МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Н.К. Барашкова

ДОЛГОСРОЧНЫЕ ПРОГНОЗЫ ПОГОДЫ: ПРАКТИЧЕСКИЕ И СЕМИНАРСКИЕ ЗАНЯТИЯ

Учебно-методическое пособие

Томск
2018

УДК 551.509.329

РАССМОТРЕНО И ОДОБРЕНО методической комиссией геолого-географического факультета
Протокол № 28 от 19.03.18.
Председатель комиссии
доцент И.В. Кужевская

Барашкова Н.К.
Долгосрочные прогнозы погоды: практические и семинарские занятия : учебно-методическое пособие. – Томск : Издательский Дом Томского государственного университета, 2018. – 56 с.

В пособии приводится материал, необходимый для приобретения навыков анализа атмосферных процессов в глобальном масштабе, определения типов атмосферных процессов по различным классификациям. Представлены технологии долгосрочного прогноза метеорологических условий и способы оценки их успешности.

Вторая часть пособия содержит сведения о современном состоянии долгосрочных метеорологических прогнозов на основе гидродинамических моделей. Данная информация рекомендуется для изучения на семинарских занятиях.

Пособие предназначено для бакалавров и магистров, обучающихся по направлению 05.03.04 и 05.04.04 «Гидрометеорология».

Рецензент – старший научный сотрудник ИМКЭС СО РАН, кандидат географических наук *Н.Н. Чередько*

СОДЕРЖАНИЕ

СОДЕРЖАНИЕ 3
ПРЕДИСЛОВИЕ 5
Часть I. ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ 6
Лабораторная работа № 1. Анализ синоптических процессов над Северным полушарием .. 6
Лабораторная работа № 2. Типизация атмосферных макропроцессов Г.Я. Вангенгейма - А.А. Гирса 9
Лабораторная работа № 3. Расчет индексов атмосферной циркуляции 15
Лабораторная работа № 4. Построение сборно-кинематических карт естественно-синоптического периода 17
Лабораторная работа № 5. Определение границ ЕСП 20
Лабораторная работа № 6. Определение ритмичности в атмосфере 21
Лабораторная работа № 7. Оценка оправдываемости прогноза 22
Лабораторная работа № 8. Метод распознавания образов 25
Часть II. МАТЕРИАЛ ДЛЯ СЕМИНАРОВ 29
Тема 1. Составление метеорологического прогноза с использованием автоматизированной системы «Долгосрочник-синоптик». 29
А. Использование идей и составление долгосрочного прогноза с помощью метода типовых макропроцессов. 29
Б. Классификация – выделение типовых макропроцессов 30
В. Технологическая схема первого этапа прогноза 30
Г. Автоматизированная система долгосрочного прогноза погоды (АИС «Долгосрочник-синоптик»), используемая в оперативной практике Гидрометцентра Санкт-Петербурга 31
Блок визуализации исходных баз данных и построения прогностических карт. 31
Блок сравнительного анализа гидрометеорологических полей. 31
Д. Пополнение баз данных 32
Е. 1 этап – выбор лучших групп гомологов 32
16 группа (2007, 2006, 2004, 2003, 1999, 1991, 1931 годы) 33
Фактические макропроцессы, формирующие типовой процесс (16 группа) 33
Сравнение с каждым годом, входящим в группу 34
Ж. Метеограмма для всех лет группы 34
З. Модификация группы 35
И. Годы-аналоги по ранжиру 35
24 группа (модифицированная 23 группа) – 2012, 2010, 2001, 1945 годы 35
К. Метеограмма лет, формирующих типовой процесс 24 группы 36

Л. Выбор прогностической группы 37
Сравнение двух групп 37
Сравнение двух групп по ОЦП 38
М. Прогностические поля температуры 38
Прогностические поля давления 39
Рекомендуемая литература к теме 40
Тема 2. Современное состояние оперативного долгосрочного прогнозирования с применением гидродинамического моделирования 41
2.1 Технология долгосрочных прогнозов ГГО [4] 41
2.2 Технология глобальных вероятностных и детерминистических еженедельных и месячных прогнозов на базе модели ПЛАВ (Гидрометцентр РФ) [27] 44
2.2.1 Технологическая линия 45
2.2.2 Основные виды продукции 46
2.2.3 Мониторинг качества прогнозов 47
2.2.4 Моделирование низкочастотной изменчивости 50

ПРЕДИСЛОВИЕ

Переход на новый Федеральный Государственный Образовательный Стандарт высшего образования по направлению подготовки 05.03.04 Гидрометеорология, уровень бакалавриата (приказ Минобрнауки России от 07 августа 2014 г. № 953) обусловил корректировку Рабочих программ дисциплин с увеличением времени на самостоятельную работу обучающихся. Усиливается роль практических занятий, семинаров, что потребовало переработки существовавших методических материалов.

В данном учебном пособии был уточнен и расширен «Практикум по долгосрочным метеорологическим прогнозам», составленный Н.М.Алехиной в 1990 г. Во второй части пособия представлены материалы учебного курса по долгосрочным прогнозам (Москва, ноябрь 2017 г.), который проводился в период тринадцатой сессии Климатического форума стран СНГ по сезонным прогнозам (СЕАКОФ-13), а также научные публикации по проблеме долгосрочного метеорологического прогноза на месяц, сезон.

Часть I. ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ

Лабораторная работа № 1. Анализ синоптических процессов над Северным полушарием

Цель работы

Изучение наиболее существенных особенностей циркуляции атмосферы в различные сезоны года над Северным полушарием Земли.

Для изучения закономерностей общей циркуляции атмосферы и составления долгосрочных прогнозов погоды анализируют карты погоды, охватывающие полушария или весь земной шар. Такие карты позволяют оценить состояние центров действия атмосферы (ЦДА), структуру крупных воздушных течений в тропосфере, сезонные особенности циркуляции атмосферы.

Циркуляция атмосферы в теплое и холодное время года существенно отличается, поэтому целесообразно анализ процессов для лета и зимы проводить отдельно.

Задание 1.

Проанализировать синоптические условия в тропосфере и стратосфере над Северным полушарием в зимнее время года и составить письменный обзор.

Исходный материал.

1.Синоптические карты Северного полушария за январь (либо другой месяц холодного полугодия): приземная, AT_{300} , OT_{1000}^{500} OT_{1000} , AT_{100}, AT_{30}.

2. Карты среднего многолетнего распределения давления, температуры, осадков, океанических течений (в Географическом атласе).

Порядок выполнения задания.

1. По картам среднего многолетнего распределения давления определить местоположение годовых и сезонных ЦДА, обратить внимание на направление ветра, обусловленное циркуляцией в ЦДА.

2. Сравнить направление ветра и направление океанических течений над Атлантическим и Тихим океанами.

3. Проанализировать среднее многолетнее распределение температуры и осадков.

4. По конкретным синоптическим картам дать анализ и обзор процессов над Северным полушарием.

5. Определить по приземной карте погоды и карте AT_{300} положение ЦДА, их интенсивность, вертикальную протяженность.

6. Определить на карте AT_{500} наличие Планетарной высотной планетарной зоны (ПВФЗ) и сопоставить её с положением атмосферных фронтов на приземной карте.

7. Отметить, над какими районами наблюдается зональная и меридиональная циркуляция. Определить, как это проявляется в распределении градиента температуры вдоль меридиана.

8. По карте AT_{300} определить положение струйных течений, найти их связь с ПВФЗ. Отметить максимальные скорости ветра в струе над разными районами Северного полушария.

9. Дать характеристику термического поля по карте OT_{1000}^{500}.

10. Сравнить скорости ветра в верхней тропосфере (AT_{300}) и нижней стратосфере (AT_{100}). Почему с высотой скорость ветра уменьшилась?

11. Определить наиболее характерные черты стратосферной циркуляции в зимнее время года по карте AT_{30}. Обратить внимание на направление и скорость ветра. Выявить наличие стратосферного струйного течения.

12. Дать характеристику термического поля нижней стратосферы.

Отчетность.

Письменный обзор синоптических процессов.

Задание 2.

Рассмотреть синоптические условия в тропосфере и стратосфере Северного полушария в летнее время года и составить письменный обзор.

Исходный материал.

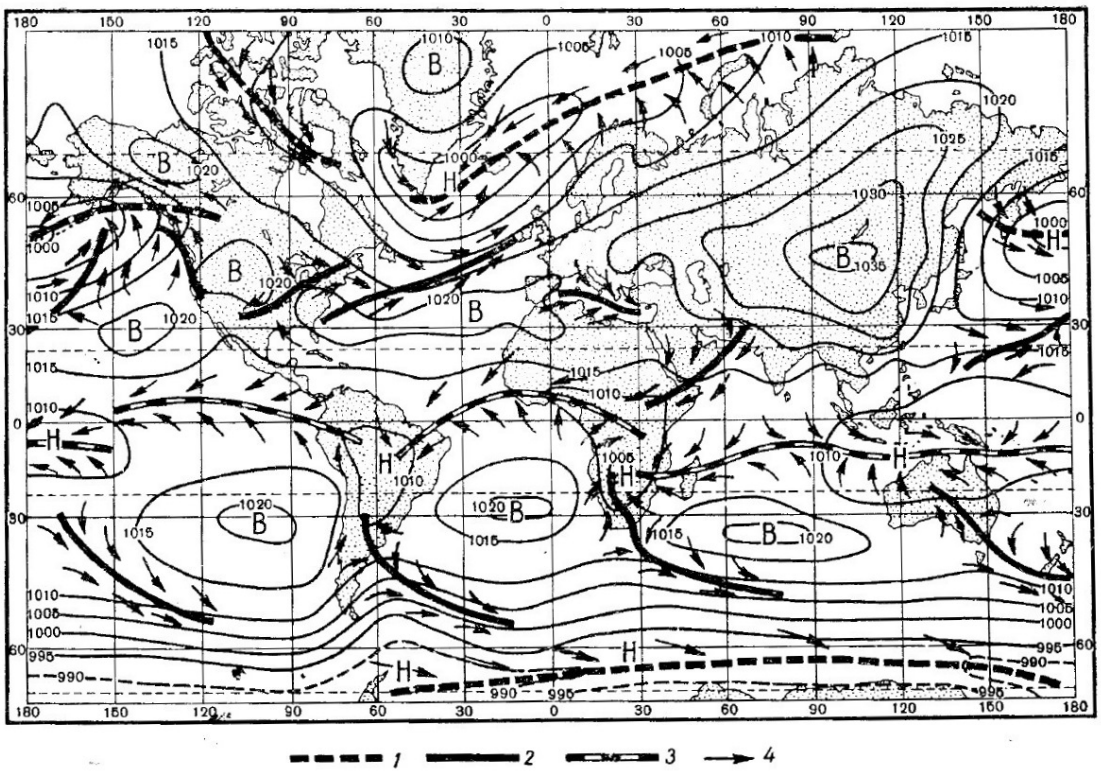
Синоптические карты Северного полушария за август (июль): приземная, AT_{300}, AT_{100}, OT_{1000}^{500}, AT_{30}, OT_{200}^{30}.

Порядок выполнения задания 2 аналогичен порядку выполнения задания 1.

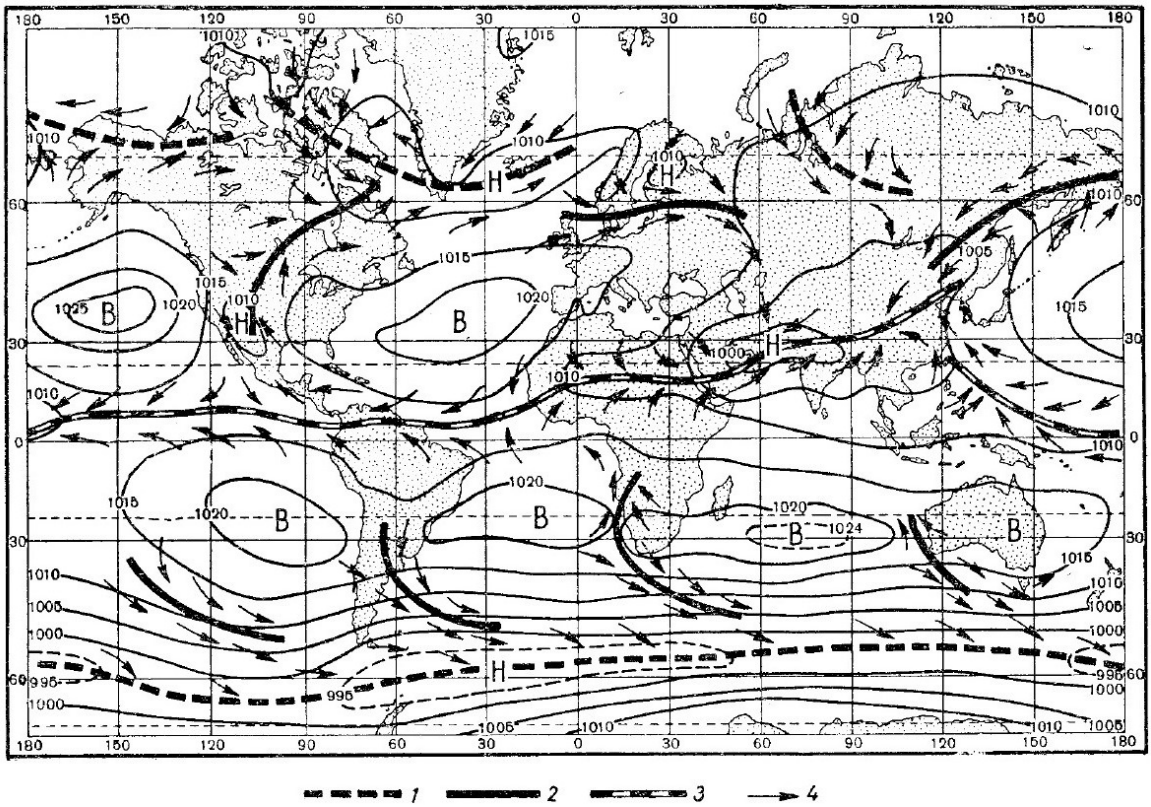
Отчетность.

1. Запись в тетради обзора синоптических процессов.

2. Ответить на вопросы (устно). Какие существенные отличия в положении и интенсивности ЦДА в холодный и теплый сезоны года? Какова причина различий в скорости струйных течений в зимний и летний сезоны года? Какая разница в термическом режиме нижней стратосферы зимой и летом? Какое направление ветра в стратосфере в летний и зимний периоды года?



а)



б)

Рис. 1. Климатологические фронты в январе *(а)* и июле (б):
1 — арктический, 2— полярный, 3— пассатный, 4 — тропический

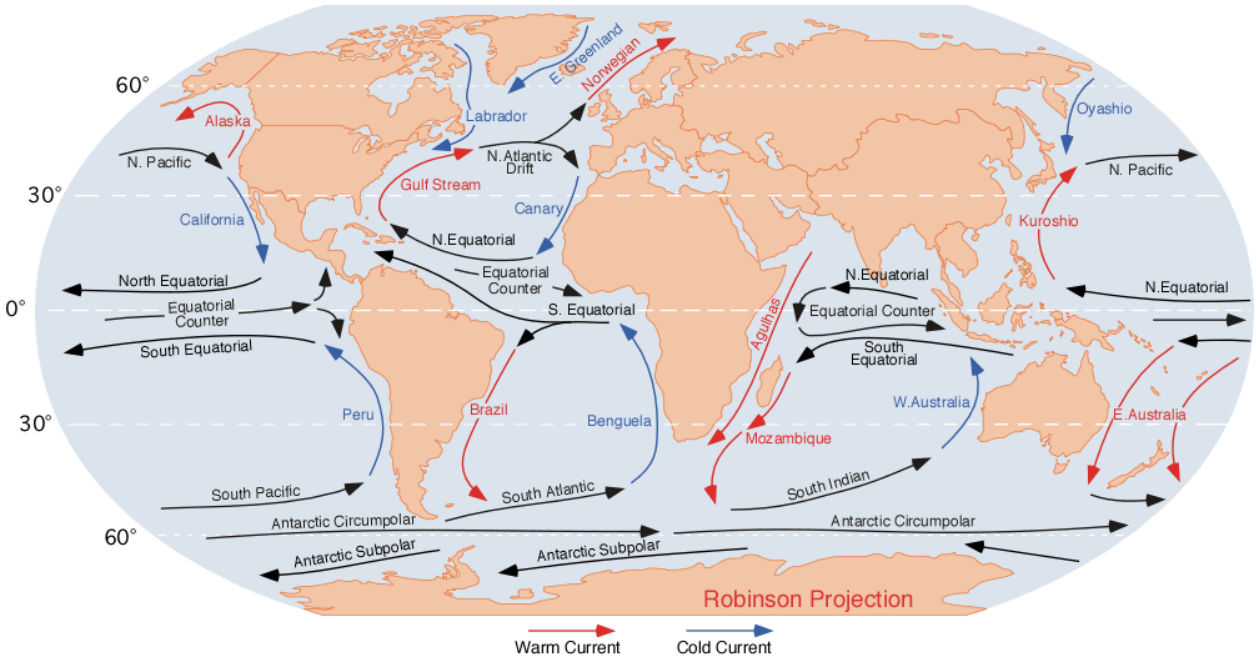


Рис. 2. Океанические течения

Литература

1. Багров Н.А., Кондратович К.В., Педь Д.А., Угрюмов А.И. Долгосрочные метеорологические прогнозы. Л.: Гидрометеоиздат, 1985. С. 12–30.

2. Зверев А.С. Синоптическая метеорология. Л.: Гидрометеоиздат, 1968. С. 665–689.

Лабораторная работа № 2. Типизация атмосферных макропроцессов Г.Я. Вангенгейма - А.А. Гирса

Цель работы

Научиться определять типы атмосферных процессов по синоптическим картам. Уметь оценить аномалии температуры, вызванные разными формами циркуляции.

