

ДИНАМИКА ПОЛЕЙ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ ВЕЛИЧИН В СЕВЕРНОЙ ПОЛЯРНОЙ ОБЛАСТИ ВО ВТОРОЙ ПОЛОВИНЕ XX СТОЛЕТИЯ

Дюкарев Е.А., Ипполитов И.И., Логинов С.В.

*Институт мониторинга климатических и экологических систем СО РАН,
пр.Академический 10/3, Томск, Россия, 634021, e-mail: egor@imces.ru*

Исследуются особенности изменений климата в Северной полярной области во второй половине XX столетия по данным NCAR/NCEP реанализа. Построены карты распределения среднемесячных значений и величин линейных трендов температуры воздуха, высоты геопотенциальных поверхностей, скоростей зональной и меридиональной составляющих ветра для стандартных изобарических поверхностей 1000, 850, 500, 200, 100 and 10 гПа. Для периода 1948-2005 гг. вычислены зональный и меридиональный индексы атмосферной циркуляции. На уровне 500 гПа в Северной полярной области преобладает западный перенос воздушных масс. Наиболее интенсивный межширотный обмен наблюдается в Атлантическом (40-60° з.д.) и Американском (80-120° з.д.) секторах.

Происходящее в течение XX века последовательное крупномасштабное потепление поверхности материков и океанов имеет максимальные темпы роста температуры в средних и высоких широтах материков северного полушария [1]. Пространственно временная структура изменчивости температуры воздуха, как у земной поверхности, так и во всей толще атмосферы в Северном полушарии имеет сложный характер [2].

В настоящей работе анализируются особенности современных измерений климата Северного полушария. Объектом исследования является Северная полярная зона Земли ($\geq 60^\circ$ с.ш.). Исходными материалами для анализа служили данные реанализа NCEP/NCAR первой версии, за 1948-2004 гг на стандартных изобарических поверхностях 1000, 850, 500, 200, 100 и 10 гПа. Динамика полей температуры, высоты геопотенциальных поверхностей и скоростей зональной и меридиональной компонент горизонтального ветра в исследуемой области представлена распределением средних многолетних значений исследуемых характеристик и их линейных трендов в узлах сетки реанализа NCEP/NCAR вычисленных для каждого месяца и для года в целом.

Среднегодовая температура приземного воздуха имеет четко выраженный зональный ход с понижением температуры к полюсу (Рис.1). Зональное распределение температуры немного нарушается в Атлантико-Европейском регионе, где располагается более теплая область и в Сибирском секторе, в районе полюса холода. В районе Гренландии располагается температурная аномалия с понижением среднегодовой температуры над островом до -24°C . В зимнее время минимум температуры приходится на районы Средней Сибири (полюс холода) и центр Гренландии ($T_{\text{января}} < -25^\circ\text{C}$). Температура июля отрицательная практически на всей территории Гренландии. Максимальные температуры $T_{\text{июля}} > 16^\circ\text{C}$ приходятся на южные районы Евразии ($< 60^\circ$ с.ш.) и юг Восточной Сибири. Температурное поле в районе Северного Ледовитого океана практически однородное $T_{\text{июля}} = 1^\circ\text{C}$.

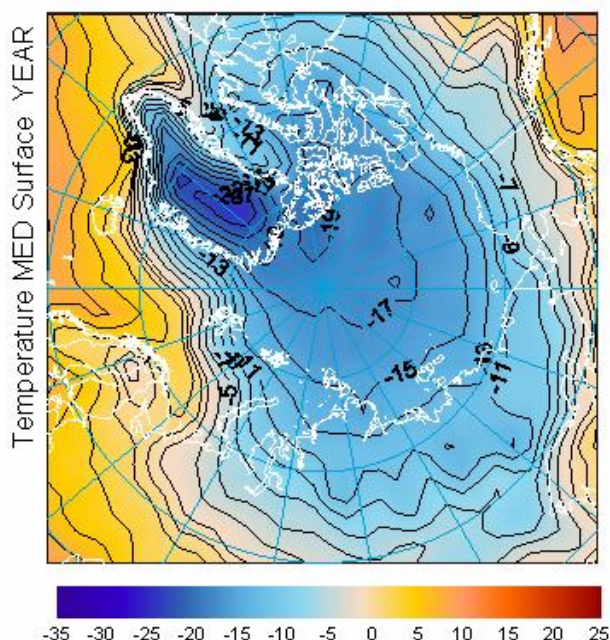
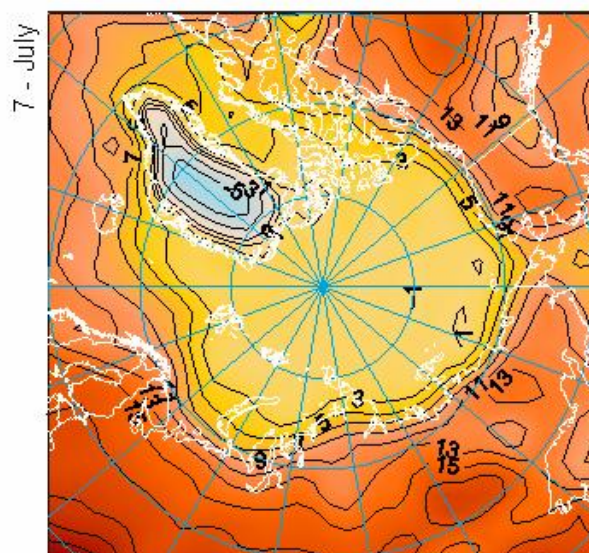
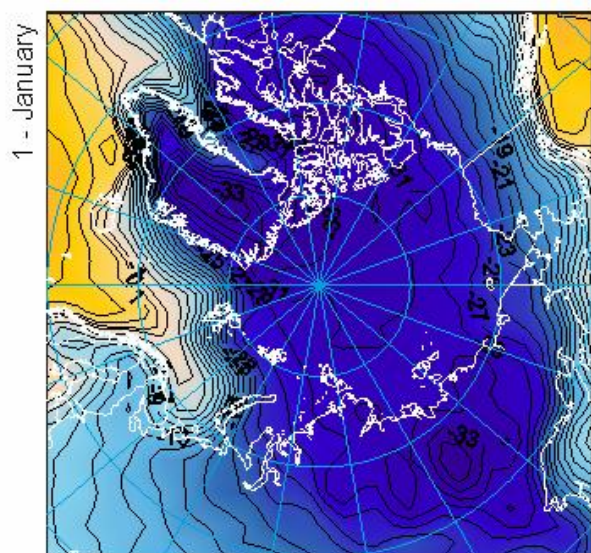


Рис.1. Средняя температура января (а), июля (б) и среднегодовая (в) температура воздуха (°C) в приземном слое за период 1948-2005 гг.

