системы поддержки принятия решений //Монография под ред. Алимова А.Ф., Руховца Л.А., Степанова М.М. - СПб.: Vorey Print, 2001г., 420с. (грант РФФИ № 00-05-78036)
- 3.Интегрированное управление водными ресурсами: математические модели и информационные технологии.Препринт// Под ред.Л.А. Руховца. СПб: СПб ЭМИ РАН.2007.-62с.(грант РФФИ N 06-06-08008_офи)

НЕКОТОРЫЕ ВЫВОДЫ ПО ОЦЕНКЕ ОТКЛИКА ЭКОСИСТЕМ ОЗЕР НА ИЗМЕНЕНИЕ КЛИМАТА И АНТРОПОГЕННЫХ ВОЗДЕЙСТВИЯ

- Оценки возможных изменений гидротермодинамического режима и реакции экосистемы на изменения климата показывают, что к середине 21-го века воздействие потепления на экосистему озер будет незначительным.
- При потеплении климата отмечается снижение биомассы фитопланктона, в основном, относящееся к осеннему периоду, что объясняется тем, что водоросль *Aulacosira islandica* развивается только при температуре воды, не превышающей 8 °С, а эта водоросль дает главный вклад в биомассу фитопланктона весной и осенью.
- Важным следствием проведенных экспериментов является то, что антропогенный пресс является основным фактором, определяющим состояние экосистемы и качество воды в озерах.
- В будущем в при условии снижения антропогенной нагрузки роль климатических факторов в формировании динамики экосистем озер может оказаться более существенной.

Проблема сохранения водных ресурсов планеты гораздо более актуальна, чем проблема обеспечения углеводородами. Водные ресурсы больших стратифицированных озер в особенности нуждаются в защите, т. к. нарушение устойчивости их экосистем может иметь долговременные и дорогостоящие отрицательные последствия.

ОЗЕРО ВОСТОК



Определение основных термодинамических параметров воды озера

Оценка общей минерализации воды и уточнение схемы циркуляции
Проверка гидродинамической модели циркуляции

Проверка гипотезы об изолированности озера
х-ка газового режима и степени перемешивания воды, оценка возраста озера (?)
Оценка биогеохимического потенциала озёрной воды

Из доклада академика В.М. Котлякова

Некоторые публикации авторов :

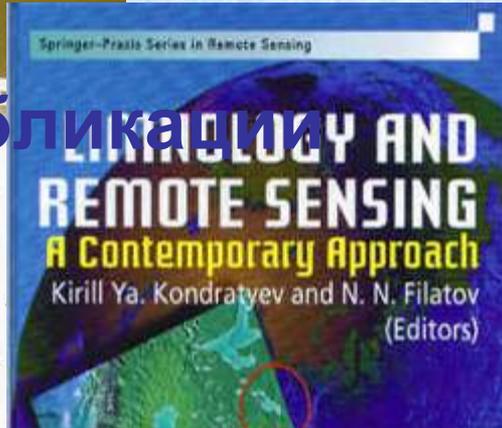
- Ladoga and Onego - great European lakes. Observations and Modelling. Ed. L. Rukhovets, N. Filatov. Springer-Praxis. 2010. 302 p.
- Астраханцев Г.П., Меншуткин В.В., Петрова Н.А., Руховец Л.А. 2003 Моделирование экосистем больших стратифицированных озер. Под ред. Л.А. Руховца / Санкт-Петербург: Наука, 364 с.
- Руховец Л.А., Гусева В.Н., Астраханцев Г.П., Минина Т.Р., Полосков В.Н. 2007. Использование рыночных механизмов сохранения водных ресурсов Великих озер Европы// Экономико-математические исследования: матем. модели и информ. технологии. VI. СПб: Нестор-история.- с.294-309.
- Ladoga and Onego – Great European Lakes: Observations and Modeling. 2010 // Ed. by Leonid Rukhovets & Nikolai Filatov. Chichester UK: Springer-Praxis Publishing, 317pp.
- Л. А. Руховец, Н. А. Петрова, В. В. Меншуткин, Г. П. Астраханцев, Т. Р. Минина, В. Н. Полосков, Т. Н. Петрова, О. М. Сусарева. 2011. Исследование реакции экосистемы Ладожского озера на снижение фосфорной нагрузки // Водные ресурсы, том 38, № 6, с. 740–752
- Разработка экспертной системы «Озера Карелии». Меншуткин В.В., Филатов Н.Н., М.С.Потахин Часть 1. Порядковые и номинальные характеристики озер. Водные ресурсы. 2009г. Т. 36, №2. СС. 160-171.