В основе типизации атмосферных макропроцессов Г.Я. Вангенгейма - А.А. Гирса лежит понятие элементарного синоптического процесса (ЭСП). ЭСП – промежуток времени, в течение которого на пространстве Атлантико-Европейского сектора сохраняются основные тропосферные выносы тепла и холода и географическая локализация барических полей. Продолжительность ЭСП составляет 2-4 дня. Каждый ЭСП имеет своё название и типовую карту-схему с траекториями циклонов и антициклонов. Чаще всего название ЭСП определяется районом антициклонического вторжения. Например, гренландский, скандинавский и т.д. Всего выделено 26 ЭСП. По характеру преобладающих тропосферных процессов они объединены в три формы атмосферной циркуляции: западная (W), восточная (E) и меридиональная (C).

При западной форме циркуляции (W) (рис. 3-4) барические образования смещаются с Атлантики. Высотная фронтальная зона (ВФЗ) имеет широтную (зональную) ориентацию. В полярном бассейне при этом отмечается область холода, в субтропиках – очаги тепла. Температурный градиент между тропиками и полюсом в тропосфере достигает максимальных величин. Вдоль ВФЗ могут быть термобарические волны малой амплитуды, с ними связаны быстро смещающиеся циклоны и фронты.

Процессы восточной формы циркуляции (E) часто связаны со смещением антициклонов с востока, например, распространение Сибирского антициклона к западу, отсюда название формы циркуляции. В тропосфере при форме E устанавливается меридиональный процесс с определенной локализацией высотных ложбин и гребней. Наиболее мощный высотный гребень формируется над ЕТС. Сопряженная с ним высотная ложбина находится над Западной Сибирью и Восточной Атлантикой. Над Европейской территорией (ЕТ) России у Земли преобладает антициклоническое поле. Исландский минимум хорошо развит. Другой вариант процессов E -типа характеризуется наличием в верхней тропосфере полосы высокого давления, направленной на полуостров Таймыр. Высотная холодная ложбина с Западной Сибири ориентирована на Европу. В результате формируется ведущий поток северо-восточного направления, с ним связано вторжение холодных масс воздуха (ультраполярные вторжения). Положение высотных ложбин и гребней при форме циркуляции E показано на рис. 3, 4.

При меридиональной форме циркуляции (C) междуширотный тепло-воздухообмен усиливается. Местоположение высотных ложбин и гребней противоположно по сравнению с формой E. Над ЕТ России находится высотная ложбина, над восточной Атлантикой и Западной Сибирью – высотные гребни (рис. 3, 4). Характер погоды над ЕТ России циклонический, часты ныряющие циклоны, температура воздуха ниже нормы. В Западной Сибири преобладает теплая погода.

Для Тихоокеано-Американского сектора Северного полушария А.А. Гирс установил формы циркуляции З, M_1, M_2. Основные особенности циркуляции над соответствующими океаническими и континентальными районами у форм W и З, C и M_1, E и M_2 совпадают. Положение высотных ложбин и гребней при формах M_1 и M_2 показано на рис. 4. Сочетание форм циркуляции в Атлантико-Евразийском и Тихоокеано-Американском секторах позволило выделить 9 разновидностей макропроцессов: $W_з$, $W_{м1}$, $W_{м2}$, E_W, E_{M1}, E_{M2}, C_W , C_{M1}, C_{M2}.

Для каждого месяца производится подсчет числа дней с разными формами циркуляции и их аномалий.

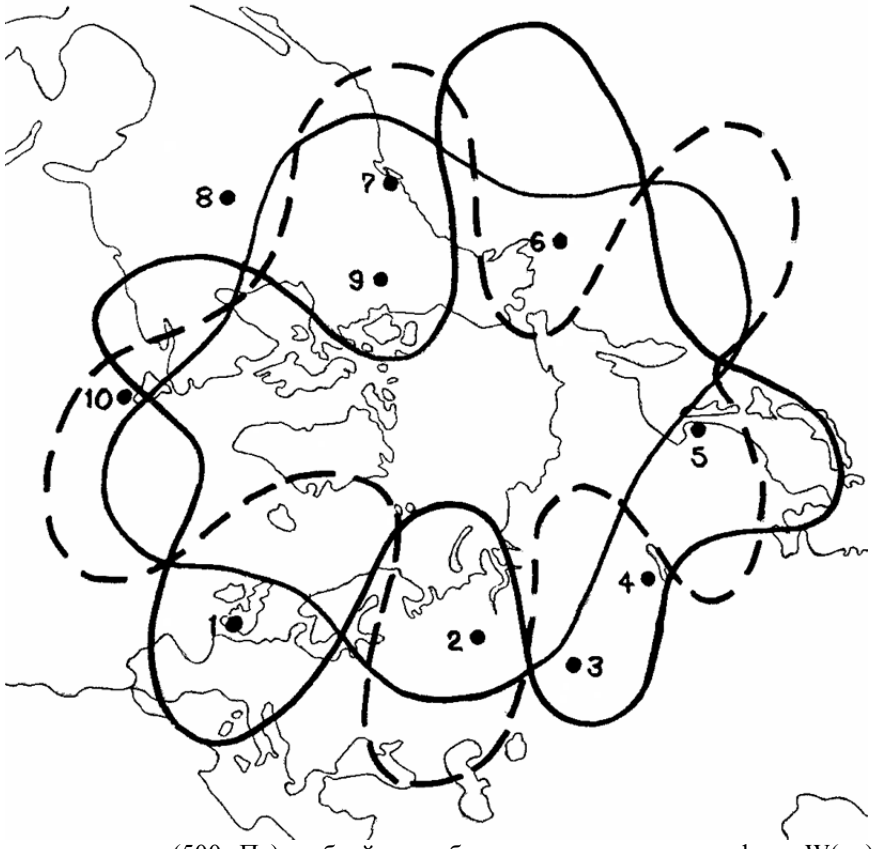
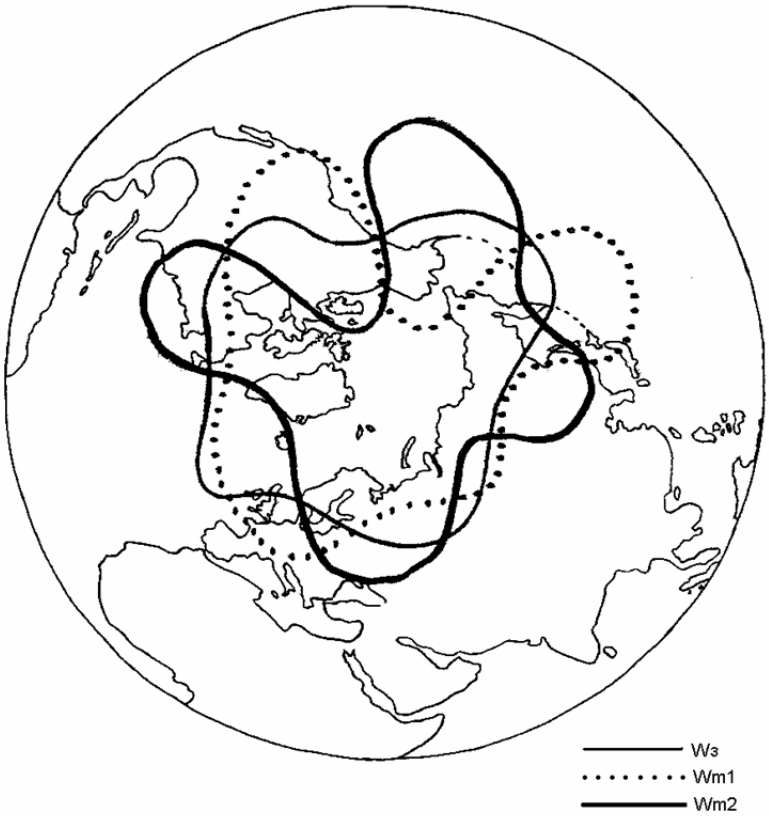
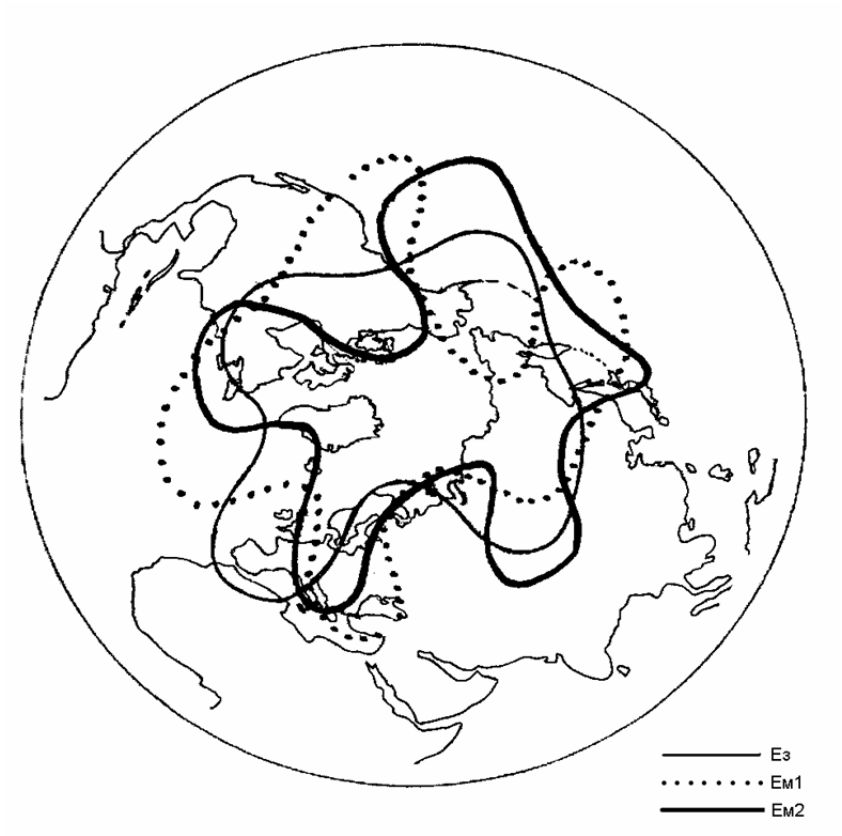


Рис. 3. Положение высотных (500 гПа) гребней и ложбин при макропроцессах форм W(—), E(▬), C(- - -)





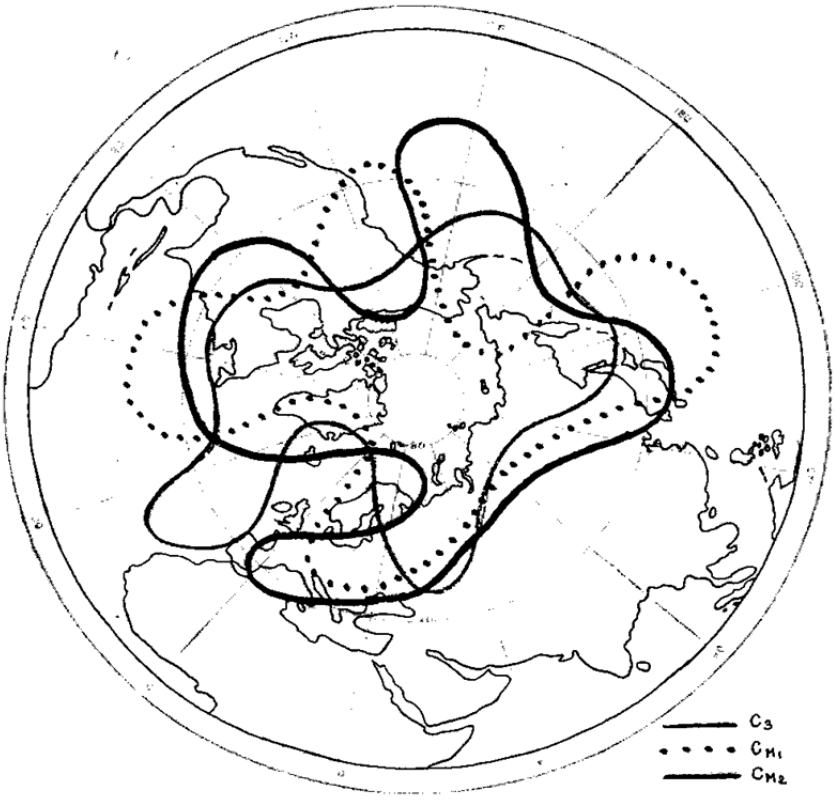


Рис. 4. Схема положения высотных (АТ-500) гребней и ложбин при разновидности форм W, E, C, З, M1, M2 в Северном полушарии

Задание 1

Определить типы атмосферных процессов над Атлантико-Евразийским и Тихоокеано-Американским секторами за 5-6 дней.

Исходный материал

Синоптические бюллетени. Карты барической топографии АТ-500.

Рекомендации по выполнению задания

1. По картам АТ-500 провести макросиноптический анализ атмосферных процессов, определить локализацию высотных ложбин и гребней над Атлантико-Евразийским и Тихоокеано-Американским секторами Северного полушария. Особое внимание обратить на процессы над Западной Сибирью.

2. Определить типы и разновидности атмосферной циркуляции над Северным полушарием.

Задание 2

Провести оценку связи аномалий температуры в зимний период на юго-востоке Западной Сибири с аномальным развитием форм циркуляции W, C и E.

Исходный материал

1. Аномалии температуры (Δ T) в январе в Новосибирске и Томске (табл.1).
2. Аномалии форм циркуляции (Δ W, Δ C, Δ E) за период 1909-2016 гг. (табл.1).

Рекомендации по выполнению задания

1. Для определения совпадения аномалий форм циркуляции и температуры по знаку рассчитать величины ρ и P (%):

$\rho = \dfrac{n^+ - n^-}{n^+ + n^-}$, где n^+ - число случаев совпадения знаков аномалий,

n^- - число случаев несовпадения знаков аномалий.

$P = 50(1+\rho)$, в %.

Число случаев совпадения и несовпадения по знаку определены в соответствии с таблицей 2.

2. Отобрать ряд лет, когда повторяемость форм циркуляции превышала 20 дней в месяц $(E \succ 20, C \succ 20, W \succ 20)$ и повторить оценку связи по знаку с аномалией температуры.

Таблица 1

Повторяемость аномалий форм циркуляции и температуры воздуха в январе (с 1960 г – новые «нормы» по температуре)

Годы	ΔE **, дни**	ΔW **, дни**	ΔC **, дни**	ΔT **(Новосибирск), °C**	ΔT **(Томск), °C**
1909	4	2	–6	–1,5	–1,9
1910	–4	4	0	0,2	–0,2
1911	2	–2	0	–1,0	–1,4
1912	–4	5	–1	2,0	2,7
1913	0	1	–1	0,5	0,2
1914	–13	5	8	6,2	7,7
1915	8	–12	4	–4,0	–5,3
1916	–7	8	–1	1,0	0,9
1917	–3	–9	12	1,4	1,8
1918	–11	4	7	5,5	6,2
1919	14	–8	–6	–8,3	–2,8

Годы	ΔE , дни	ΔW , дни	ΔC , дни	ΔT (Новосибирск), °С	ΔT (Томск), °С
1920	–3	4	–1	1,5	1,4
1921	–5	11	–6	4,5	5,3
1922	13	–7	–6	–2,0	–2,0
1923	1	5	–6	0,2	0,5
1924	14	–8	–6	0	–0,3
1925	–13	13	0	7,3	8,4
1926	0	3	–3	3,0	3,9
1927	3	–3	0	–3,5	–3,7
1928	–6	8	–2	1,0	1,4
1929	3	–12	9	–3,1	–3,4
1930	5	1	–6	0,2	0,6
1931	5	–6	1	–3,1	–4,0
1932	–11	17	–6	5,4	5,7
1933	13	–7	–6	–6,0	–5,9
1934	2	3	–5	2,5	3,0
1935	3	–3	0	–1,3	–1,4
1936	2	4	–6	1,3	0,2
1937	9	–5	–4	0,4	0,9
1938	1	5	–6	–3,4	–3,8
1939	1	1	–2	–1,1	–1,1
1940	10	–8	–2	–6,9	–7,9
1941	–9	–9	18	2,9	2,1
1942	10	–4	–6	–3,4	–3,3
1943	6	–12	6	–0,5	–0,1
1944	–13	13	0	3,3	4,4
1945	10	–4	–6	–3,4	–3,3
1946	2	–3	1	4,1	3,5
1947	8	–12	4	–4,0	–7,2
1948	–4	3	1	5,2	4,2
1949	–13	11	2	7,3	6,7
1950	–4	–12	16	–0,8	–1,4
1951	2	0	–2	–0,6	0,4
1952	0	4	–4	3,7	4,0
1953	2	4	–6	1,9	2,0
1954	–1	–8	9	–2,5	–2,8
1955	–6	12	–6	3,8	4,3
1956	2	–1	–1	–1,8	–1,2
1957	1	0	–1	0,5	0,4
1958	6	–6	0	–0,3	–0,6
1959	0	2	–2	1,3	0,9
1960	11	–12	1	–3,7	–1,7
1961	5	–10	5	1,1	1,5
1962	–10	8	2	2,2	4,2
1963	–7	–12	19	0,2	1,9
1964	–13	3	10	5,9	7,4
1965	1	–2	1	–0,8	–0,4
1966	7	–9	2	–5,8	–5,6
1967	2	–4	2	3,6	–1,8
1968	–1	–4	5	3,5	–1,3
1969	15	–9	–6	–14,6	–11,9
1970	9	–12	3	–1,4	–0,9
1971	3	–7	4	2,6	4,4
1972	12	–12	0	–8,2	–7,0
1973	3	–9	6	–3,4	–1,6
1974	8	–5	–3	–5,4	–5,1
1975	–1	7	–6	3,4	4,8

Годы	ΔE , дни	ΔW , дни	ΔC , дни	ΔT (Новосибирск), °С	ΔT (Томск), °С
1976	–6	0	6	2,1	2,4
1977	18	–12	–6	–0,6	–7,9
1978	5	–3	–2	2,2	4,3
1979	12	–8	–4	–8,7	–8,4
1980	6	–8	2	–1,9	–0,4
1981	8	–7	–1	–0,8	1,1
1982	–7	3	4	–1,2	–1,2
1983	–1	3	–2	5,9	6,7
1984	5	–2	–3	0,2	2,0
1985	–1	–5	6	–0,1	2,0
1986	2	1	–3	1,2	2,1
1987	–6	–3	9	–0,4	–1,1
1988	8	–2	–6	–0,9	0,3
1989	–10	15	–5	3,4	4,3
1990	0	0	0	–1,8	–1,5
1991	–13	3	10	4,1	5,3
1992	–13	–1	14	6,1	7,7
1993	–7	9	–2	2,4	2,9
1994	–4	10	–6	1,5	1,9
1995	–3	3	0	0,7	2,1
1996	6	–12	6	–6,2	–4,9
1997	–13	–2	15	3,4	3,2
1998	–7	4	3	–7,1	–4,5
1999	1	0	–1	–1,1	–1,0
2000	–10	8	2	–3,5	–2,7
2001	–2	–6	8	–5,1	–5,8
2002	–13	9	4	9,0	9,7
2003	–10	2	8	1,3	2,8
2004	4	–7	3	–2,8	–0,5
2005	–4	5	–1	0,3	2,5
2006	9	–5	–4	–10,7	–11,7
2007	–13	8	5	7,0	8,3
2008	–2	6	–4	–5,8	–3,9
2009	–1	4	–3	–3,0	–5,1
2010	10	–12	2	–11,0	–9,1
2011	–13	7	6	–7,5	–4,1
2012	4	–7	3	–4,6	–2,9
2013	–5	5	0	0,0	0,0
2014	8	–8	0	0,5	1,0
2015	–5	5	0	2,6	4,3
2016	6	–6	0	–3,4	–2,5

Примечание:

1) до 1960 г. «норма» температуры на ст. Новосибирск (Огурцово) = –19,4°С, Томск = –19,3°С; с 1960 г. «норма» температуры на ст. Огурцово = –16,1°С, Томск = –17,7°С.