Линейный тренд среднегодовой температуры приземного воздуха (Рис.2) на территории Северной полярной области колеблется в пределах от -0.2 до 1 °C/ 10 лет. Вокруг Северного полюса располагается область интенсивного потепления с темпами роста температуры до 0.4 °C /10 лет. В районе Канадского арктического архипелага находится область максимального роста среднегодовой температуры – с линейным трендом температуры до 1 °C/10 лет. Сильнее всего температура приземного воздуха растет в зимние месяцы – с октября по март. Пятна наиболее интенсивного потепления привязаны к крупным островам Северного Ледовитого океана. В декабре-феврале в районе Канадского арктического архипелага и в районе Шпицбергена – Новой Земли во второй половине XX века происходило увеличение температуры со скоростью до 1.6 °C/10 лет. В полярной области есть районы, где несмотря на общее потепление температура воздуха снижается, например, в декабре-марте на западном побережье Гренландии происходит уменьшение среднемесячных температур со скоростью до 0.5 °C/10 лет. Согласно полученным данным, в зимние месяцы над территориями Атлантики, Баренцева моря, Дальнего Востока, Средней и Восточной Сибири температура приземного воздуха падает с темпами до 0.2 °C /10 лет. В летние месяцы, на картах распределения линейного тренда температуры, области роста и снижения температуры перемежаются.

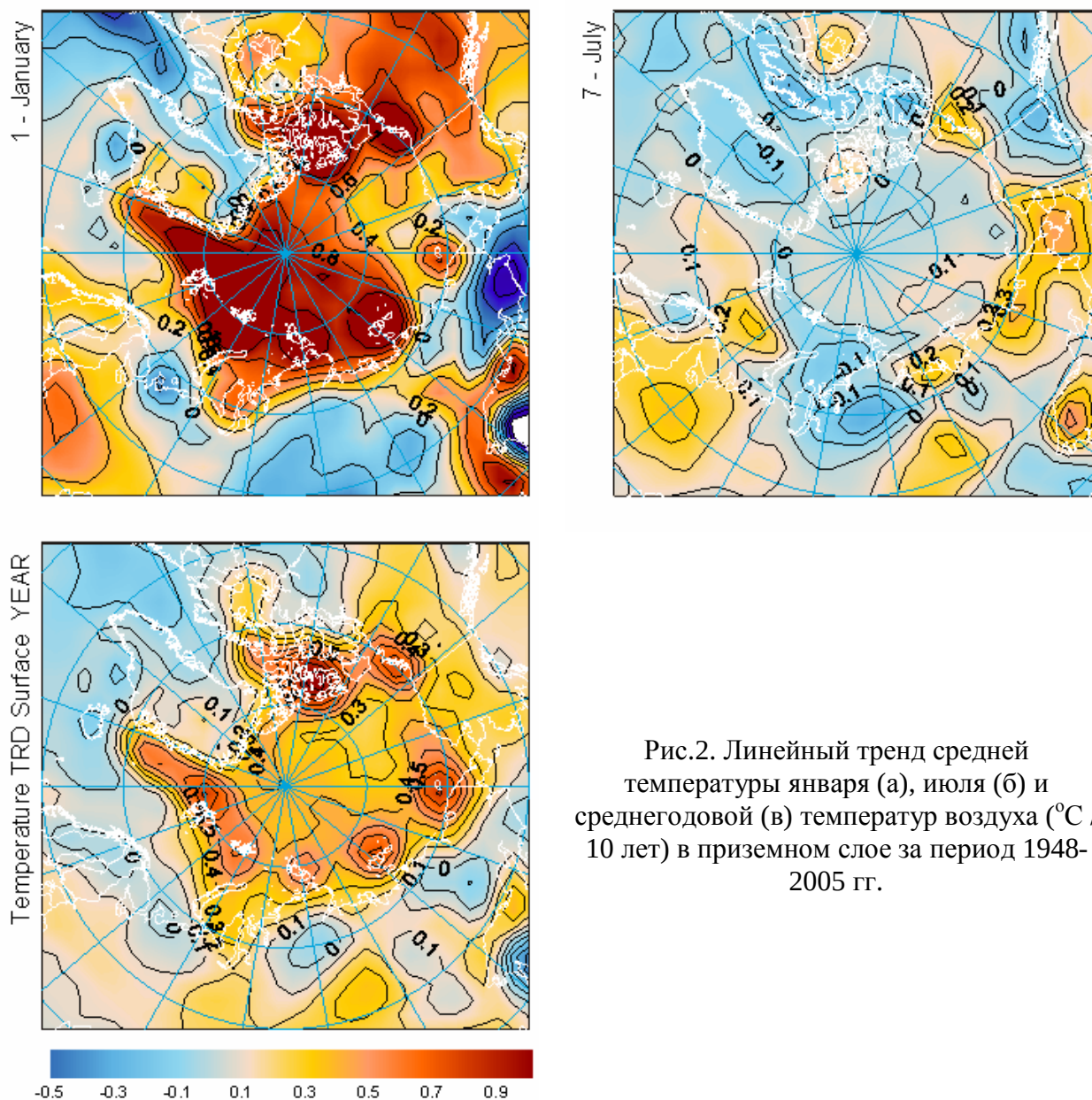
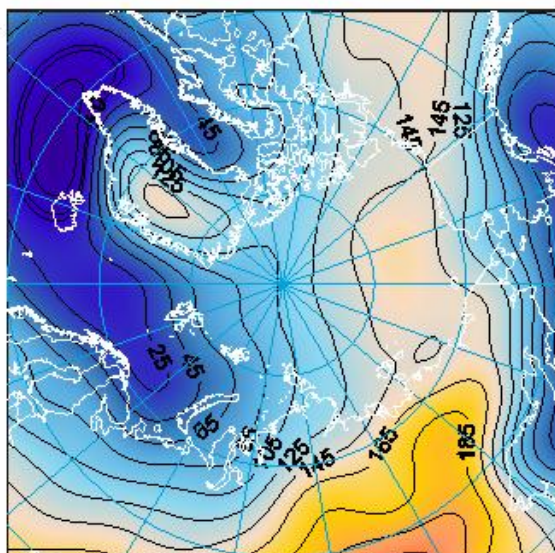


Рис.2. Линейный тренд средней температуры января (а), июля (б) и среднегодовой (в) температур воздуха ($^{\circ}\text{C} / 10$ лет) в приземном слое за период 1948-2005 гг.