Н.Н. ФИЛАТОВ

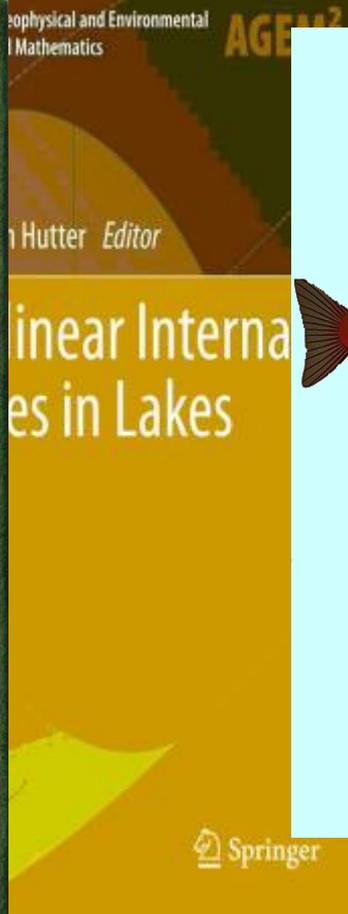
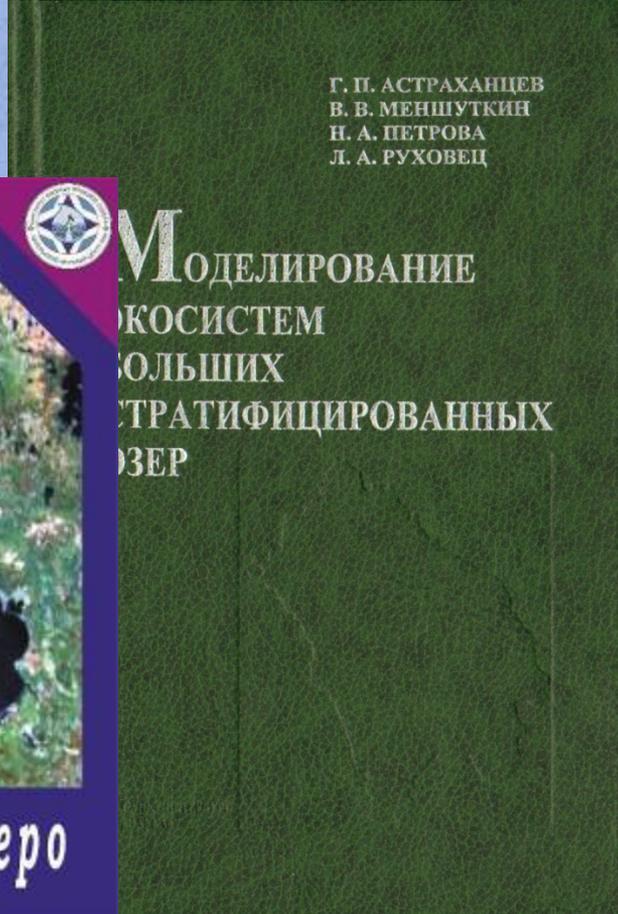
ГИДРОДИНАМИКА
ОЗЕР

Публикации

БОЛЬШОЕ ОЗЕРО
КАК
ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ
ОКЕАНА



LADOGA AND ONEGO
GREAT EUROPEAN LAKES
Observations and Modelling
Leonid Rukhovets • Nikolai Filatov
Editors



Географический атлас



Онежское озеро

Спасибо за внимание!