2) число дней «норма» в январе: форма W – 12 дней, E – 13 дней, C – 6 дней.

Таблица 2

Оценка совпадения по знаку

Знак аномалии по форме циркуляции	Знак аномалии температуры	Совпадение и несовпадение по знаку
+	+	+
–	+	–
–	–	+
+	–	–

Отчетность

Запись форм циркуляции атмосферы за несколько дней. Физический анализ полученной зависимости аномалий температуры на юго-востоке Западной Сибири с формами циркуляции.

Литература

1. Багров Н.А., Кондратович К.В., Педь Д.А., Угрюмов А.И. Долгосрочные метеорологические прогнозы. Л.: Гидрометеоиздат, 1985. С.12 – 30.

Лабораторная работа № 3. Расчет индексов атмосферной циркуляции

Цель работы

Приобретение навыков количественной оценки интенсивности циркуляции атмосферы.

Для количественной оценки интенсивности и возмущенности атмосферной циркуляции в метеорологии применяются разного рода численные индексы. Широкое распространение в практике долгосрочных прогнозов погоды получила система индексов, предложенная А.Л. Кацем. Исходя из того, что зональный поток массы воздуха в выбранной зоне зависит только от среднего градиента давления на участках меридианов, заключенных в эту зону, а меридиональный поток массы воздуха – от среднего градиента давления на участках параллелей, А. Л. Кац для оценки индексов зональной $I_З$ и меридиональной $I_М$ циркуляции предложил подсчитывать средние меридиональные и зональные градиенты по следующим формулам:

$$I_З = \frac{b\sum_{1}^{\dot{I}} n_i}{(f_2 - f_1)\dot{I}}, \quad I_М = \frac{b\sum_{1}^{\dot{J}} m_j \times k}{(\lambda_2 - \lambda_1)\dot{J}},$$

где $I_З$, $I_М$ - индексы зональной и меридиональной циркуляции в гПа / 1° экв. или гп. дкм / 1° экв.;

b – интервал, через который проведены изобары (5 гПа) или изогипсы (4 гп. дкм);

$\dot{I}$ - число меридианов, на которых подсчитываются зональные градиенты давления между параллелями f_2 и f_1;

J – число параллелей, на которых подсчитываются меридиональные градиенты между долготами λ_2 и λ_1;

n – число пересечений изобарами (изогипсами) меридианов;

m – число пересечений изобарами (изогипсами) параллелей;

$k = 1/\cos f$ – поправочный коэффициент для каждой широты, показывающий отношение длины дуги в 1^0 на экваторе к длине дуги в 1^0 на данной параллели.

Для оценки соотношения интенсивности зональной и меридиональной циркуляции используют безразмерный индекс $I_0 = I_M / I_З$.

Индекс I_0 называется общим индексом циркуляции, он даёт возможность относить синоптические процессы либо к меридиональному, либо к зональному типу. Процессы относятся к меридиональному типу, если $I_0 \succ 0.75$, к зональному – если $I_0 \prec 0{,}75$.

Задание 1.

Рассчитать индексы зональной и меридиональной циркуляции способом, предложенным А.Л. Кацем.

Исходный материал

Карты барической топографии АТ-500 (2 – 3 ситуации)

Рекомендации по выполнению задания.

1. Вычислить индексы зональной и меридиональной циркуляции для зоны, ограниченной широтами 40 – 70^0 с.ш. и долготами 0 – 80^0 в.д. Для вычисления индекса меридиональной циркуляции воспользоваться значениями $\cos 40^0=0{,}75$; $\cos 50^0=0{,}63$; $\cos 60^0=0{,}48$; $\cos 70^0=0{,}32$.

2. Определить общий индекс циркуляции атмосферы I_0 и сделать вывод о преобладании той или другой формы циркуляции.

Задание 2.

Определить типы циркуляции по А.Л. Кацу.

Исходные карты те же, что и в предыдущем задании.

Рекомендации по выполнению задания.

1. По положению высотного гребня в Атлантико-Евразийском секторе произвести субъективную оценку типа циркуляции. При этом следует вспомнить, что при западном типе (З) высотный гребень располагается над восточной Атлантикой, при центральном типе (Ц) – над центральными районами ЕТС, при восточном типе (В) – над Западной Сибирью, при смешанном типе (С) – над Уральскими горами.

2. Определить тип циркуляции объективным методом по сочетанию знаков плюс (+) и минус (-) между пятью точками, расположенными на пересечении 52^0 с.ш. с меридианами 30^0 з.д., 0^0, 30^0, 60^0 и 90^0 в.д. (табл. 3). Знаки получают при вычитании из значений геопотенциала предыдущей точки значения геопотенциала последующей точки ($H_i - H_{i+1}$).

Таблица 3

Возможное сочетание знаков при разных формах циркуляции

Шифр	Знаки	Форма цирку-ляции	Шифр	Знаки	Форма цирку-ляции
01	+ - + -	Ц	09	+ + - -	С
02	- - + -		10	- + - -	
03	- - + +		11	- + - +	
04	+ - + +		12	+ + - +	
05	+ + + +	З	13	+ - - +	В
06	- + + +		14	- - - +	
07	- + + -		15	- - - -	
08	+ + + -		16	+ - - -	

Отчетность.

Представить запись индексов циркуляции и форм циркуляции по А.Л. Кацу.

Литература

1. Багров Н.А., Кондратович К.В., Педь Д.А., Угрюмов А.И. Долгосрочные метеорологические прогнозы. Л.: Гидрометеоиздат, 1985. С. 103–105.

2. Руководство по долгосрочным прогнозам погоды на 3-10 дней. Л.: Гидрометеоиздат, 1968. С. 50–56.

Лабораторная работа № 4. Построение сборно-кинематических карт естественно-синоптического периода

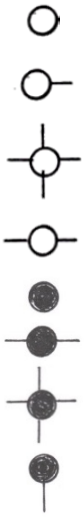
Цель работы

Приобретение навыков анализа макропроцессов.

Понятие естественно-синоптического периода (ЕСП) широко используется при прогнозировании погоды на средние и большие сроки. ЕСП – промежуток времени, в течение которого на пространстве естественно-синоптического района развивается определенным образом ориентированный процесс и сохраняется знак барического поля. Барическими полями являются крупные циклонические и антициклонические области, которые можно разграничить демаркационной линией.

В Северном полушарии выделяют три естественно-синоптических района (ЕСР). Южной границей всех районов является параллель 20ºс.ш. Первый ЕСР располагается между 50^0 з.д. и 80º в.д., второй – между 80º в.д. и 165^0 з.д., третий – между 165^0 з.д. и 50^0 з.д.

Сборно-кинематические карты составляют по территории ЕСР для каждого ЕСП отдельно. Для построения сборно-кинематических карт используют ежедневные синоптические карты погоды, с которых специальными условными обозначениями переносят положение особых точек барического рельефа на чистый бланк географической основы. Условные обозначения следующие:



антициклон, который усиливается или сохраняет свою форму;

гребень, наносится на оси гребня, штрих кружочка направлен в сторону, противоположную центру основного антициклона

разрушающийся антициклон

перемычка высокого давления, наносится в центре седловины, имеющей характер полосы высокого давления

циклон хорошо развитый

волна на фронте, наносится в районе вершины волны

частный или заполняющийся циклон

ложбина, наносится на оси ложбины

Около каждого перенесенного значка ставят в правой верхней части дату, ниже – значение давления. Условные обозначения одних и тех же барических образований от одного дня к другому соединяются линиями, которые называются траекториями. Между циклоническими и антициклоническими полями ежедневно намечается (легким нажимом карандаша) демаркационная линия. Эта линия отражает среднее положение наиболее

активного переноса воздуха в нижней тропосфере. По окончании ЕСП проводится четкая линия.

При построении сборно-кинематических карт ЕСП часто обнаруживается смена знака барического поля над сравнительно небольшими участками синоптической карты. Здесь происходит изменение переноса холодных и теплых воздушных масс. Демаркационная линия при этом изменяет своё положение более чем на 45^0. В таких случаях старое положение демаркационной линии оставляют в виде штриховой линии, а новое проводят сплошной линией. При этом оформляется, так называемое, перебойное поле. С появлением перебойного поля начинается новый элементарный синоптический процесс (ЭСП) внутри текущего ЕСП. Каждый ЕСП состоит из 2-3 ЭСП.

Элементарным синоптическим процессом называется промежуток времени, в течение которого на пространстве естественно-синоптического района сохраняется знак барического поля и перенос теплых и холодных воздушных масс. Продолжительность ЭСП колеблется от 1 до 4 дней, чаще – 2-3 дня.

При проработке прогноза на три дня составляют прогностические карты-схемы. Они напоминают сборно-кинематические карты и составляются на базе анализа прогностических приземных и высотных карт. Примером такой карты служит рис. 5.

На картах-схемах наносят будущее направление траекторий барических образований, проводят демаркационную линию. Траектории изображают в виде стрелок. Для циклонов – одинарная стрелка (——►), для антициклонов – двойная стрелка (⟹), для ложбин и гребней соответствующие пунктирные линии (– – –►, = = =►) , демаркационная линия (———).

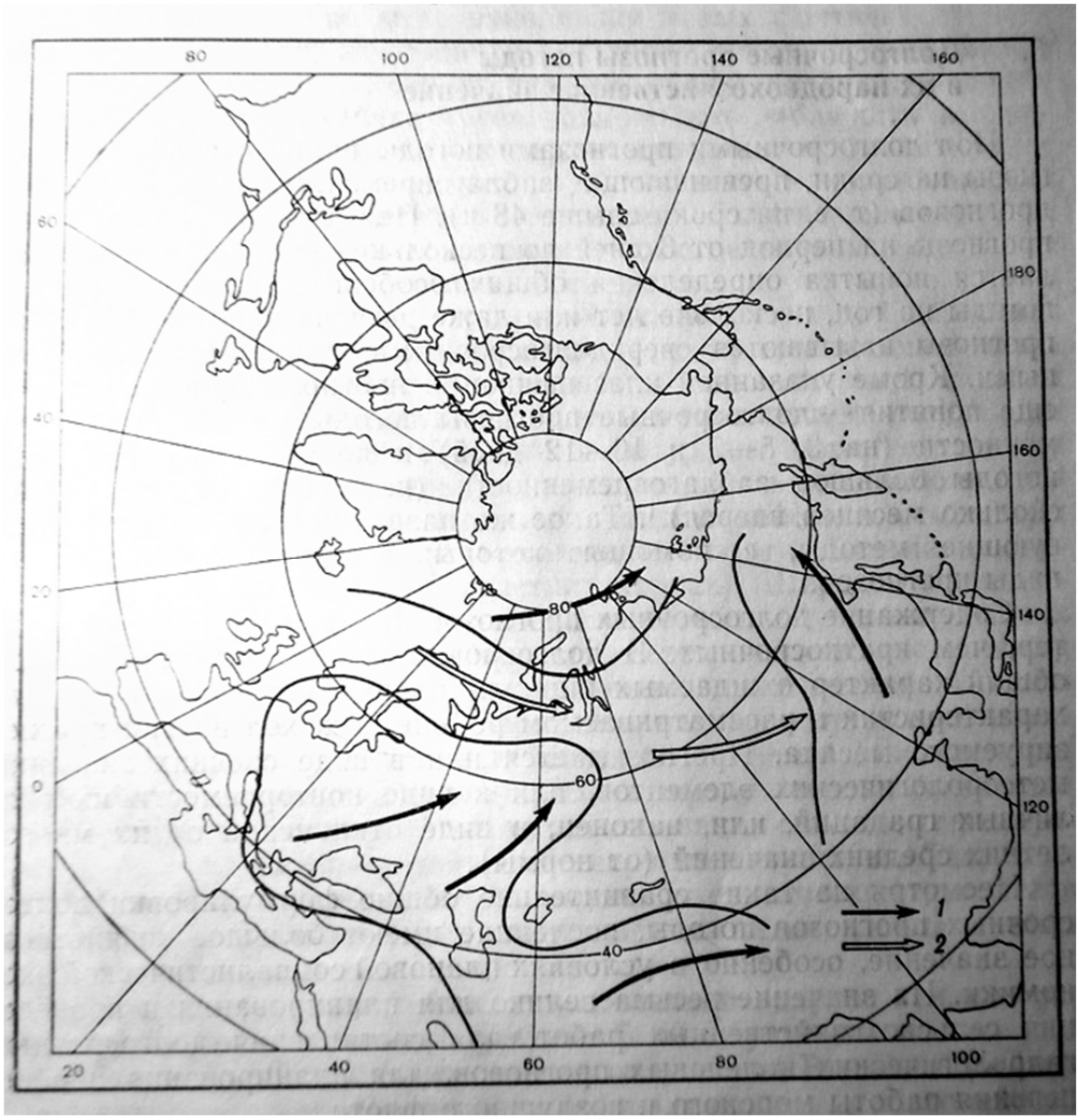


Рис. 5. Карта-схема

Задание.

Построить сборно-кинематическую карту ЕСП. Определить элементарный синоптический процесс (ЭСП) внутри текущего ЕСП. Построить прогностическую карту-схему.

Исходный материал

1. Приземные синоптические карты за несколько дней.
2. Прогностические карты.

Рекомендации по выполнению задания

1. На чистый бланк географической основы перенести условными значками особые точки барического поля с приземной карты. Наметить демаркационную линию.

2. То же самое проделать для последующих дней, указав траекторию смещения барических образований.

3. Определить наличие ЭСП по смене положения демаркационной линии (по смене переноса воздуха) над ограниченными районами. Оформить перебойное поле.

4. По прогностическим картам определить направление перемещения барических образований для трех дней и на этой основе построить прогностическую карту-схему.

Отчетность

Представить сборно-кинематическую карту ЕСП и прогностическую карту-схему на три дня.

Лабораторная работа № 5. Определение границ ЕСП

Цель работы

Закрепление правил разбивки атмосферных макропроцессов на однородные периоды.

ЕСП обладает важным прогностическим свойством. Суть его заключается в том, что в течение периода развивается однородный процесс. Уже в первые два дня периода намечаются все характеристики, которые будут сохраняться в течение остальных дней периода. Эти два дня носят название тенденции периода. Начало ЕСП надо определять точно, чтобы не ошибиться в прогнозе. Для этого важно знать правила определения границ ЕСП.

Признаками смены ЕСП по приземным картам является изменение знака барического поля на пространстве ЕСР, т.е. появление на сборно-кинематических картах ЕСП барических центров противоположного знака (циклона в ранее существующем антициклоническом поле или антициклона в циклоническом поле). Признаком смены ЕСП по картам барической топографии является резкое изменение высотной фронтальной зоны (ВФЗ). Например, при широтном расположении ВФЗ переход к новому ЕСП может произойти благодаря возникновению высотных ложбин или гребней, т.е. при развитии меридионального макропроцесса. Другой пример, смена периода диагностируется при сохранении широтного расположения ВФЗ, но в связи с формированием новой её ветви южнее или севернее исходного положения фронтальной зоны. При меридиональных процессах может произойти смена ЕСП, если произойдет изоляция холодных циклонов на юге или теплых антициклонов на севере.

Для удобства определения границ ЕСП строят сборные карты планетарной высотной фронтальной зоны (ПВФЗ). На чистый бланк географической основы наносят среднюю сезонную изогипсу, которая характеризует положение ПВФЗ. Значения этих изогипс следующие: зимой – 536 гп. дкм, весной – 544 , первая половина лета – 560 , вторая половина лета – 573 , осенью - 556 . В течение одного ЕСП высотная фронтальная зона испытывает определенную, однозначно направленную эволюцию. При смене ЕСП положение ПВФЗ над каким-то районом резко изменяется. С этого момента начинается новый ЕСП.

Задание

Определить начало нового ЕСП.

Исходный материал

Синоптический бюллетень, карты АТ-500.

Рекомендации по выполнению задания

1. Определить естественно-синоптический сезон исходного месяца и выбрать соответствующую изогипсу, характеризующую положение ПВФЗ.

2. На чистый бланк географической основы нанести положение ПВФЗ первого дня месяца и нескольких последующих дней для территории первого ЕСР. Каждый день должен иметь своё условное обозначение.

3. Ото дня ко дню стрелками отразить районы с однозначно направленной эволюцией ПВФЗ.

4. Определить момент резкого изменения положения ПВФЗ на каком-либо участке. Это будет начало нового ЕСП.

Отчетность

Представить сборную карту ПВФЗ. Указать день начала нового ЕСП.

Литература

Руководство по долгосрочным прогнозам погоды на 3-10 дней. Л.: Гидрометеоиздат, 1968. С.136 – 140.