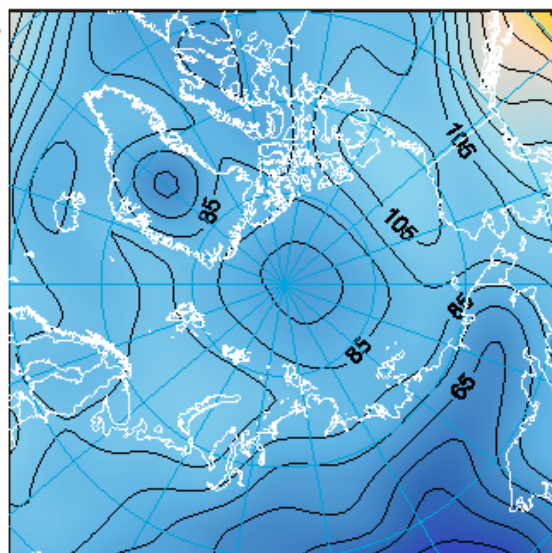
На картах высоты геопотенциала на уровне 1000 гПа (Рис.3.) хорошо видны перманентные центры действия атмосферы северного полушария: Гренландский максимум, Исландский минимум, Азиатский максимум давления и область повышенного давления на севере Аляски (море Бофорта). Наиболее интенсивно эти центры действия проявляются в холодное время года (с сентября по март).

В целом, в полярной области происходит снижение высоты геопотенциала 1000 гПа со скоростью до 3 м / 10 лет, что примерно соответствует падению атмосферного давления 1.5 гПа / 10 лет (Рис.4.). В районе западного побережья Канады и Восточной Сибири находятся области высоты геопотенциала, и соответственно, увеличения атмосферного давления. На среднемесячных картах распределения линейных трендов геопотенциальной высоты видна пятнистая структура, в которой чередуются области увеличения и снижения высоты. В летние месяцы в районе полюса есть тенденция к снижению высоты поверхности в 100 гПа со скоростью до 7 м / 10 лет и ее роста на остальной части приполярной области. В зимний сезон давление падает на всей территории, за исключением области роста давления в Восточной Сибири в январе. В октябре месяце давление растет во всей полярной области.

1 - January



7 - July



Geopotential MED 1000 hPa YEAR

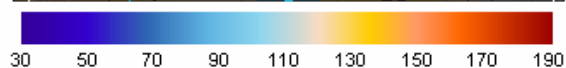
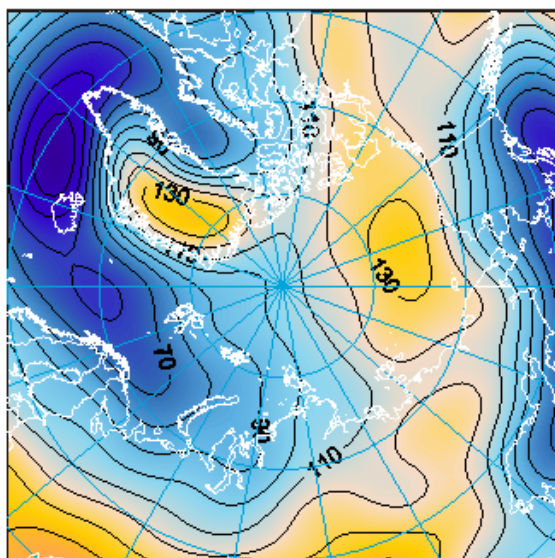
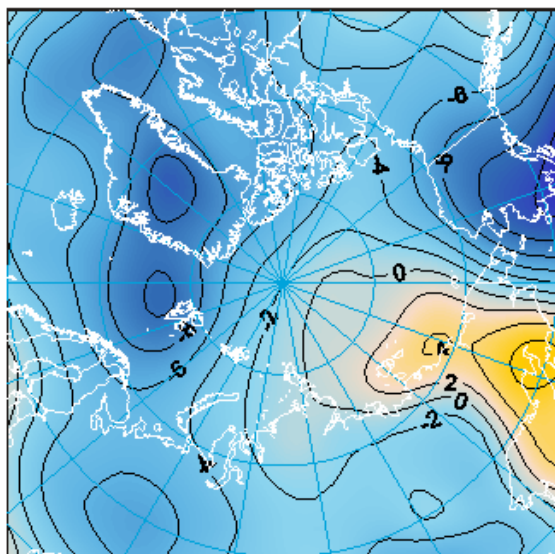
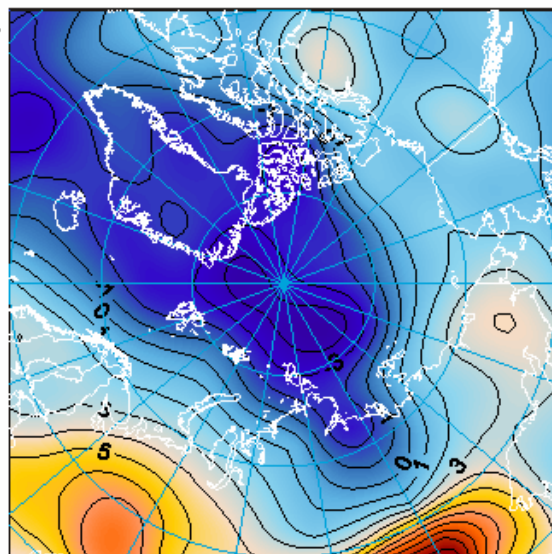


Рис.3. Средняя высота (м)
геопотенциальной поверхности 1000 гПа
января (а), июля (б) и среднегодовое
значение (в) за период 1948-2005 гг.