Лабораторная работа № 6. Определение ритмичности в атмосфере

Цель работы

Приобретение навыков анализа ритмичности процессов в атмосфере.

Под ритмичностью понимают повторение аналогичных процессов через определенный промежуток времени. Наиболее известны в метеорологии трех- и пятимесячные ритмы.

Для определения ритмичности в атмосфере в качестве реперных (исходный) процессов используют, чаще всего, ультраполярные вторжения антициклонов. Смещение антициклонов или арктических масс воздуха с севера или северо-востока носит название ультраполярных вторжений (УПВ).

Было замечено, что, если за три (пять) месяцев до исходного естественно-синоптического периода с УПВ отмечался аналогичный ЕСП с УПВ, то спустя три (пять) месяцев после исходного ЕСП, как правило, развивается противоположный процесс. Если за три (пять) месяцев до исходного ЕСП с УПВ развивался противоположный процесс, то спустя три (пять) месяцев после исходного появляется аналогичный ЕСП с УПВ. Могут быть другие варианты, они представлены в таблице 4.

Таблица 4

Правила повторяемости реперных ультраполярных процессов

- 150 /- 90 дней	**Репер**	**+ 150 / + 90 дней**
+	Исходный ЕСП с УПВ	-
-		+
/		+
+		/

Условные обозначения в таблице: «+» -аналогичный процесс, «+» -аналогичный процесс с УПВ, «-» -противоположный процесс, «/» -неаналог.

Задание

Определить наличие трех-пяти месячных ритмов в атмосфере.

Исходный материал

Сборно-кинематическая карта и средние карты АТ-500 из архива ЕСП.

Рекомендации по выполнению задания.

1. Найти по архивным картам ЕСП с хорошим УПВ.

2. Отступить на три месяца назад (- 90 дней) от исходного ЕСП с УПВ. По «Календарю для определения 3 и 5 – месячных ритмов» [1] определить даты ЕСП, который предшествовал 3 месяца назад исходному ЕСП.

3. Сравнить процессы предшествующего и исходного ЕСП. Два периода можно считать аналогичными, если у них аналогично географическое положение высотных гребней и ложбин на средних картах АТ-500 ЕСП, если знаки барического поля на сборно-кинематических картах совпадают. Если при этом ещё отмечается УПВ, то говорят об аналогии с репером.

Два периода противоположны по циркуляции, если у них противоположная локализация высотных ложбин и гребней, если знаки барического поля не совпадают.

4. В соответствии с правилами повторяемости реперных УПВ сделать вывод (прогноз) о том, какой процесс ожидается спустя 3 месяца после исходного ЕСП.

5. Полученный прогноз оценить. Для этого надо определить дату осуществления ожидаемого ЕСП по «Календарю», отыскать карты этого периода и сравнить с исходным процессом (ЕСП).

Отчетность

1. Представить анализ ритмичности.
2. Ответить на вопросы:

Что представляет из себя УПВ? Какие правила ритмичности Вы знаете?

Литература

1. Руководство по месячным прогнозам погоды. Л.: Гидрометеоиздат, 1972. С.246-280.

Лабораторная работа № 7. Оценка оправдываемости прогноза

Цель работы

Научиться оценивать прогнозы разными способами.

Прогноз погоды – это научное предвидение на основе физического анализа имеющейся информации. Все прогнозы подлежат оценке. В долгосрочных прогнозах всегда требуется дать оценку прогноза по территории (по полю), т.е. по многим пунктам сразу. Критерии оценки прогнозов могут быть разные: по «знаку», по «классу», по отклонению от «нормы», по абсолютной ошибке и т.д.

1. Для оценки прогноза по «знаку» используется критерий ρ (см. лаб. работу № 2)

$$\rho = \frac{n^+ - n^-}{n^+ + n^-},$$

при $\rho \succ 0,2$ прогноз считается приемлемым (удовлетворительным). Для оценки оправдываемости прогноза в % используют выражение $P = 50(1+\rho)$.

2. Оценка прогноза по «классу» предусматривает разбивку прогнозируемых величин на классы и использование оценочной матрицы. Классы: норма (Н), выше нормы (ВН), ниже нормы (НН).

Оценивается аномалия средней температуры на прогнозируемый период $\Delta T = T_{период} - \overline{T_{период}}$, где $\overline{T_{период}}$ - среднемноголетняя температура для месяца, сезона.

Для температуры воздуха класс «Н» соответствует : $\Delta T = \pm\ 1^0$С, класс «НН» $\Delta T \prec -1^0$С, в классе «ВН» $\Delta T \succ 1^0$С.

Для осадков класс «Н» соответствует ситуации, когда осадков ожидается 80-120 % от нормы (среднемноголетней величины) для прогнозируемого периода, класс «НН» - менее 80 %, класс «ВН» - более 120 %.

Оценочная матрица (Р %)

Прогноз	Фактически наблюдалось		
	ВН	**Н**	**НН**
ВН	100	50	0
Н	25	100	25
НН	0	50	100

3. Расчет абсолютной ошибки прогноза (δ) производится по соотношению:

$$\overline{\delta T} = |\delta| = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}\left|\Delta T_n - \Delta T_ф\right|_i ,$$

где $\Delta T_n, \Delta T_ф$ - отклонение прогностической и фактической величин от «нормы» на каждой (i) станции. N – число станций, по которым оценивается прогноз.

При хорошем прогнозе величина δ должна быть меньше среднего квадратического отклонения σ.

4. Оценка прогноза по величине Q. Это, по существу, расчет нормированной величины ошибки

$$Q = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}\frac{\left|\Delta T_n - \Delta T_ф\right|_i}{\sigma_i}$$

Задание

1. Оценить прогноз температуры по знаку (ρ), по «классу» (Р%), по Q, найти абсолютную ошибку прогноза температуры (δ).

2. Оценить прогноз осадков по «классу» (Р %).

Исходный материал

Прогностические и фактические данные температуры воздуха и осадков для станций Западной Сибири и ЕТ России (табл. 5, 6).

Рекомендации по выполнению задания

1. В соответствии с вышеприведенными выражениями произвести расчет ρ, Р %, Q, δ.

2. Оценить качество прогноза температуры, используя следующие критерии: хорошо ($\rho \succ 0, Q \prec 1$), удовлетворительно ($\rho \succ 0, Q \succ 1$), удовлетворительно ($\rho \prec 0, Q \prec 1$), неудовлетворительно ($\rho \prec 0, Q \succ 1$).

3. Оценить качество прогноза температуры по другим критериям:

хорошо ($\overline{P} \succ 50, Q \prec 1$), удовлетворительно ($\overline{P} \succ 50, Q \succ 1$), удовлетворительно ($\overline{P} \prec 50, Q \prec 1$), неудовлетворительно ($\overline{P} \prec 50, Q \succ 1$).

Здесь значение $\overline{P}$ (%) является средней величиной оправдываемости по всем станциям при оценке прогноза по «классу».

$\overline{P} = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N} P_i$, P_i - оправдываемость по каждой станции по «классу» (см. оценочную матрицу).

4. Оценить качество прогноза осадков по «классу» (Р %) для станций Западной Сибири (табл. 6).

Отчетность

Представить оценку прогноза температуры и осадков.

Литература

Хандожко Л.А. Оценка успешности метеорологических прогнозов : учебное пособие. Л.: Ленинградский политехн. ин-т, 1977. С. 56–57.

Таблица 5

Оценка оправдываемости прогноза месячной температуры воздуха (январь 2015 года)

Станция	Норма	Прогноз			Факт			Оправдываемость	
		$T_{прогн.}$	ΔT	Класс	$T_{факт.}$	ΔT	Класс	P %	Знак
Архангельск	–14,5	–13,5	1,0	н	–12,9	1,6	вн	25	
Сыктывкар	–16,6	–17,0			–15,3				
С.Петербург	–7,7	–6,0			–2,7				
Киров	–14,1	–11,5			–8,5				
Москва	–9,2	–7,5			–4,4				
Вильнюс	–6,0	–5,0			–3,0				
Рыльск	–5,5	–6,5			–3,2				
Белогорка	–6,8	–6,0			–3,8				
Н.Новгород	–11,4	–10,0	1,4	вн	–7,2	4,2	вн	100	+
Астрахань	–5,4	–5,0			–4,0				
Махачкала	1,8	0,5			1,1				
Казань	–12,9	–12,0			–9,7				
Оренбург	–13,7	–14,0			–12,6				
Великие Луки	–4,6	–6,0			–2,2				
Ростов/Дону	–4,3	–3,0			–2,5				
Салехард	–24,7	–30,0			–25,3				
Ханты-Мансийск	–20,6	–25,0			–19,9				
Тарко-Сале	–25,7	–28,0			–24,8				
Березово	–22,4	–25,0			–22,8				
Тобольск	–18,8	–21,0			–16,7				
Омск	–17,2	–16,5			–14,1				
Александровское	–21,4	–20,0			–18,6				
Колпашево	–19,9	–19,0			–15,8				
Томск	–17,7	–19,0			–13,6				
Новосибирск	–16,1	–17,0			–13,4				
Барабинск	–18,3	–19,0			–15,1				
Кемерово	–17,6	–17,0			–12,4				
Барнаул	–15,7	–18,0			–12,5				
Онгудай	–21,1	–20,0			–14,5				
Волчиха	–18,9	–19,5			–13,5				
Октябрьское	–21,2	–22,0			–21,6				

Таблица 6

Оценка оправдываемости прогноза месячных сумм осадков Западной Сибири. Январь 2015 г.

Станция	Норма, мм	Прогноз			Фактич.			Оправд.
		мм	% от нормы	Класс	мм	%	класс	
Березово	27	29,5	110	н	35,5	131	вн	25
Томск	32	43,9			63,2			
Барнаул	24	25,0			28,0			
Октябрьское	35	35,8			42,4			
Салехард	21	30,0			45,2			
Ханты-Мансийск	28	28,4			34,8			
Александровское	21	25,0			33,1			
Тобольск	21	21,9			27,1			
Омск	22	25,0			38,2			
Барабинск	19	20,5			26,3			

Лабораторная работа № 8. Метод распознавания образов

Цель работы

Приобретение навыков составления альтернативных прогнозов.

Под «образом» в метеорологии понимают набор тех состояний атмосферы, при которых специалист выносит однозначное решение о наличии или отсутствии явления. Такие прогнозы называются альтернативными.

Для решения задачи распознавания «образов» необходимо найти предикторы (предсказатели), которые позволили бы определить, будет явление или нет. Способы нахождения предикторов разные. Например, корреляционный способ, или метод, связанный с расчетом расстояния Махаланобиса между классами явления. Последний способ удобен в решении альтернативных задач. В этом случае выборка метеопараметров (предсказуемых - предиктантов и предсказателей - предикторов) должна состоять из двух классов, например, есть явление – нет явления, выше «нормы» - ниже «нормы».

Пусть имеется несколько предикторов для прогноза какого-либо явления. Необходимо отобрать лучшие (наиболее информативные), которыми в дальнейшем можно пользоваться при прогнозе. Для этой цели рекомендуется определить для всех предикторов расстояние Махаланобиса между двумя классами

$$r = \frac{\left(\overline{X}' - \overline{X}''\right)^2}{\sigma^2},$$

где $\overline{X}'$ – среднее значение предиктора в первом классе;

$\overline{X}''$ – среднее значение предиктора во втором классе;

σ – среднее квадратическое отклонение данного предиктора для всей выборки, без разбивки на классы;

r – расстояние Махаланобиса.

Чем больше величина r – тем лучше (информативнее) предиктор. Следует заметить, что $\overline{X}'$ – и $\overline{X}''$ – называются «эталонами» классов.

Количество предикторов, которые целесообразно отобрать для дальнейшего анализа определяют по выражению

$$R = \frac{r_1 + r_2 + \ldots + r_n}{\sum_{i=1}^{n} r_i},$$

где R - весовой коэффициент предикторов;

$r_1, r_2, \ldots r_n$ -расстояние Махаланобиса для всех предикторов в порядке их информативности, т.е. в порядке уменьшения значений r. В знаменателе – сумма всех значений r.

Когда величина R достигает значения 0,7 – 0,8 можно ограничиться в числе предикторов. Определив лучшие предикторы – можно приступить к распознаванию образов. Здесь тоже есть ряд приемов (методов), мы рассмотрим метод эталонов и метод дискриминантного анализа (дискриминантная функция).

Метод эталонов

Суть метода эталонов заключается в оценке принадлежности конкретной ситуации к одному из классов по минимальному расстоянию до «эталонов» одного и другого классов.

$$l_1^2 = \left(x_1 - \overline{X}_1'\right)^2 + \left(x_2 - \overline{X}'_2\right)^2 + \left(x_3 - \overline{X}'_3\right)^2 + \ldots ,$$

$$l_2^2 = \left(x_1 - \overline{X}_1''\right)^2 + \left(x_2 - \overline{X}_2''\right)^2 + \left(x_3 - \overline{X}_3''\right)^2 + \ldots ,$$

где $\overline{X}'_1, \overline{X}'_2, \ldots$ - эталоны предикторов первого класса,

$\overline{X}''_1, \overline{X}''_2, \ldots$ - эталоны предикторов второго класса,

$x_1, x_2, \ldots$ - значения предикторов конкретной ситуации,

l_1^2, l_2^2 - расстояние до «эталонов» первого и второго классов.

Конкретная ситуация относится к тому классу, для которого расстояние оказалось минимальным.

<u>Дискриминантная функция</u>

По двум лучшим предикторам можно составить дискриминантную функцию вида

$L = ax_1 + bx_2 + c$,

где a,b,c - коэффициенты;

x_1 , x_2 – предикторы;

$L = 0$ - разделяющая плоскость, если $L \succ 0$ - явление не осуществляется (осуществляется), при $L \prec 0$ - осуществляется (не осуществляется).

Дискриминантная функция рассчитывается следующим образом:

$$L = \frac{\left(\overline{X}' - \overline{X}''\right)_{x1}}{\sigma^2_{x1}} x_1 + \frac{\left(\overline{X}' - \overline{X}''\right)_{x2}}{\sigma^2_{x2}} x_2 + \frac{1}{2}\left\{\frac{\left(\overline{X}''^2 - \overline{X}'^2\right)_{x1}}{\sigma^2_{x1}} + \frac{\left(\overline{X}''^2 - \overline{X}'^2\right)_{x2}}{\sigma^2_{x2}}\right\},$$

где $\left(\overline{X}' - \overline{X}''\right)_{x1}$ - разность эталонов двух классов первого предиктора x_1;

$\left(\overline{X}' - \overline{X}''\right)_{x2}$ - разность эталонов двух классов второго предиктора x_2;

σ^2 -дисперсия предикторов без разделения на классы.

<u>Задание 1</u>

1. Освоить метод «эталонов» и дать прогноз гроз для нескольких конкретных ситуаций.
2. Составить дискриминантную функцию и построить график для прогноза гроз.

<u>Исходный материал</u>

Выборка предикторов для двух классов процессов, с грозой и без грозы (табл. 7).

<u>Рекомендации по выполнению задания</u>

1. Определить эталоны всех предикторов для классов с грозой ($\overline{X}'$) и без грозы ($\overline{X}''$).
2. Определить дисперсию (σ^2) для всех предикторов.
3. Рассчитать расстояние Махаланобиса для предикторов и ранжировать предикторы в порядке убывания.
4. Оценить целесообразное количество предикторов (R~0,7) для прогноза по методу «эталонов».
5. Составить прогноз наличия или отсутствия гроз по величине l^2 в следующих конкретных ситуациях:

Ситуация	$T_{макс}$	$(T\text{-}Td)_{850}$	$(T\text{-}Td)_{700}$	$(T\text{-}Td)_{500}$	$\sum_{850}^{500}(T-Td)$
1	24	2	1	0	3
2	10	8	6	9	23
3	20	4	0	3	7
4	15	7	7	3	17
5	29	6	5	10	21
6	29	3	2	1	6

6. Составить дискриминантную функцию для прогноза гроз.

7. Построить график на основе дискриминантной функции. На осях графика отложить значения двух лучших предикторов. Плоскость раздела между двумя классами на графике должна соответствовать $L = 0$.

8. Определить по исходным данным зоны, соответствующие грозам и без гроз ($L \succ 0$ или $L \prec 0$).

9. По указанию преподавателя составить прогноз гроз на независимом материале и оценить оправдываемость по критерию ρ.

Отчетность

Представить прогностический график и оценку прогноза на независимом материале.

Таблица 7

Выборка предикторов для двух классов процессов, с грозой и без грозы

Грозы	$T_{макс.}$, ^0C	$(T\text{-}Td)_{850}$	$(T\text{-}Td)_{700}$	$(T\text{-}Td)_{500}$	$\sum(T\text{-}Td)_{850\text{-}500}$	H_{850}, гп.дкм	H_{700}
	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7
1	25	3	3	5	11	143	311
2	24	4	1	13	28	153	311
3	22	1	1	8	10	147	306
4	31	8	6	7	21	153	313
5	31	1	3	12	16	152	313
6	25	0	9	10	19	147	308
7	20	2	9	11	22	148	306
8	24	6	2	1	9	147	305
9	28	6	2	16	24	149	310
10	27	2	0	9	11	149	308
11	27	6	2	9	17	147	308
12	28	2	2	12	16	144	305
13	23	1	1	0	2	146	307
14	32	16	8	1	25	151	314
15	28	6	5	8	19	157	318
16	29	4	2	21	27	157	318
17	32	4	8	11	23	158	320
18	27	1	1	9	11	154	315
19	33	16	6	4	26	160	328
20	27	9	7	3	19	155	316

Окончание табл. 7

Без грозы	$T_{макс.}$	$(T\text{-}Td)_{850}$	$(T\text{-}Td)_{700}$	$(T\text{-}Td)_{500}$	$\sum(T\text{-}Td)_{850\text{-}500}$	H_{850}	H_{700}
	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7
1	24	0	3	10	13	148	312
2	24	11	20	24	55	149	308
3	29	7	12	15	34	150	310
4	29	13	28	16	58	152	312
5	27	15	7	8	30	152	309
6	35	18	7	12	37	151	314
7	32	6	8	17	31	154	326
8	30	3	9	16	28	162	324
9	25	8	27	22	57	142	310
10	23	10	20	14	44	150	310
11	27	6	5	11	25	160	317
12	23	6	9	12	27	152	310
13	27	7	6	11	24	153	312
14	28	6	8	11	25	152	309
15	21	6	22	10	38	148	306
16	19	4	1	2	7	145	301
17	15	1	0	12	13	147	304
18	30	6	4	11	21	154	314
19	28	4	2	3	9	156	315
20	23	3	0	8	11	153	313

Литература

1. Багров Н.А., Кондратович К.В., Педь Д.А., Угрюмов А.И. Долгосрочные метеорологические прогнозы. Л.: Гидрометеоиздат, 1985. С. 180–187.

2. Руководство по краткосрочным прогнозам погоды. Ч. 1. Л.: Гидрометеоиздат, 1986. С. 631–634.

3. Пановский Г.А., Брайер Г.В. Статистические методы в метеорологии. Пер. с англ. / Под ред. Л.С. Гандина, Р.Л. Кагана. Л.: Гидрометеоиздат, 1972. 210 с.

Часть II. МАТЕРИАЛ ДЛЯ СЕМИНАРОВ

Содержание второй части пособия изложено по научным статьям сотрудников Гидрометеорологического научно-исследовательского центра Российской Федерации, ФГБУ «Главная геофизическая обсерватория им. А.И. Воейкова», специалистов оперативных подразделений Росгидромета. Библиография публикаций приведена в списке литературы к теме семинара.

Тема 1. Составление метеорологического прогноза с использованием автоматизированной системы «Долгосрочник-синоптик».

Ниже приводится практический пример составления метеорологического прогноза на декабрь 2017 года с использованием автоматизированной системы «Долгосрочник-синоптик», представленного руководителем группы долгосрочных прогнозов Гидрометцентра Санкт-Петербурга Мироничевой Н.П. в учебном курсе «Общие положения ансамблевого сезонного прогнозирования» на форуме Северо-Евразийского климатического центра (СЕАКОФ-13). Технология прогноза представляет собой сочетание основных положений макроциркуляционного метода долгосрочных метеорологических прогнозов школы Г.Я. Вангенгейма - А.А. Гирса, численных баз данных, возможностей гидродинамического моделирования.

Технология прогноза и основное содержание выполняемых операций

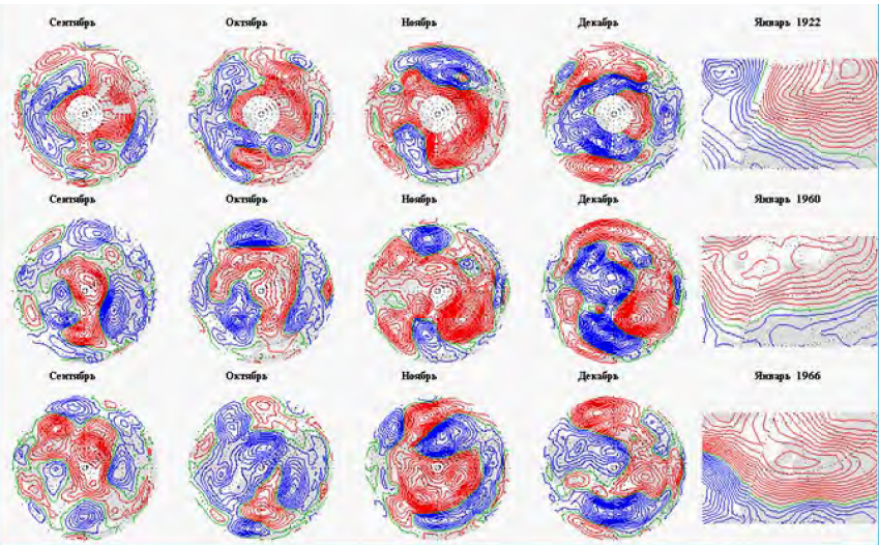
А. Использование идей и составление долгосрочного прогноза с помощью метода типовых макропроцессов.

1 этап – выбор типового макропроцесса в качестве прогностического;

2 этап – корректировка типового макропроцесса с учетом текущего синоптического процесса и гидродинамического прогноза на ближайшую перспективу;

3 этап – анализ выбранного сценария, подготовка прогностической продукции: текст, графики.

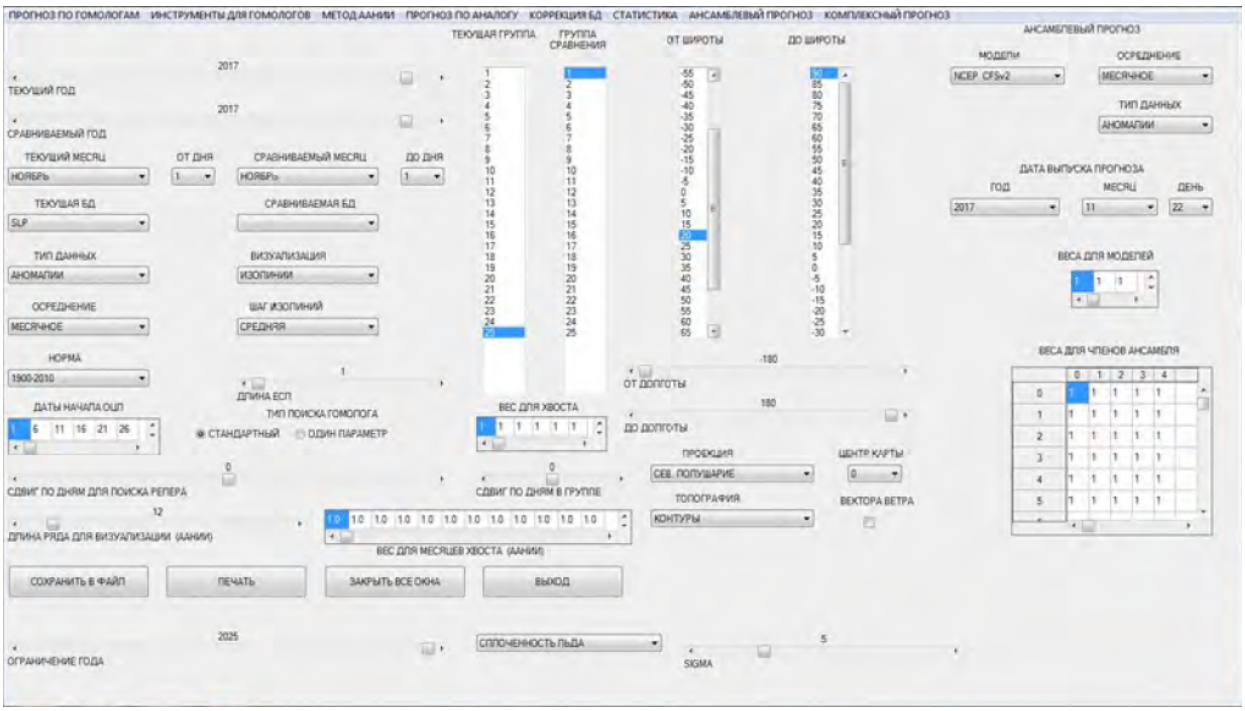
Б. Классификация – выделение типовых макропроцессов



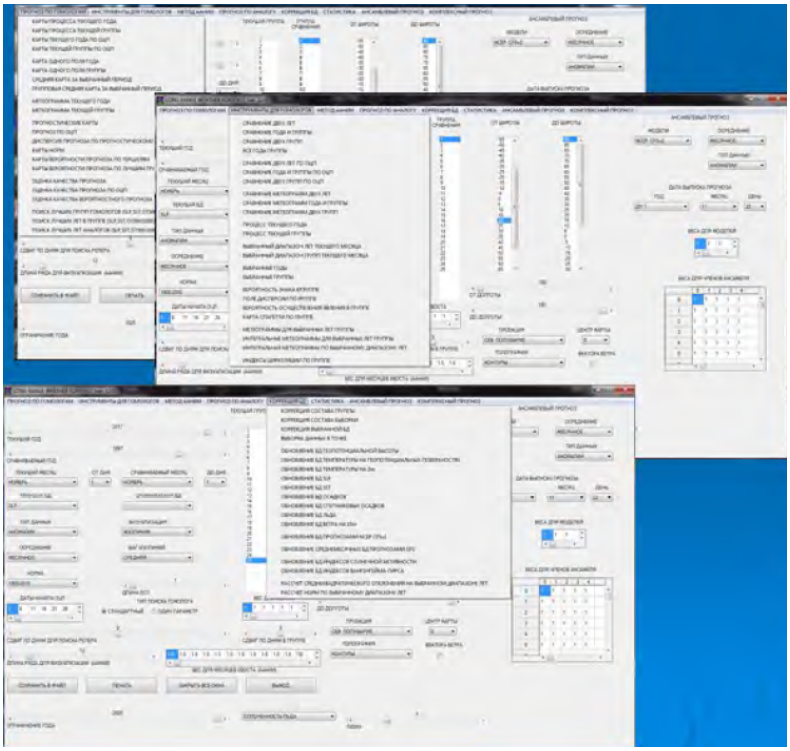
– Пример объединения трех индивидуальных макропроцессов в типовой (январь, группа № 17)

В. Технологическая схема первого этапа прогноза

Г. Автоматизированная система долгосрочного прогноза погоды (АИС «Долгосрочник-синоптик»), используемая в оперативной практике Гидрометцентра Санкт-Петербурга



Основной целью данной информационно-вычислительной системы является задача формализации и автоматизации множества рутинных процедур синоптических и статистических методов долгосрочного прогноза погоды и их комплексирования в единой оболочке.



Блок визуализации исходных баз данных и построения прогностических карт.

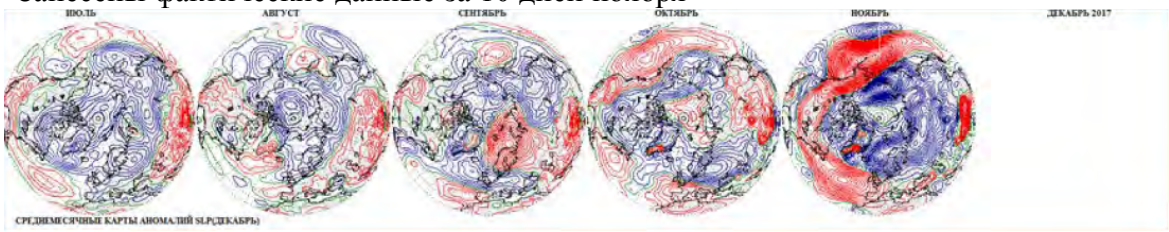
Блок пополнения и коррекции баз данных. Расчетный блок подбора гомологов и аналогов полей метеоэлементов.

Блок сравнительного анализа гидрометеорологических полей.

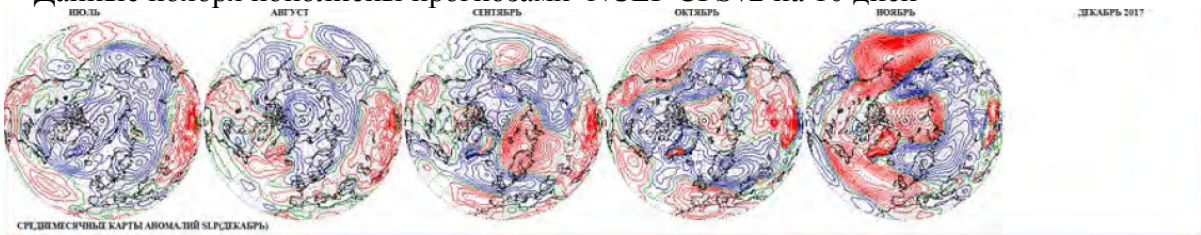
Блок оценки прогнозов: Набор статистических инструментов для экспресс-анализа пространственно-временных характеристик гидрометеорологических параметров.

Д. Пополнение баз данных

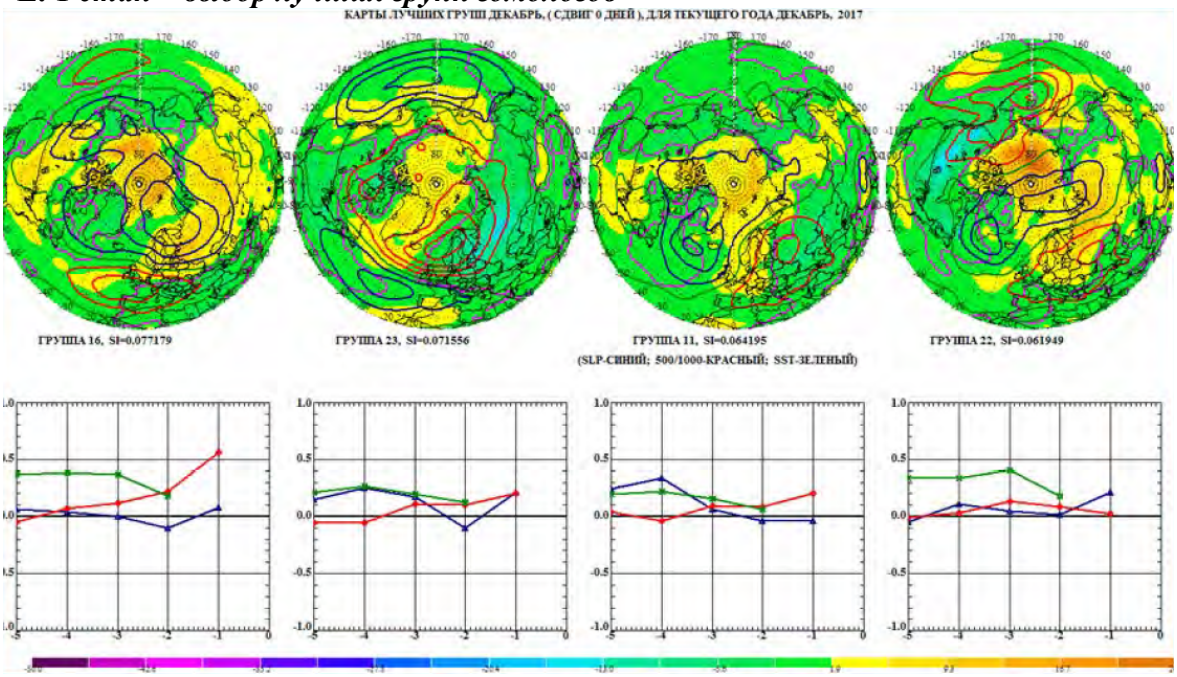
Занесены фактические данные за 10 дней ноября



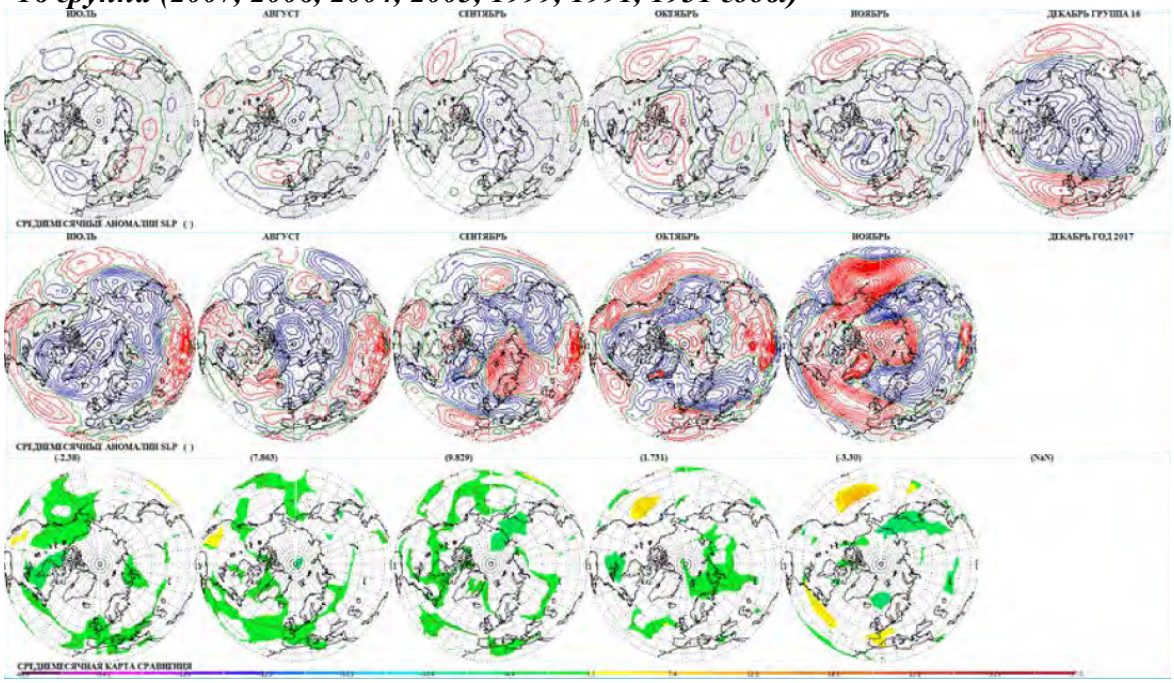
Данные ноября пополнены прогнозами NCEP CFSv2 на 10 дней