1 - January



7 - July



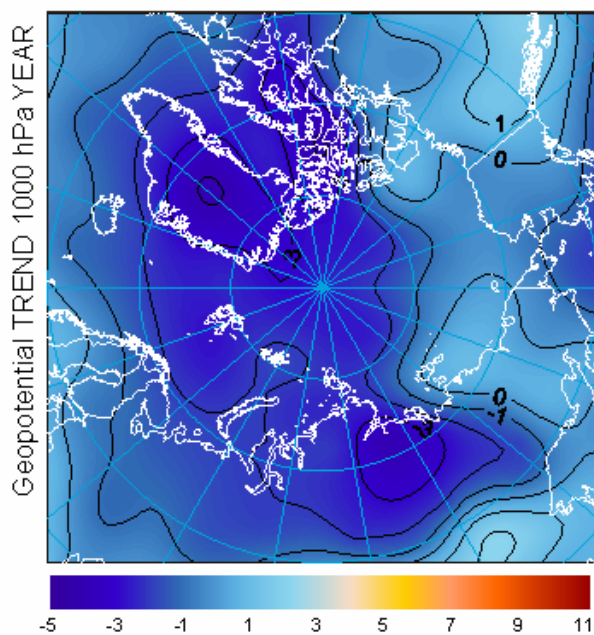
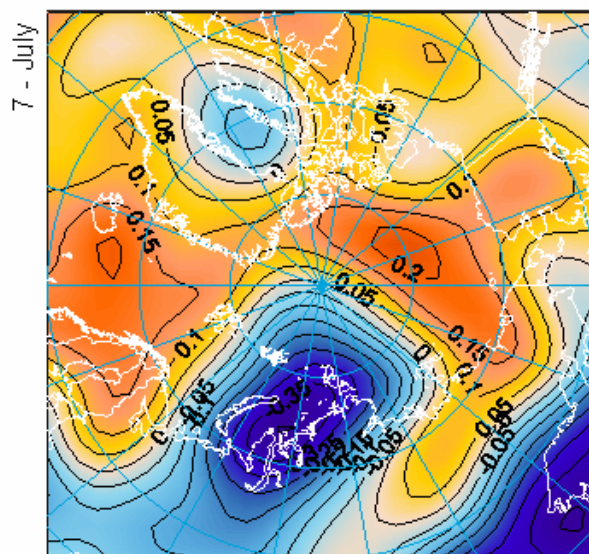
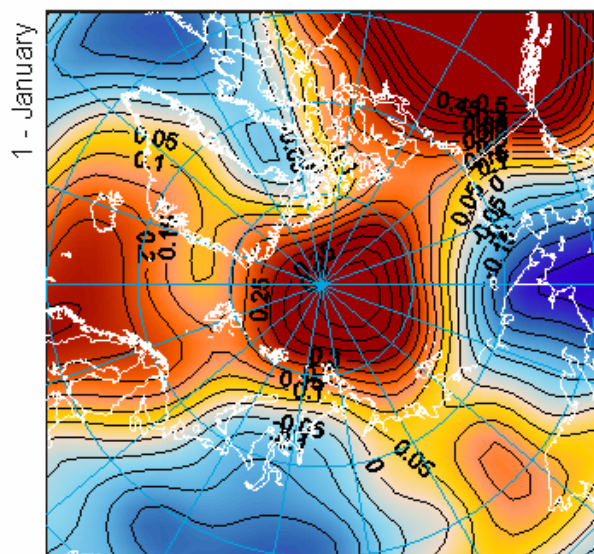


Рис.4. Линейный тренд высоты (м / 10 лет) геопотенциальной поверхности 1000 гПа января (а), июля (б) и среднегодового значения (в) за период 1948-2005 гг.

На картах распределения средних месячных зональной и меридиональной составляющих ветра на уровне 1000 гПа хорошо выделяются основные центры действия атмосферы. Наиболее сильные ветра располагаются вокруг Гренландского антициклона.

На уровне 500 гПа среднегодовая температура воздуха имеет зональное распределение. Изолинии температуры располагаются по эллипсам, с центром в районе Северного полюса, вытянутого в направлении Канадский архипелаг – Средняя Сибирь. Среднегодовая температура по территории меняется от -25°C в районе 60° с.ш. до -35°C в районе полюса. Темпы изменения среднегодовой температуры воздуха незначительны и не превышают $0.2^{\circ}\text{C} / 10$ лет в Тихоокеанском, Американском и Атлантическом секторах (Рис.5.). Над территорией Евразии температура снижается со скоростью до $0.2^{\circ}\text{C} / 10$ лет. На картах линейного тренда среднемесячных температур воздуха в зимние месяцы наблюдается увеличение температуры воздуха в районе Северного полюса, Аляски и Атлантики и снижение температур над Евразией, Дальним Востоком и восточным побережьем Северной Америки.



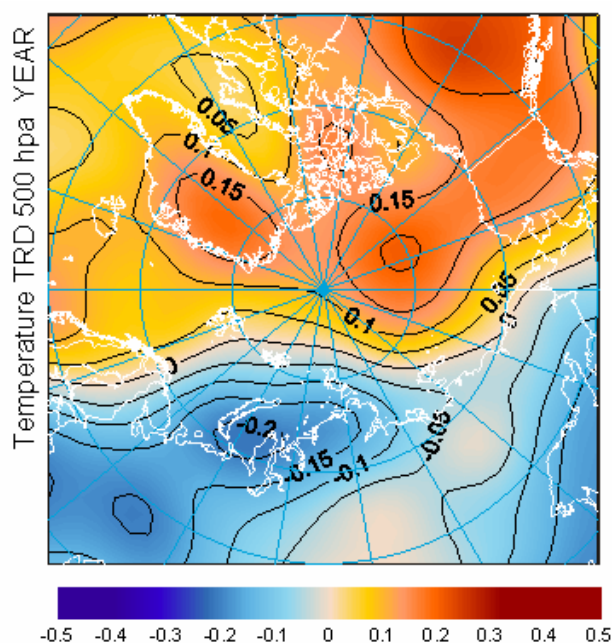


Рис.5. Линейный тренд средней температуры января (а), июля (б) и среднегодовой (в) температур воздуха ($^{\circ}\text{C} / 10$ лет) на уровне 500 гПа за период 1948-2005 гг.

Минимум высоты геопотенциала 500 гПа приходится на район Северного Полюса, с удалением от полюса давление возрастает. Подобная структура сохраняется во все месяцы года. Изменяется только высота геопотенциала в среднем по территории. Минимум высоты приходится на зимние месяцы (5100 м) и максимум в летние месяцы (5700 м). Пространственная картина распределения линейных трендов изменения высоты геопотенциала на уровне 500 мб имеет сложный характер. Из наиболее интенсивных явлений отметим рост давления в октябре – феврале в Американском секторе и снижение давления в мае-сентябре в районе полюса. Снижение давления в октябре-феврале в районе Новой Земли, Западной Сибири и рост давления в марте в том же районе. В январе-марте происходит снижение давления в районе Гренландского максимума и Исландского минимума.

Среднегодовая температура воздуха в стратосфере на **высоте 10 гПа** имеет минимум в районе Атлантики (-53°C) и максимум над Восточной Сибирью (-42°C). На данном уровне темпы потепления достигают $1.7^{\circ}\text{C}/10$ лет. Наиболее сильно среднегодовая температура увеличивается в районе полюса (Рис.6.). В мае-августе наиболее теплый район находится над Гренландией (-27°C). Максимальные темпы роста температуры приходятся на декабрь – июнь. В ноябре температура снижается над всей Азией со скоростью до $2^{\circ}\text{C}/10$ лет.

Среднегодовая высота геопотенциала 10 гПа имеет минимум над Шпицбергом (30000 м) (Рис.7.). Стратосферный циркумполярный вихрь, определяемый как регион где находятся наиболее сильные градиенты высоты геопотенциала в полярной области [3] существует в атмосфере в зимние месяцы и не наблюдается в апреле – сентябре. Летом (июль-август) в районе полюса располагается область повышенного давления.