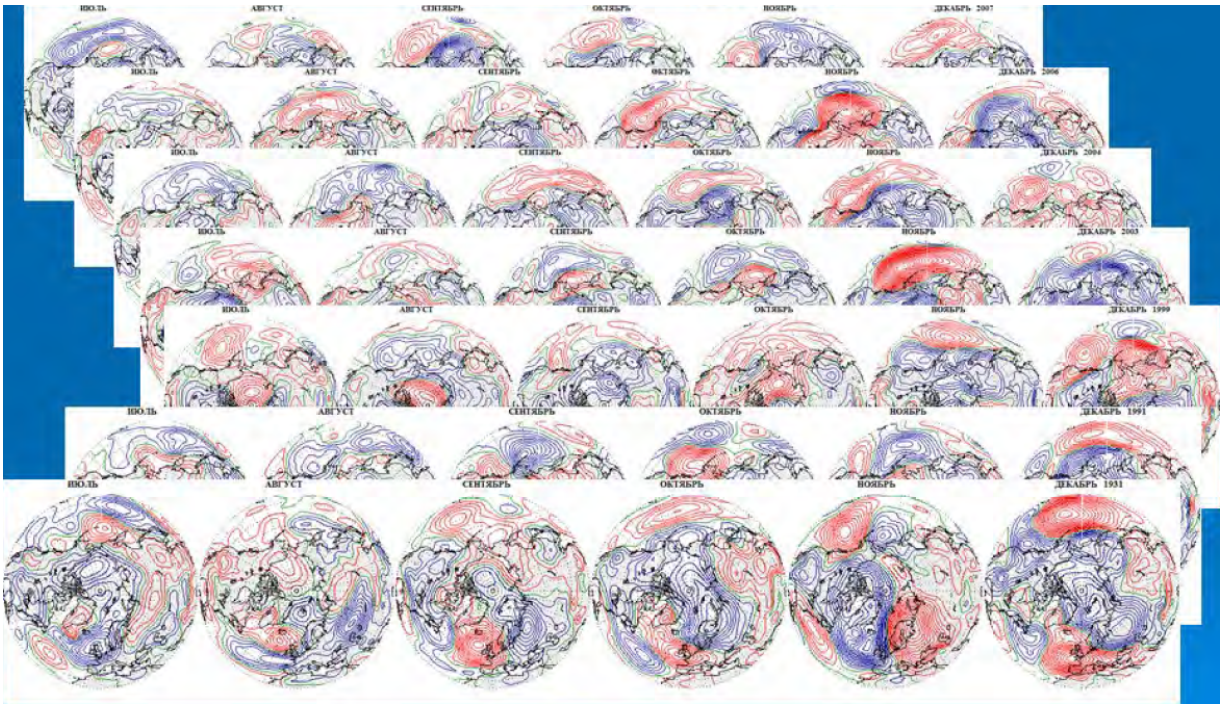
Е. 1 этап – выбор лучших групп гомологов



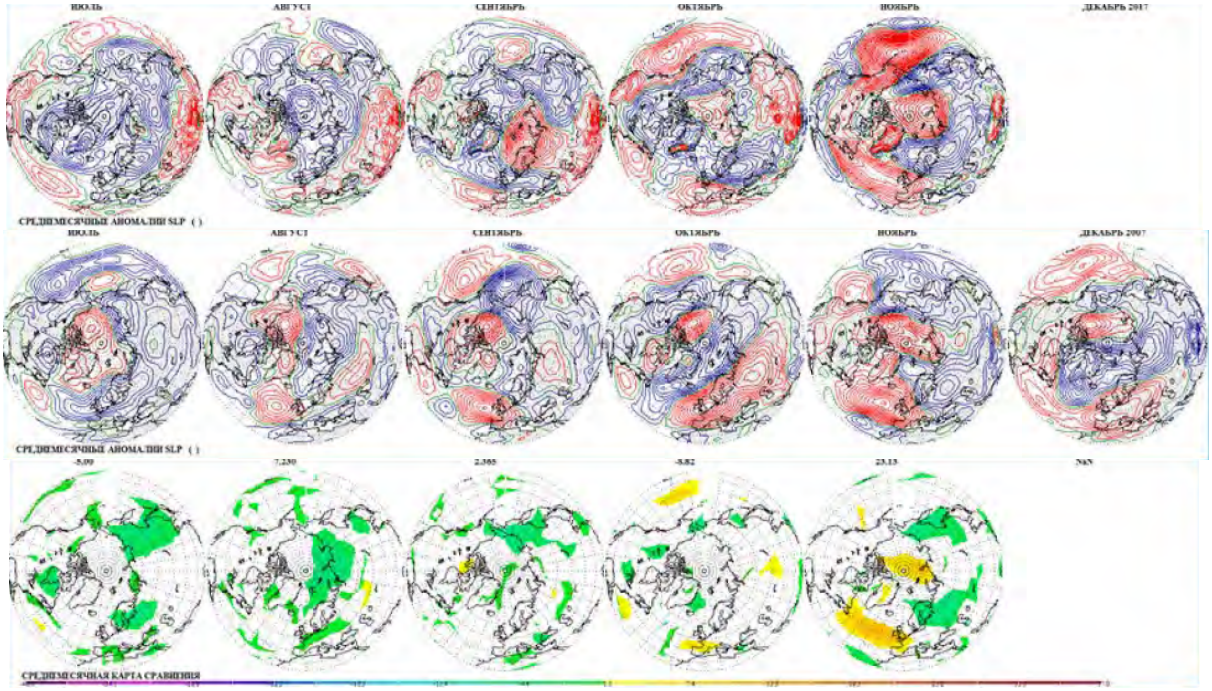
16 группа (2007, 2006, 2004, 2003, 1999, 1991, 1931 годы)



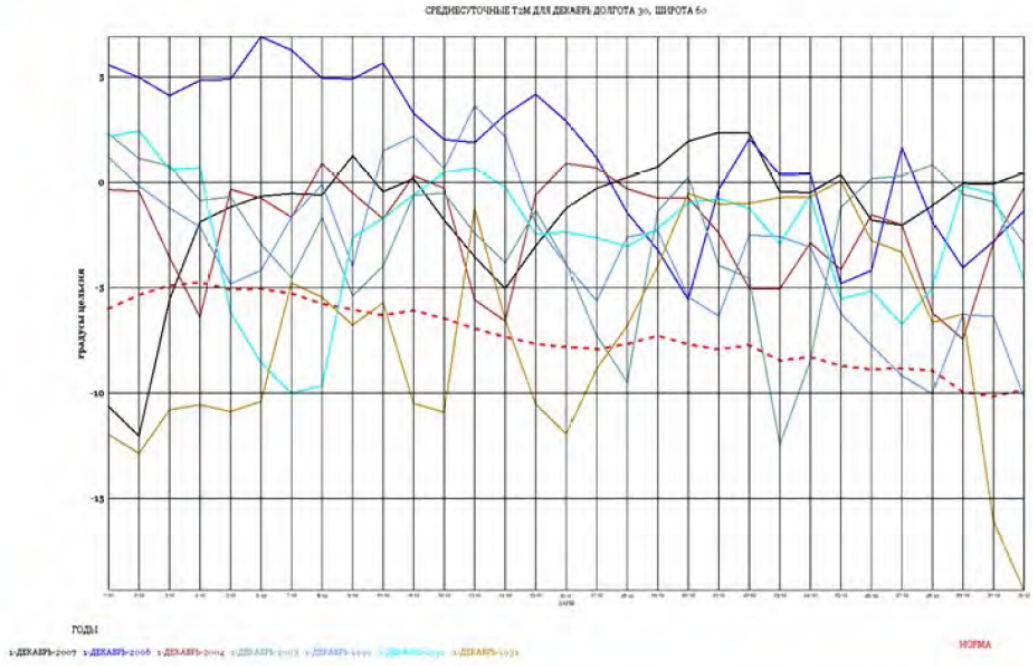
Фактические макропроцессы, формирующие типовой процесс (16 группа)



Сравнение с каждым годом, входящим в группу



Ж. Метеограмма для всех лет группы

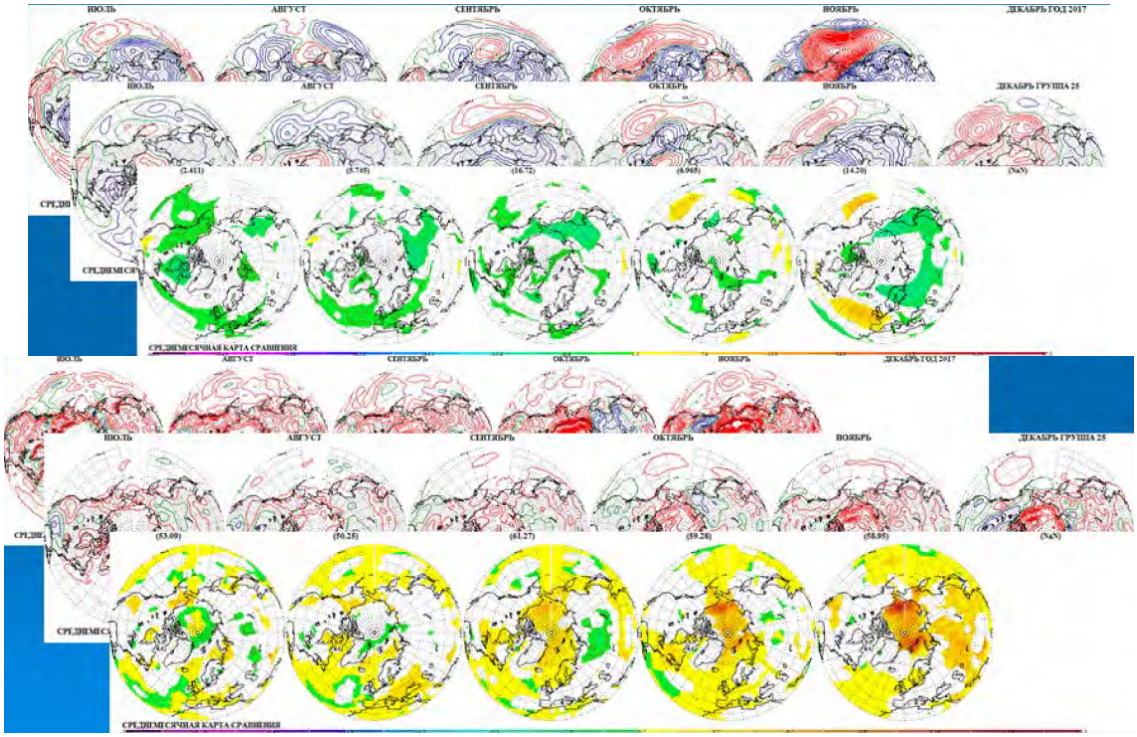


1931 и 2006 годы «выпадают» из общего фона

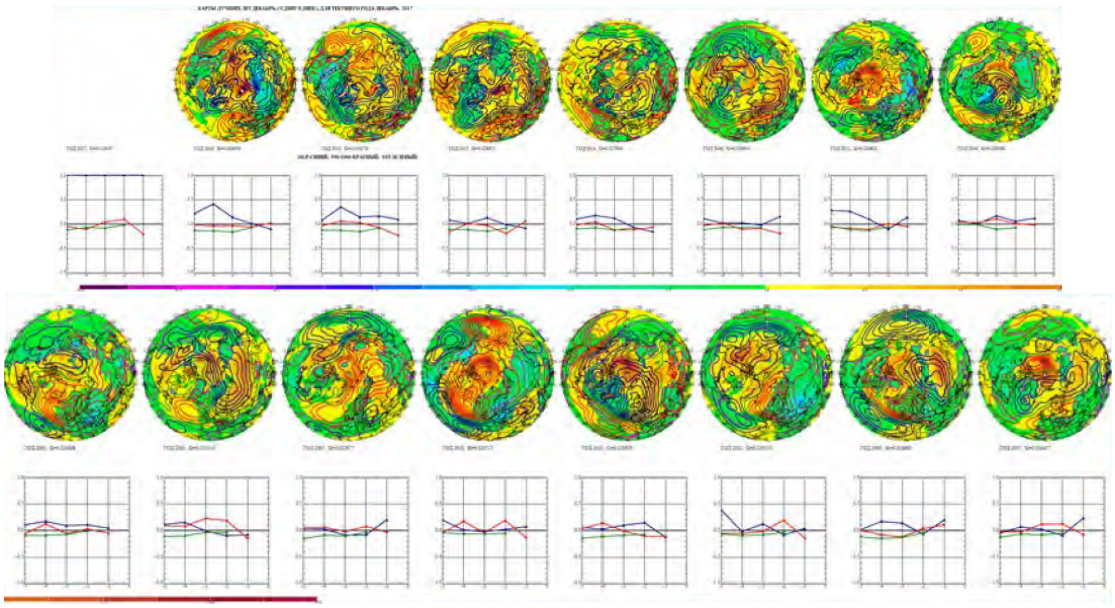
3. Модификация группы

- Модификация группы с целью увеличения сходства с текущей цепочкой макромасштабных преобразований.
- На основании попарного сравнения с текущей цепочкой преобразований и анализа метеограммы в группе оставили 2007, 2004, 1999 годы.

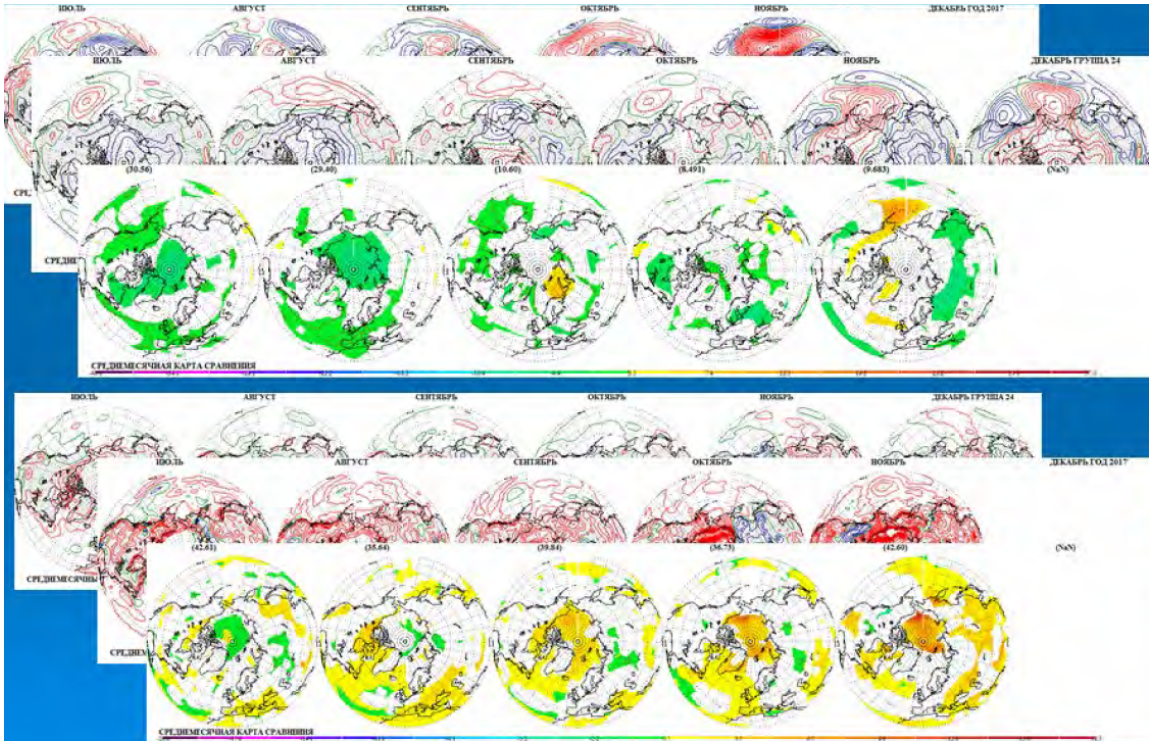
25 группа (модифицированная 16 группа)



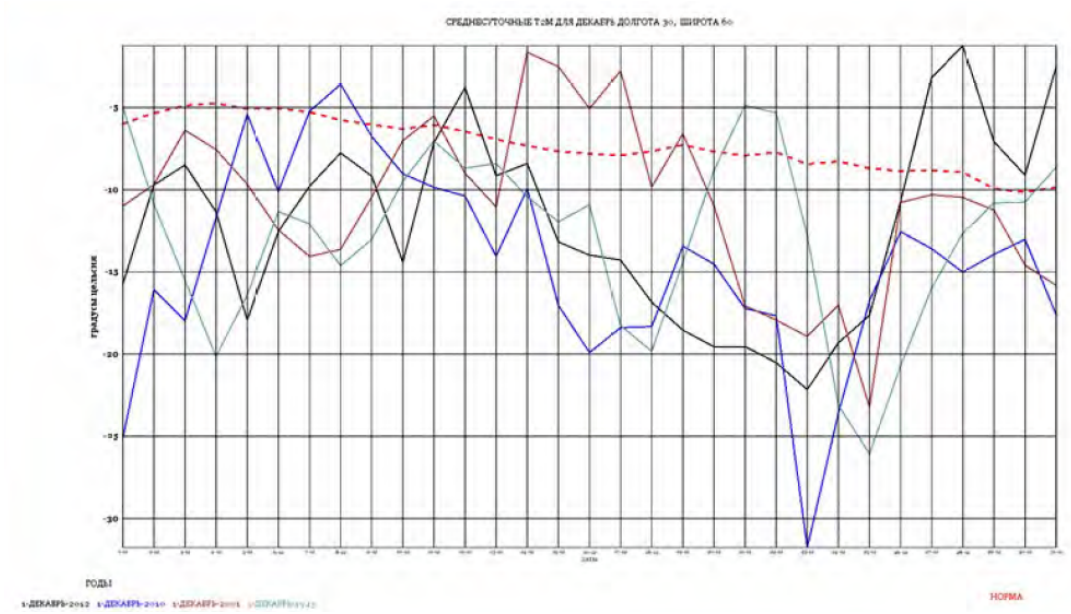
И. Годы-аналоги по ранжиру



24 группа (модифицированная 23 группа) – 2012, 2010, 2001, 1945 годы

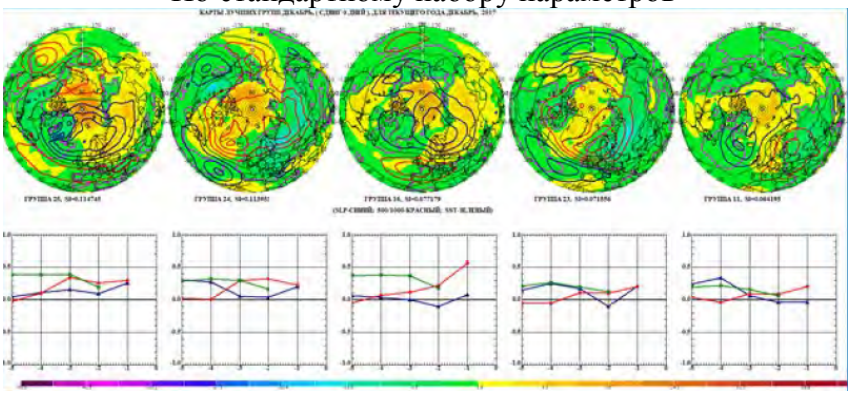


К. Метеограмма лет, формирующих типовой процесс 24 группы

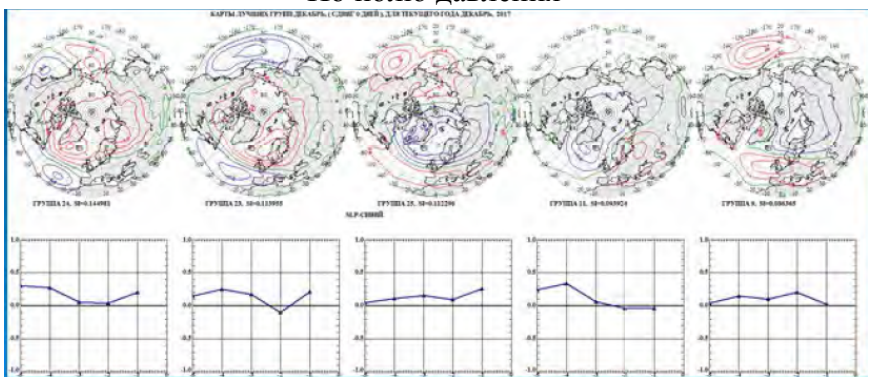


Л. Выбор прогностической группы

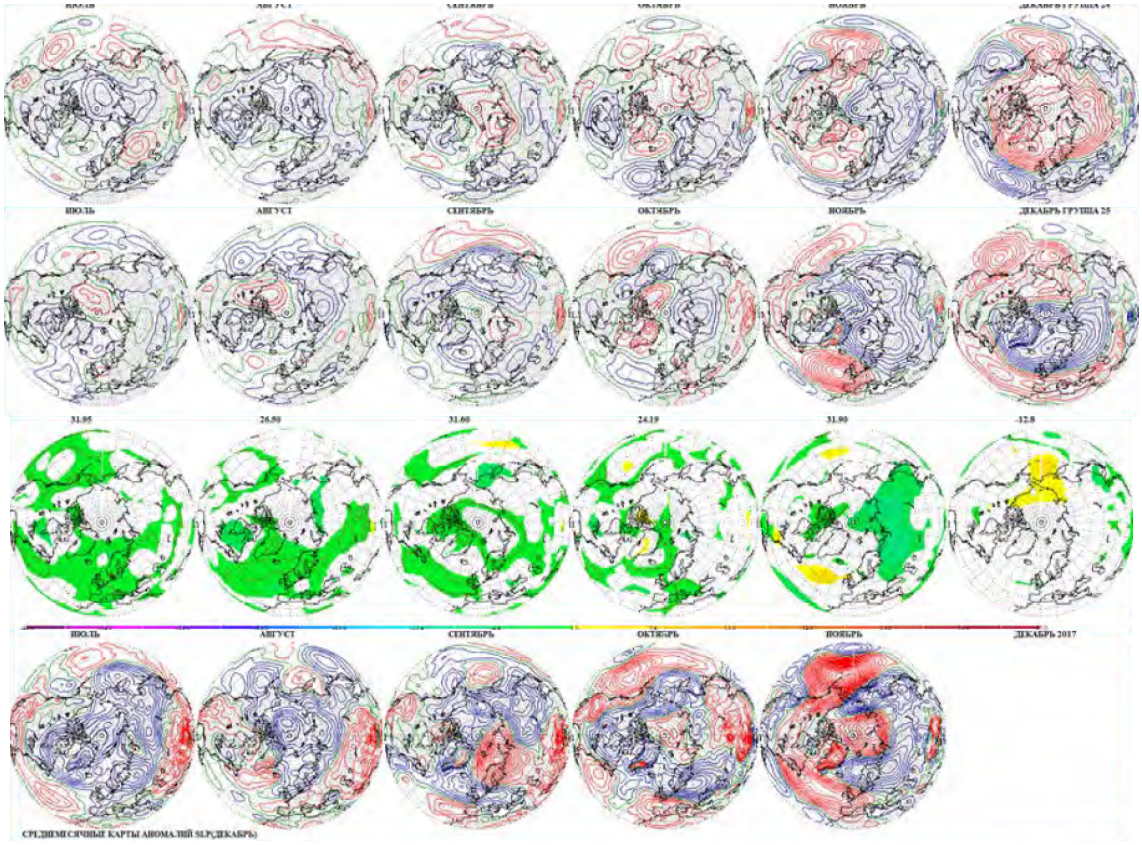
По стандартному набору параметров



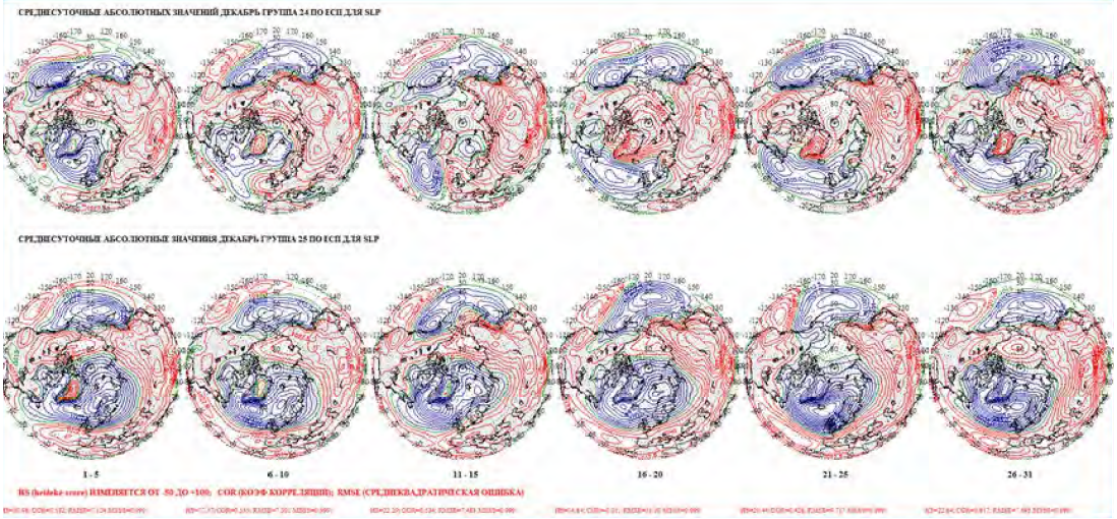
По полю давления



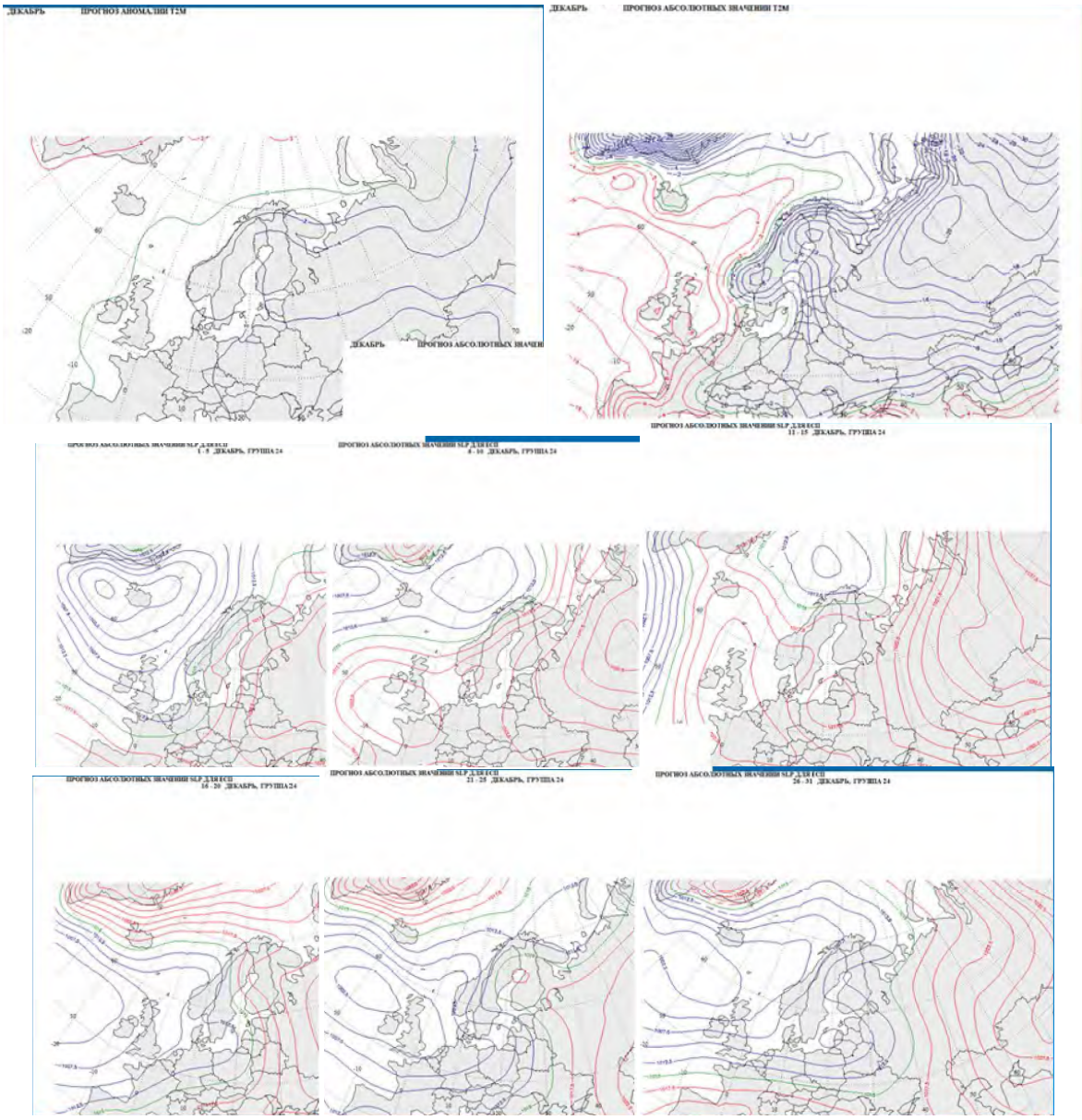
Сравнение двух групп



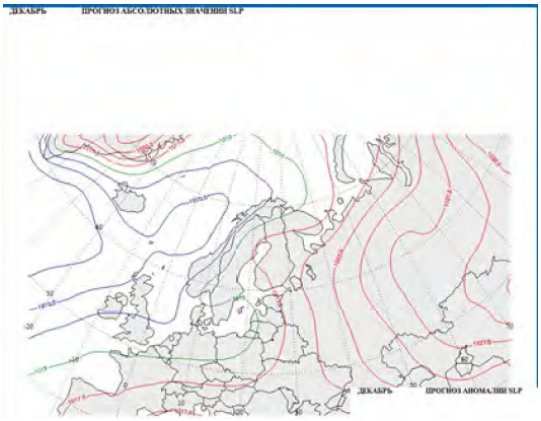
Сравнение двух групп по ОЦП

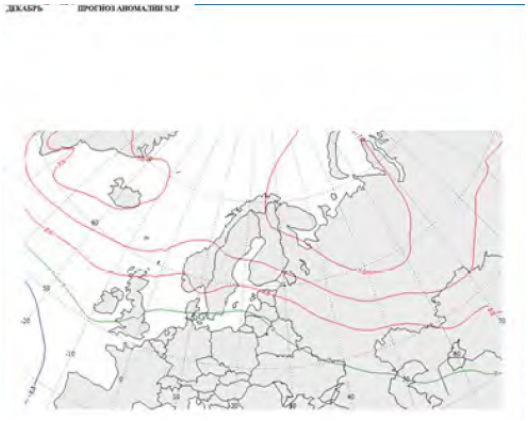


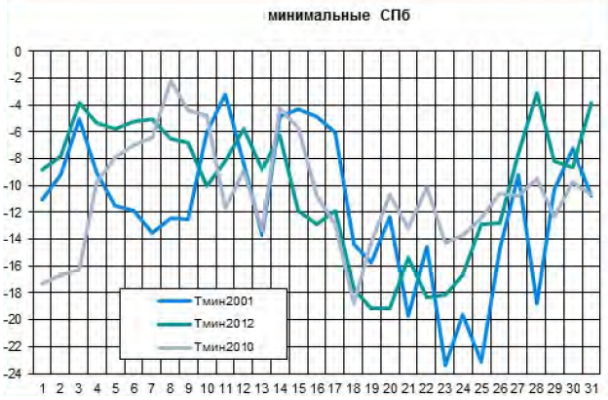
М. Прогностические поля температуры

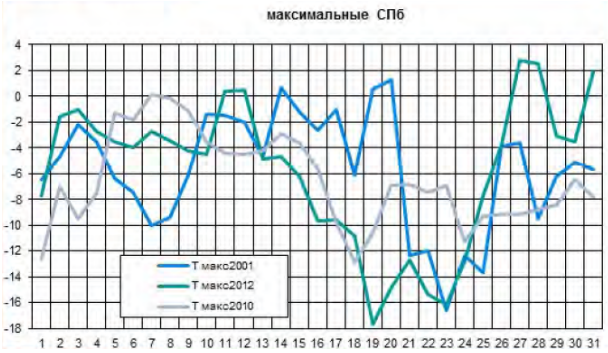


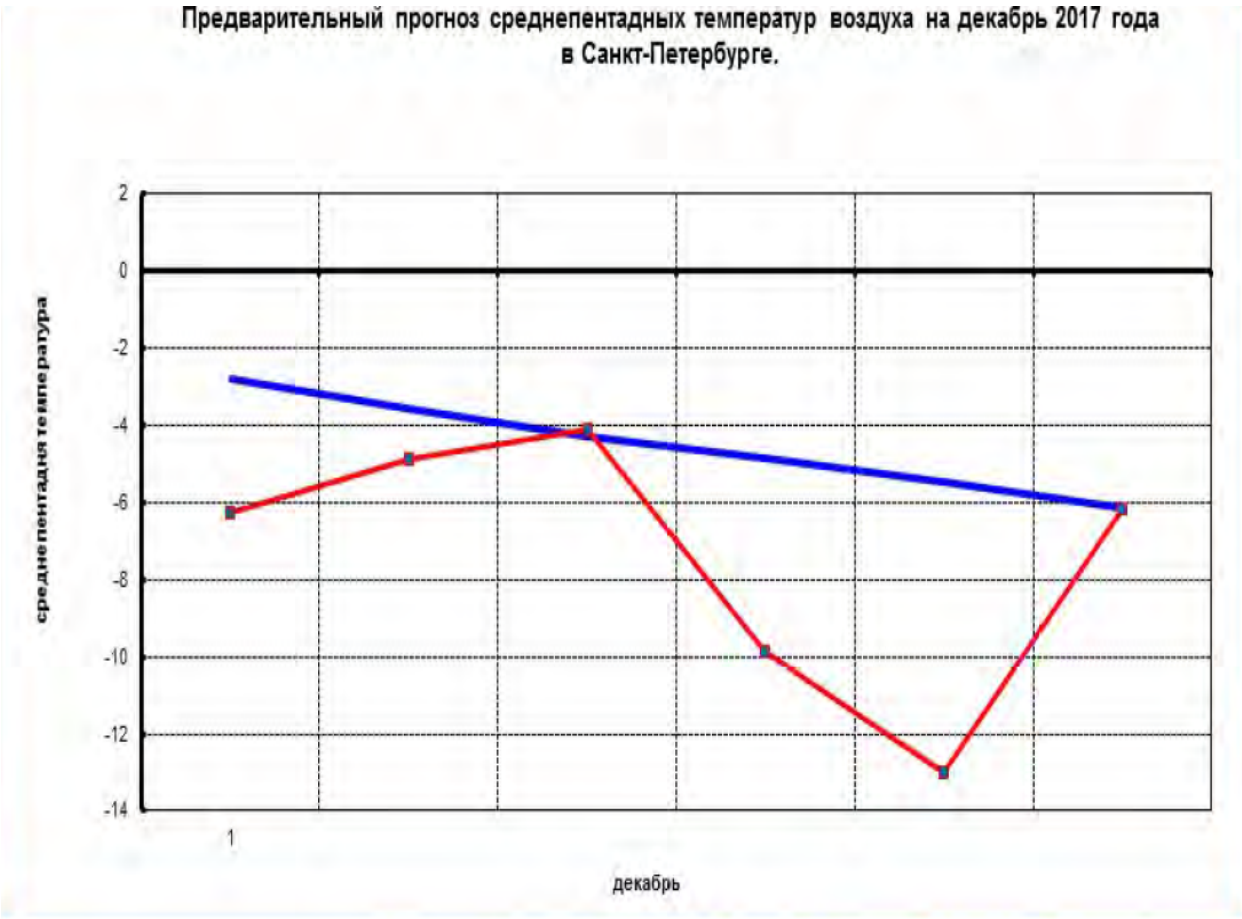
Прогностические поля давления











Рекомендуемая литература к теме

1. Цепелев В.Ю. Специализированная информационно-вычислительная система анализа пространственно-временных рядов гидрометеорологических характеристик и ее использование в задачах разработки прогнозов погоды на месяц / Труды научного семинара Национальной академии наук Украины и Российского фонда фундаментальных исследований «Проблемы и достижения долгосрочного метеорологического прогнозирования», Киев, Украина, 5-7 октября 2011 г. Киев: Ника, 2012. С. 84–99.

2. Багров Н.А., Кондратович К.В., Педь Д.А., Угрюмов А.И. Долгосрочные метеорологические прогнозы Л.: Гидрометеоиздат, 1985. С.162–174.