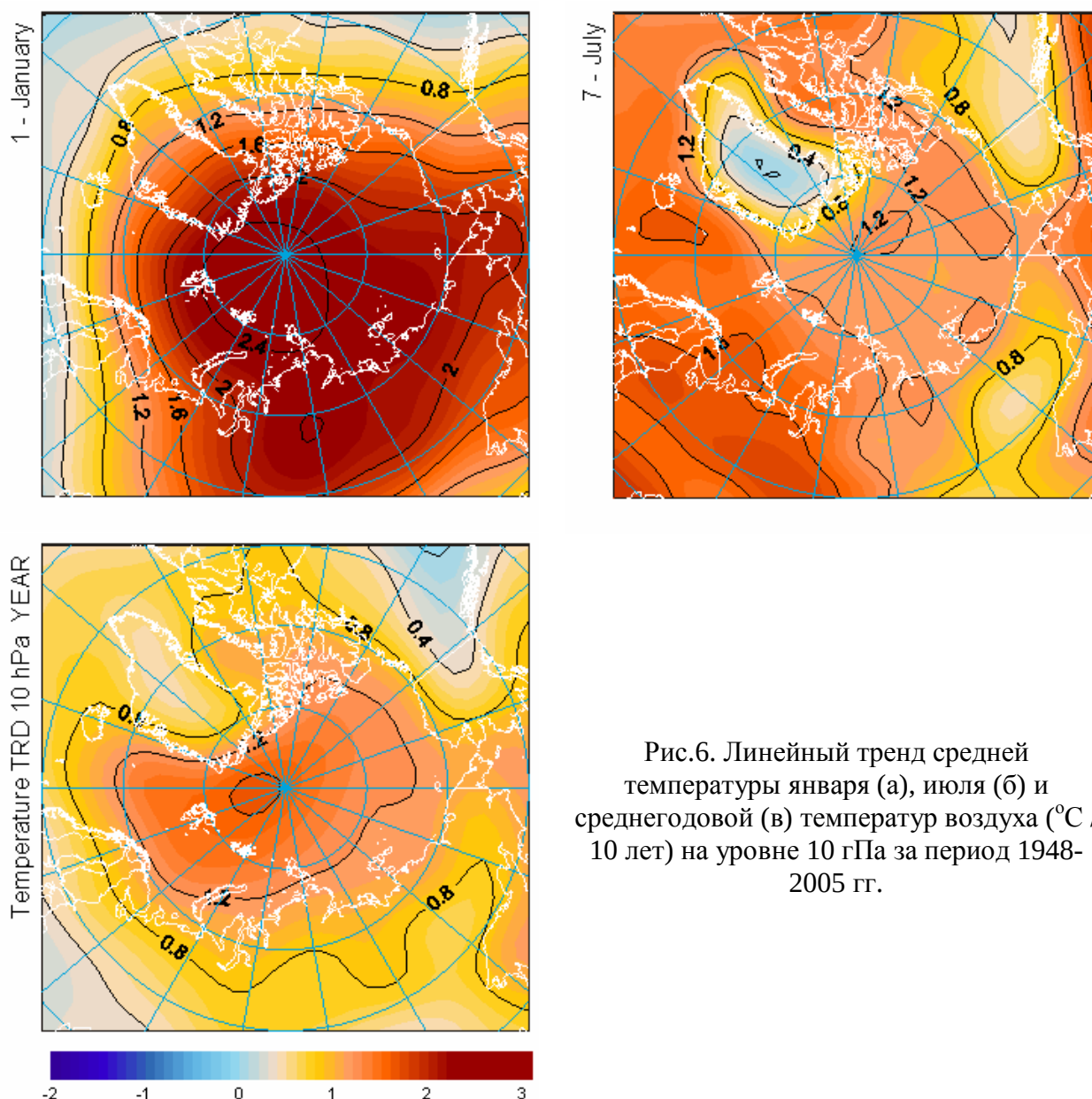


Рис.6. Линейный тренд средней температуры января (а), июля (б) и среднегодовой (в) температур воздуха ($^{\circ}\text{C} / 10$ лет) на уровне 10 гПа за период 1948-2005 гг.

С наступлением полярной ночи в высоких и умеренных широтах на поверхности 10 гПа устанавливается характерный для зимнего периода западный перенос [4]. Это вызвано тем, что в нижней стратосфере Арктики летом преобладает рост температуры с высотой и в районе полюса образуется обширная область тепла, наличие которой приводит к подъему изобарических поверхностей и формированию стратосферного антициклона. В начале сентября уже отмечаются случаи падения температуры с высотой а в конце месяца такое распределение становится преобладающим. Преобладающее падение температуры с высотой может продолжаться с октября по февраль или март, когда оно сменяется летним распределением, т.е. ростом температуры с высотой. Чем больше возмущение стратосферной циркуляции в конце зимы, тем раньше происходит формирование стратосферного антициклона.

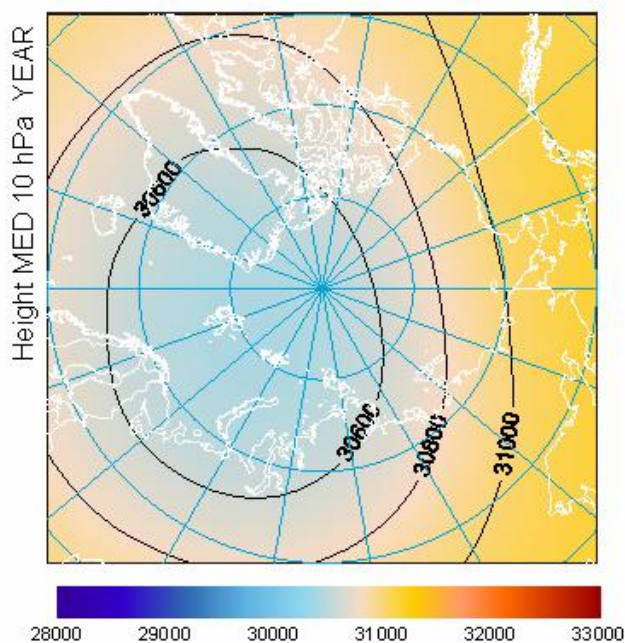
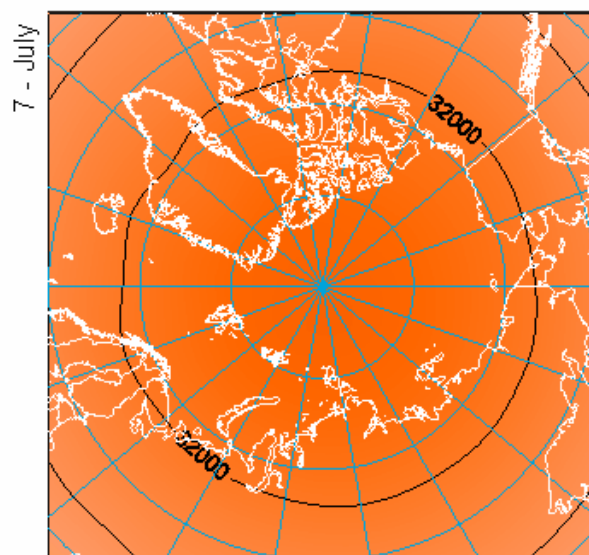
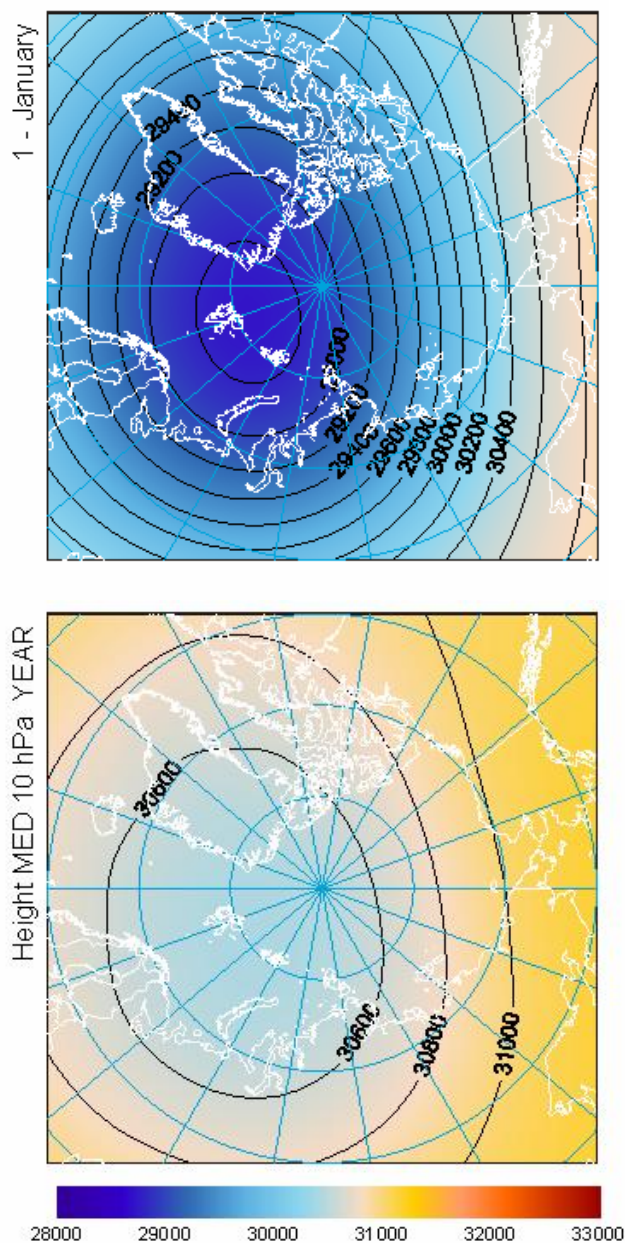


Рис.7. Средняя высота (м) геопотенциальной поверхности 10 гПа января (а), июля (б) и среднегодовое значение (в) за период 1948-2005 гг.

Анализ карт линейного тренда высоты геопотенциала на уровне 10 гПа показал, что в последние 50 лет происходит смещение стратосферного вихря в зимние месяцы в сторону атлантического сектора (Рис.8.). Об этом свидетельствует увеличение давления в декабре-марте над Американским и Тихоокеанским секторами и снижение давления в районе Атлантики и Европы. В ноябре давление в полярной области снижается. Центр снижения давления находится над Средней Сибирью, где темпы изменения высоты достигают 130м / 10 лет.

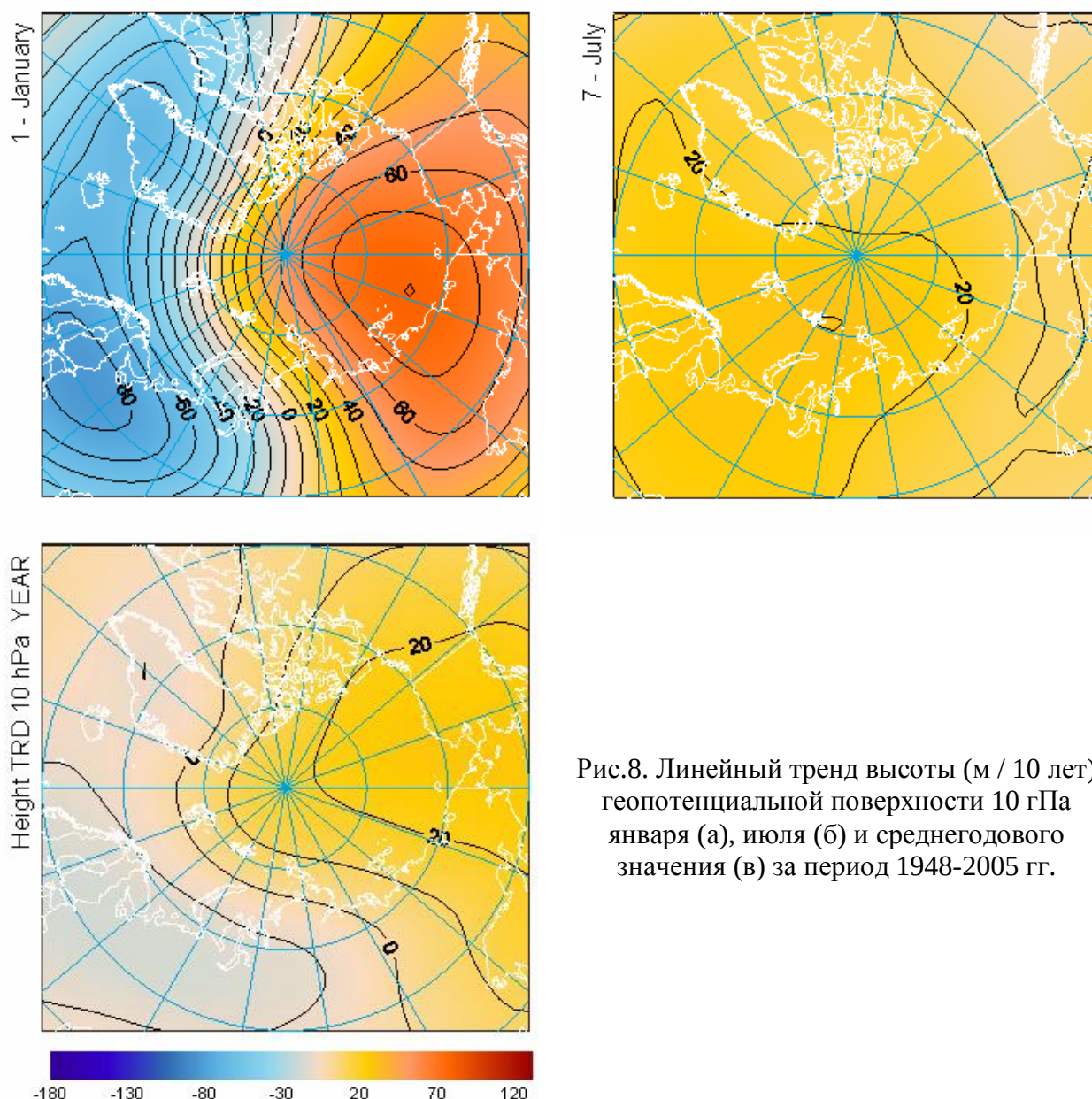


Рис.8. Линейный тренд высоты (м / 10 лет) геопотенциальной поверхности 10 гПа января (а), июля (б) и среднегодового значения (в) за период 1948-2005 гг.

Для описания динамики атмосферной циркуляции использованы зональный и меридиональный индексы циркуляции [5]. Скорости зональных и меридиональных перемещений воздушных масс над тем или иным географическим районом являются физической мерой, чувствительной к любым изменениям в общей картине циркуляции атмосферы. Целью настоящих исследований является анализ зональной и меридиональной составляющей скорости ветра над Северной полярной областью за период с 1948-2004 гг. на уровнях от 1000 до 10 гПа.

Для изучения особенностей проявления глобальной циркуляции атмосферы над районами Сибири по данным реанализа NCEP/NCAR были вычислены:

Циркуляция скорости зональной составляющей ветра вдоль отрезка широты (l_j) для всех широт от 60° с.ш. до 90° с.ш. Расчет проводился для изобарических поверхностей 1000, 500 и 10 гПа.

$$L_f = \int_{l_1}^{l_2} U(f) dl_f \approx \sum_{l_1}^{l_2} U \cdot dl$$

Индекс L_ϕ представляет собой суммарный ветер в восточном (западном) направлении вдоль широты ϕ , или интенсивность западного переноса на определенной широте. $d\lambda$ - шаг суммирования по долготе равен 2.5 градуса.

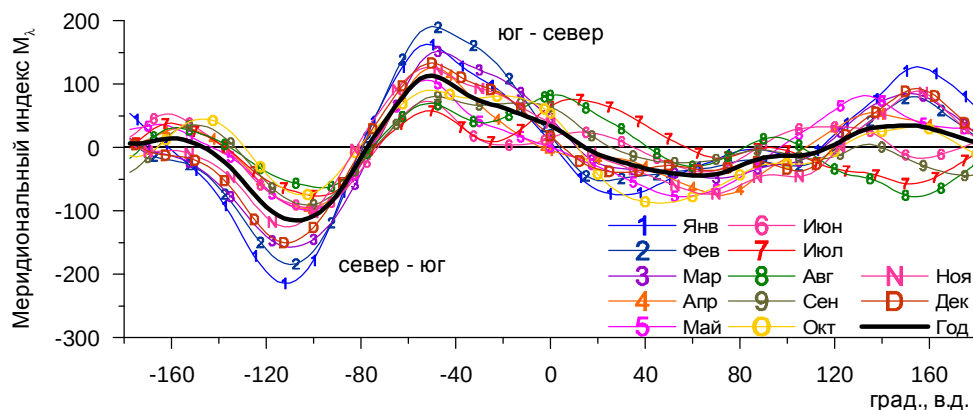
Циркуляция скорости меридиональной (V) составляющей ветра.

$$M_l = \int_{f_1}^{f_2} V(l) dl_l \approx \sum_{f_1}^{f_2} V \cdot df$$

Индекс M_λ характеризует суммарный ветер в направлении север-юг на определенной долготе, или интенсивность южного переноса вдоль определенной долготы. $d\phi$ - шаг по широте, равен 2.5 градуса.

На уровне 1000 гПа индекс меридиональной циркуляции показывает существование Гренландского и Азиатского антициклонов, Исландского минимума. В районе 40-60° з.д. наблюдается самый интенсивный для всех долгот южный перенос, а в районе 0-40° з.д. – самый интенсивный северный перенос, что указывает на существование в районе 40° з.д. мощного стационарного антициклона – Гренландского. В зимние месяцы в районе 40-120° в.д. находится область интенсивного южного переноса, по-видимому, вызванная действием Азиатского максимума. Существенных трендов в индексах меридиональной циркуляции не выявлено.

Среднегодовой зональный индекс на уровне 1000 гПа, рассчитанный по всему кругу широты, показывает существование западного переноса в 60-70° с.ш., восточного переноса в 72.5-77.5° с.ш. и западного переноса севернее 80го градуса с.ш.. В теплое время года пояс восточного переноса существенно расширяется и в апреле-охватывает все широты севернее 60° с.ш., кроме 82.5° с.ш.. Тенденция к изменению зонального индекса сильнее всего проявляется в феврале месяце севернее 67.5° с.ш., где линейный тренд индекса достигает 100 м/с град / 10 лет. В теплые месяцы (июнь-сентябрь) происходит увеличение скорости зонального переноса – усиливается западный перенос. Наиболее значимые изменения индекса зональной циркуляции во второй половине XX века происходят севернее 70° с.ш.. В январе, феврале, апреле и октябре здесь происходит снижение силы западного ветра, а в июне- сентябре – увеличение. Другими словами, в полярной области в феврале снижается интенсивность западного переноса, а в летние месяцы – в широтах с 65° по 75° с.ш. снижается интенсивность восточного переноса, а севернее 75° с.ш. – усиливается западный перенос.



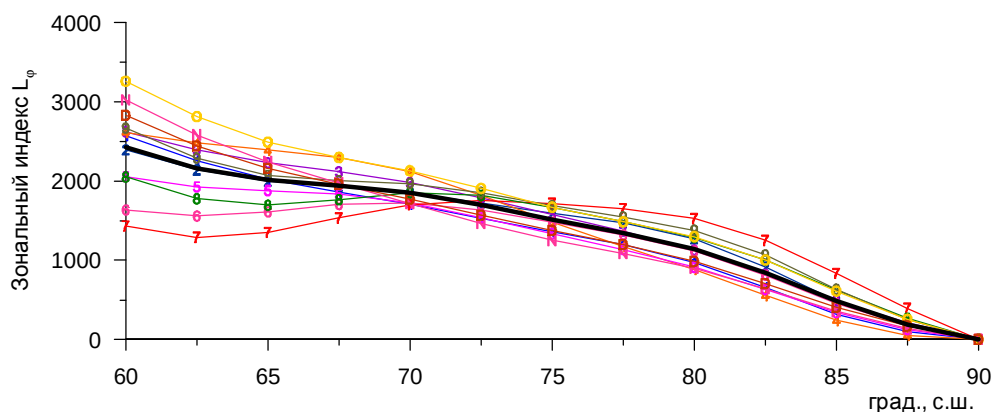


Рис.9. Индексы меридиональной (а) и зональной (б) циркуляции (м/с град) на высотном уровне 500 гПа для северной полярной области ($> 60^\circ$ с.ш.).

На уровне 500 гПа средние многолетние индексы меридиональной циркуляции (Рис. 9а) показывают существование северного переноса над Канадой, и в районах от Европы до Западной Сибири и существование южного переноса над Атлантикой, Восточной Сибирью и Аляской. В Атлантическом секторе наблюдается самый интенсивный для всех долгот южный перенос, а в Американском секторе — самый интенсивный северный перенос. Существенных трендов в индексах меридиональной циркуляции не выявлено. Средние многолетние зональные индексы (Рис. 9б) на уровне 500 гПа, рассчитанные по всему кругу широты, указывают на преобладание западного переноса для всех широт в течение всего года. В январе-феврале отмечается уменьшение интенсивности западного переноса в высоких широтах (севернее 65° с.ш.) и увеличение силы западного ветра в июне-августе. Согласно оценке линейных трендов, значительные изменения индекса зональной циркуляции во второй половине XX века происходят севернее 70° с.ш.. В зимние месяцы здесь происходит снижение силы западного ветра, а в летние — увеличение.

Меридиональный перенос на уровне 10 гПа имеет южное направление в Сибири и Дальневосточном секторах и северный во всем остальном полушарии. С ноября по март его интенсивность существенно выше, чем в остальное время. Темпы изменения меридионального индекса максимальны в зимнее время. В западном секторе к концу столетия идет снижение, а в восточном — усиление интенсивности западного переноса, что говорит об усилении активности циркумполярного вихря. В летние месяцы уменьшается интенсивность северного переноса в тихоокеанском секторе со скоростью до 30 м/с град / 10 лет (при средних значениях индекса — около 40 м/с град / 10 лет). Зональный индекс в стратосфере с апреля по сентябрь положителен, а в остальное время — отрицателен. Интенсивность переноса снижается с юга на север до практически нулевых значений. Линейный тренд интенсивности зонального переноса максимален в январе-феврале в районе 70° - 80° с.ш. и имеет отрицательные значения.

На уровнях 100, 200, 850 гПа пространственное распределение индексов циркуляции подобно вышеописанному.

На уровне 1000 гПа максимальные скорости вертикальной составляющей ветра приходятся на район Гренландии, где они достигают 0.4 Па/с в зимние месяцы. Вокруг Гренландии расположены области нисходящих потоков. Вертикальная составляющая ветра направлена вверх в области действия Азиатского антициклона в зимнее время и в летнее время — на арктическом побережье Евразии. К концу XX века усиливается вертикальный перенос в районе Гренландского антициклона.

Зональная составляющая ветра на поверхности 500 гПа на всей территории полярной области, кроме небольшого участка в районе северного полюса, имеет положительные средние многолетние значения, то есть в полярной области преобладает западный перенос. Области восточного переноса появляются в районе Дальнего Востока и северного полюса в декабре-марте месяце. Анализ карт линейных трендов зональной составляющей ветра

показал, что севернее 70° с.ш. в декабре-мае происходит, в основном, снижение, а в июне – октябре – увеличение скорости западного переноса. Меридиональный ветер в тихоокеанском, дальневосточном и атлантическом секторах направлен с юга на север, а в остальной части приполярной области – с севера на юг. Типичная «крестообразная» структура сохраняется во все месяцы года с незначительными изменениями в летнее время. Линейные тренды рядов зонального ветра указывают на усиление данной структуры к концу столетия, а именно, южная составляющая ветра увеличивается в сибирском, дальневосточном и атлантическом секторах, а северная – в американском и европейском. На картах вертикального ветра видны нисходящие потоки на юге и восходящие на севере Гренландии; восходящие потоки над Канадой, Канадским арктическим архипелагом, северными морями Евразии и Восточной Сибирью и нисходящие ветры в Западной и Средней Сибири и Западном побережье Канады.

Западный ветер на уровне 10 гПа преобладает в зимнее время с сентября по март во всей Арктике (со скоростями до 50 м/с), кроме небольшой области между полюсом и Шпицбергом, где дует восточный ветер. В мае-августе во всей полярной области дует восточный ветер, что хорошо соотносится с данными о годовом ходе давления, с возникновением летом в полярной области стратосферного антициклона. Меридиональный перенос на уровне 10 гПа направлен из Евразии через полюс на американский и атлантический сектор. В зимнее время меридиональные ветры сильнее. К концу XX столетия ветры в данном направлении усиливаются со скоростью до 1 м/с /10 лет.

Литература

1. IPCC, 2001: Climate Change 2001. The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) // Eds.: Houghton J.T., Ding Y., Griggs D.J., Noguer M., Van der Linden P.J., Xiaosy I. Cambridge University Press. – 944 p.
2. Переведенцев Ю.П., Верещагин М.А., Наумов Э.П., Шанталинский К.М. Особенности проявления современного потепления климата в тропосфере Атлантико-Европейского региона // Метеорология и гидрология, 2004, №2, с. 38-47.
3. Горбатенко В.П., Ипполитов И.И., Дюкарев Е.А. О стратосферном антициклоне и границах естественных синоптических сезонов // Шестое Сибирское совещание по климато-экологическому мониторингу Материалы совещания. под ред. М.В. Кабанова. Томск: 2005. с.8-12.
4. Горбатенко В.П., Ипполитов И.И., Дюкарев Е.А., Поднебесных Н.В. Интегральные характеристики ветра в тропосфере над Западной Сибирью // Шестое Сибирское совещание по климато-экологическому мониторингу Материалы совещания. под ред. М.В. Кабанова. Томск: 2005. с.12-16.
5. Петросянц М.А., Гущина Д.Ю. Крупномасштабное взаимодействие глобальной циркуляции атмосферы с температурой поверхности экваториальной части Тихого океана // Метеорология и гидрология, 1998, №5, с. 5-24.

DYNAMICS OF METEOROLOGICAL VARIABLES FIELDS IN THE NORTH POLAR REGION IN THE SECOND HALF OF 20TH CENTURY

Dyukarev E.A., Ippolitov I.I., Loginov S.V.

Features of climatic changes in the North Polar Region in the second half of 20th century have been investigated using NCAR/NCEP reanalysis. Maps of monthly averaged data and linear trends have been calculated for air temperature, geopotential height, zonal and meridian wind speed at standard isobaric surfaces 1000, 850, 500, 200, 100 and 10 hPa. Zonal and meridian indices of atmospheric circulation have been calculated for the north polar area for 1948-2004 yrs. West air mass transfer dominates at 500 hPa pressure level. The most intense inter latitude transfer takes place in Atlantic (40-60° W) and America (80-120° W) sectors.