Тема 2. Современное состояние оперативного долгосрочного прогнозирования с применением гидродинамического моделирования

Успехи гидродинамического моделирования процессов в атмосфере и климатической системы в целом, достигнутые в мировой науке на базе современных суперкомпьютерных технологий, обеспечили возможность использования моделей общей циркуляции атмосферы (МОЦА), а также совместных моделей циркуляции атмосферы и океана (МОЦАО) в расчетах эволюции метеорологических условий на длительные сроки (месяц, сезон) с перспективой построения бесшовных технологий прогнозирования погоды и климата. Благодаря физической обоснованности, успешности и технологическим возможностям, включающим ансамблевые расчеты и вероятностные оценки неопределенности, методы месячных и сезонных прогнозов на основе МОЦА и МОЦАО находят активное применение в практике передовых прогностических центров, все больше вытесняя методы, полностью основанные на эмпирико-статистическом подходе. Попытки сравнения успешности гидродинамических и статистических прогнозов показывают, что качество прогнозов, выполненных на основе современных физически полных МОЦА, в среднем не только не уступает оценкам статистических прогнозов, но оказывается, как правило, существенно лучше. Однако следует признать, что степень неопределенности долгосрочных прогнозов остается весьма значительной, и при увеличении заблаговременности до 20 – 30 суток она приближается к естественной климатической изменчивости. При крайней практической заинтересованности в долгосрочных прогнозах, уровень их успешности не удовлетворяет запросы потенциальных потребителей.

Сложность и ресурсоемкость исследований по гидродинамическому долгосрочному прогнозу, глобальный охват рассматриваемых процессов потребовали объединения усилий в международном масштабе. В последние годы были инициированы многие совместные проекты, нацеленные на построение мультимодельных ансамблевых прогнозов. В России развитие методов ансамблевых гидродинамических прогнозов на месяц и сезон осуществляется в двух научных центрах Росгидромета – ФГБУ «Гидрометцентр России» (ГМЦ) и ФГБУ «Главная геофизическая обсерватория им. А.И. Воейкова» (ГГО).

2.1 Технология долгосрочных прогнозов ГГО [4]

Ядром прогностической технологии является физически полная глобальная спектральная МОЦА T63L25 [1]. Горизонтальное разрешение модели $1{,}9^o * 1{,}9^o$, приблизительно 190 км, по вертикали учитывается 25 уровней в сигма системе координат, шаг по времени составляет – 10 минут. В качестве начальных данных о состоянии атмосферы, вводимых в модель на старте, используются данные объективного анализа атмосферных полей по сетке ($2{,}5^o * 2{,}5^o$), выполняемого в ГМЦ.

При задании начального состояния температуры поверхности океана (ТПО) и концентрации морского льда используются результаты их еженедельного анализа, размещаемые на сайте (htpp://iridl.ldeo.columbia.edu) Граничные условия формулируются в предположении постоянства начальных аномалий ТПО на всем периоде интегрирования, начальные аномалии концентрации морского льда удерживаются неизменными в течение 21 суток, с последующей релаксацией к климатическому распределению.

Для построения вероятностных прогностических распределений предусмотрен расчет ансамбля из девяти прогнозов, один из которых рассчитывается по невозмущенным начальным полям и восемь – по возмущенным. Результаты расчетов эволюции глобальных полей для:

- геопотенциала поверхности 500 гПа (H500),
- давления на уровне моря (SPL),

- температуры воздуха на уровне 850 гПа (T850),
- температуры воздуха у земли (TRSF),
- интенсивность атмосферных осадков (PREC),

Осредненные по суткам за 1 – 45 сутки, запоминаются и используются для формирования пакета прогностической продукции на этапе постобработки. Все прогнозы выполнялись на суперкомпьютерном комплексе Kraftway с пиковой производительностью 0,7 Tflop/s. В настоящее время технология реализована также на сервере SuperMicro (4 процессора по 8 ядер). Время счета одного ансамблевого прогноза составляет около 6-7 часов.

Состав прогностических величин

Выходной прогностический комплект по каждой характеристике включает поля аномалий, осредненных по времени для шести прогностических периодов: 1, 2, 3, 4-ю недели и два месячных временных отрезка (2-31 и 16-45 сутки), именуемых в дальнейшем, соответственно, *месяц 1* и *месяц 2*.

В следующем выпуске прогноза все периоды сдвигаются на одну неделю. Величина прогностической аномалии в каждой точке рассчитывается по результатам девяти ансамблевых прогнозов как отклонение среднего по ансамблю значения, корректированного на величину систематической ошибки, от соответствующей нормы (среднего значения) эталонного климатического ряда. Таким образом, величина аномалии является выборочной оценкой математического ожидания прогностического вероятностного распределения. Кроме того, по ансамблю прогнозов рассчитываются вероятности попадания аномалии в три заранее установленные градации («ниже нормы», «норма», «выше нормы»). Границами градаций являются процентили 33,3 % распределений эталонных климатических рядов. Таким образом, выходной комплект включает для каждой из пяти метеорологических характеристик в каждой точке глобальной сетки ($2{,}5^o$ * $2{,}5^o$) прогностические оценки четырех величин (средняя аномалия и три значения вероятности осуществления градаций «ниже нормы», «норма», «выше нормы») в каждом из шести периодов прогноза.

Технология предусматривает также детализацию прогнозов приземной температуры воздуха и количества осадков для отдельных пунктов. В настоящее время прогнозы рассчитываются по сети 70 станций, расположенных в Северо-Евразийском регионе. Расчеты суточных прогностических значений в пунктах осуществляются по сеточным данным четырех ближайших узлов посредством билинейной интерполяции.

Дополнительные этапы разработки модели

1. Оценки эталонного климата, т.е. определение параметров распределения всех прогнозируемых характеристик недельного и месячного осреднения для любой фазы в годовом цикле по архивам Реанализа 2 и ВНИИГМИ-МЦД.

2. Коррекция систематических ошибок, возникающих вследствие отличия климата модельной атмосферы от реального климата. Для оценки ошибок, соответствующих каждому временному интервалу, необходимо иметь ряды исторических прогнозов (hindcasts) и соответствующих им фактических данных.

3. Подготовка вероятностных прогнозов: для оценки вероятности попадания прогностической величины в заданную градацию осуществляется подсчет числа индивидуальных ансамблевых прогнозов, попавших в эту градацию, с последующим делением на общее число членов ансамбля. Так, при ансамбле из девяти прогнозов значения вероятностей кратны 1/9, т.е. определяются довольно грубо.

4. Оценка успешности прогнозов – предполагает сравнение прогноза с фактом, установленным по данным наблюдений. Для потребителей важны количественные значения ошибок прогнозов и процент прогнозов, которые при заданном допуске классифицируются как оправдавшиеся. Для исследователей важно знать уточняют ли прогнозы климатическую информацию и, если да, то насколько. Исходя из методических рекомендаций [2] для анализа успешности рассчитываются средние ошибки величины аномалии (в непрерывной шкале):

арифметические (ME), квадратические (RMSE), относительные (Q), коэффициенты корреляции аномалий (AC), индексы ρ. Рассчитывается показатель MSSS, характеризующий уменьшение среднего квадрата ошибки методического прогноза относительно ошибки климатического прогноза. При анализе качества вероятностных прогнозов – характеристика ROC (relative operating characteristic) соотносящая доли оправдавшихся прогнозов и ложных тревог.

Оперативные испытания данной модели проводились с апреля 2012 г. по март 2017 г. (выпущено 259 прогнозов). Для анализа успешности применялись относительные критерии Q и AC. Выявлено закономерное снижение качества прогнозов по мере увеличения заблаговременности от первой недели к четвертой и от месяца 1 к месяцу 2. Вместе с тем для всех переменных и прогностических периодов средние значения AC значимо положительны. Наиболее успешными были прогнозы H500 и приземной температуры.

Оценка успешности вероятностных прогнозов, т.е. способности прогностической системы к дискриминации событий по критерию ROC, показала, что вероятностные прогнозы по температуре воздуха имели значение критерия больше 0,5 (уровень климатического прогноза). Прогнозы осадков были относительно успешными на 1, 2 недели и месяц с нулевой заблаговременностью, особенно в части прогнозов градаций «выше/ниже нормы».

Заключение

Изложенная технология позволяет расширить спектр прогностической продукции традиционного месячного прогноза. Увеличение заблаговременности месячных прогнозов до двух недель, временная и пространственная детализация, прогнозирование в терминах вероятностей, а также режим еженедельного выпуска прогнозов – все это должно способствовать более активному использованию прогностической информации, которая, несмотря на высокую степень неопределенности, существенно дополняет и по ряду позиций уточняет климатические данные.

Рекомендуемая литература

1. Мелешко В.П., Матюгин В.А., и др. Модель общей циркуляции атмосферы ГГО (версия MGO-03 T63L25) // Труды ГГО. 2014. Вып. 571. С. 5–87.

2. Методические указания по проведению производственных (оперативных) испытаний новых и усовершенствованных методов гидрометеорологических и гелиофизических прогнозов. РД 52.27.284-91. М.: Комитет гидрометеорологии при Кабинете министров СССР. 1991. 150 с.

3. Вильфанд Р.М., Мартазинова В.Ф., Цепелев В.Ю., и др. Комплексирование синоптико-статистических и гидродинамических прогнозов температуры воздуха на месяц // Метеорология и гидрология. 2017.№ 8. С.5-17.

4. Мирвис В.М., Мелешко В.П., Львова Т.Ю., Матюгин В.А. Пятилетний опыт оперативного прогнозирования метеорологических условий на срок до 45 суток на основе модели общей циркуляции атмосферы ГГО (версия MGO-03 T63L25) // Труды Гидрометцентра России. 2017. Вып. 366. С. 29–50.

2.2 Технология глобальных вероятностных и детерминистических еженедельных и месячных прогнозов на базе модели ПЛАВ (Гидрометцентр РФ) [27]

Введение

Согласно классификации Всемирной метеорологической организации (ВМО), долгосрочными называются метеорологические прогнозы на срок от 30 суток до двух лет. Прогнозы на срок свыше двух лет уже относятся к прогнозам климата. Вместо термина «долгосрочный прогноз погоды» в настоящее время используется термин «долгосрочный метеорологический прогноз» (ДМП), так как объектами прогнозирования на долгие сроки являются не мгновенные значения метеорологических элементов, ассоциируемые со словом «погода», и не индивидуальные структуры в атмосферных течениях, а статистические характеристики состояния атмосферы в период прогноза. Физической основой долгосрочных прогнозов служат гипотезы о решающей роли внешних воздействий в долгопериодной динамике атмосферы. Предполагается, что для больших промежутков времени (сезон и более) состояние атмосферы уже не будет зависеть от начальных условий, а будет определяться притоками энергии извне.

Степень детализации сезонных прогнозов, обычно представляемых в терминах вероятностей трех категорий средних за период прогноза аномалий (выше/ниже/около нормы), не устраивает многих потребителей. В условиях возрастающих потребностей со стороны водного хозяйства, энергетики, сельского хозяйства и других отраслей экономики возникает необходимость в развитии систем прогнозирования на внутрисезонных интервалах времени. Прогнозы метеорологических параметров на интервалах времени от 10 суток до 1-3 месяцев занимают промежуточное положение между среднесрочными прогнозами (на период до 10 суток) и прогнозами на сезон.

Трудности такого рода прогнозирования определяются необходимостью учета, с одной стороны, влияния медленно меняющихся внешних воздействий. С другой стороны, на внутрисезонных временных масштабах еще сохраняются элементы памяти о начальном состоянии системы «атмосфера–деятельный слой подстилающей поверхности». Возможности ДМП при этом зависят от относительной роли изменчивости, определяемой внешними вынуждающими воздействиями на атмосферу, в сравнении с ее собственной, «внутренней» изменчивостью, обусловленной динамической неустойчивостью атмосферных течений.

В настоящее время оперативные прогнозы на внутрисезонных интервалах времени выпускаются Европейским центром среднесрочных прогнозов погоды, метеорологическими центрами Великобритании, США, Франции, Канады, Японии 1-2 раза в неделю. В 2013 году под эгидой Всемирной программы метеорологических исследований и Всемирной программы исследования климата ВМО стартовал пятилетний проект по внутрисезонному прогнозированию S2S (Subseasonal to Seasonal Prediction Project), нацеленный на улучшение понимания процессов в системе «атмосфера - океан - суша - лед» на временных масштабах до сезона, повышение успешности прогнозов в этом временном диапазоне и ускорение их практического внедрения [25].

В России практическая деятельность в области ДМП ведется в Гидрометцентре России и в Главной геофизической обсерватории им. А.И. Воейкова (ФГБУ «ГГО») [8, 9, 14, 16]. В рамках деятельности Северо-Евразийского климатического центра (СЕАКЦ) реализована технология оперативного выпуска долгосрочных прогнозов с недельной и месячной детализацией. Проведены совместные испытания прогнозов на основе технологий Гидрометцентра России и ГГО. В соответствии с Решением Центральной методической комиссии по гидрометеорологическим и гелиогеофизическим прогнозам от 20 июня 2017 г. рекомендовано использовать прогнозы Гидрометцентра России и ГГО, а также мультимодельные прогнозы в информационном обеспечении СЕАКЦ со статусом

«консультативные прогнозы» с публикацией полученных оценок успешности прогнозов на сайте.

2.2.1 Технологическая линия

В Гидрометцентре России по аналогии со схемой сезонного прогноза реализована технология выпуска долгосрочных прогнозов с недельной детализацией (рис. 1). Сходство технологий определяется единой вычислительной основой, которой является модель ПЛАВ, разработанная в Институте вычислительной математики РАН и Гидрометцентре России [14, 16] с суточной дискретностью записи прогностической информации.

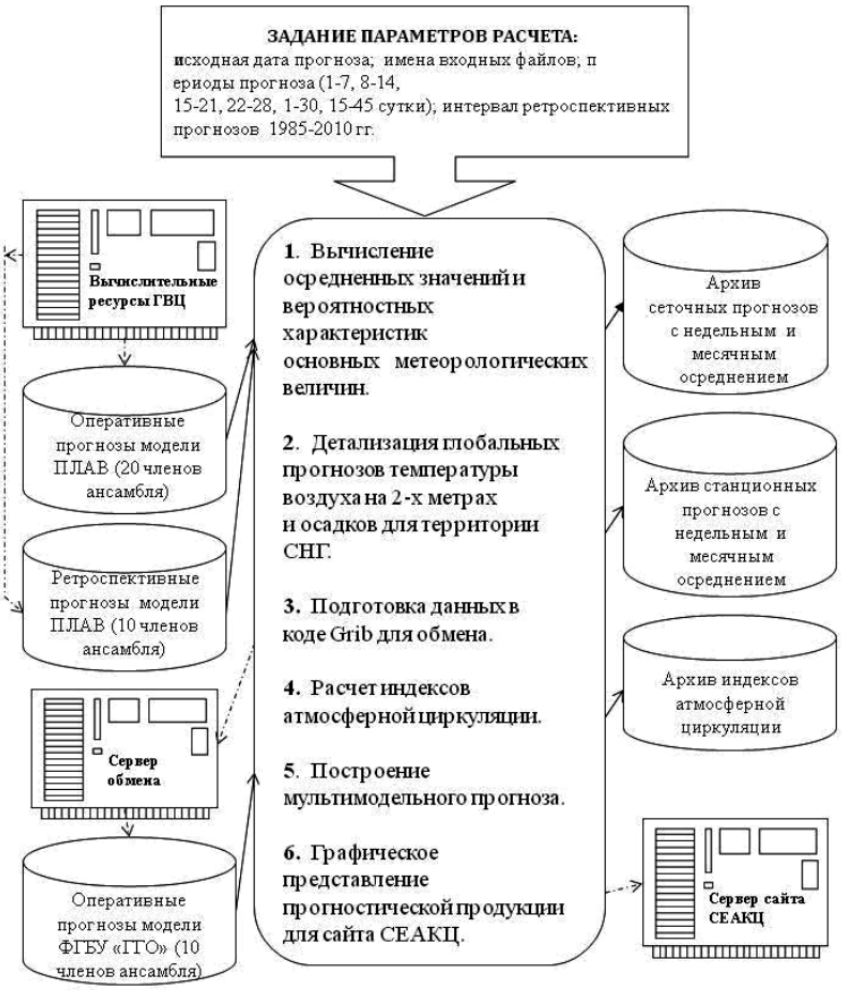


Рис. 1. Блок-схема технологической линии долгосрочных прогнозов с недельной и месячной дискретизацией, реализованной на сервере СЕАКЦ

Долгосрочные прогнозы с недельной и месячной дискретизацией составляются один раз в неделю (в середине каждой недели) с осреднением 1-7 (1-я неделя), 8-14 (2-я неделя), 15-21 (3-я неделя), 22-28 (4-я неделя), 1-30 (1-й месяц) и 16-45 (2-й месяц) суток. При выборе данных в суточной дискретности разработаны программы, позволяющие формировать по исходным данным интервалы осреднений переменной длины. Такая гибкость позволяет в случае необходимости изменить временные окна для прогноза и для оценки качества прогностической схемы (мониторинг).

Результаты интегрирования модели передаются по локальным и глобальным линиям связи. На специально выделенном сервере СЕАКЦ в операционной среде UNIX создан блок постобработки ансамблей численных долгосрочных прогнозов. Итоговой продукцией

постобработки являются детерминистические и вероятностные прогнозы метеорологических полей, которые по локальной сети Гидрометцентра России передаются на сервер СЕАКЦ. Для обмена (с использованием внешнего сервера обмена) прогностическими данными между Гидрометцентром России и ГГО им. Воейкова созданы процедуры выделения и архивирования полей аномалий основных метеорологических величин и вероятностей по трем равновероятным градациям (ниже нормы, норма и выше нормы) за недели и месяцы (на срок до 1,5 месяца). Проведен предварительный анализ и согласование исходных фактических и климатических полей, используемых в Гидрометцентре России и ГГО. Полученные по глобальной сети прогностические данные модели ГГО используются для создания долгосрочного мультимодельного прогноза. Объединяются результаты расчетов средних ансамблевых аномалий (с исключенными систематическими ошибками) и вероятностей трех градаций, что позволяет получить добавочную стоимость за счет простого объединения ансамблей (в оперативном режиме формируются двадцать прогнозов по модели ПЛАВ и десять по модели ГГО).

В рамках основной технологической линии глобальных долгосрочных прогнозов метеорологических величин создана схема пространственной детализации прогнозов температуры воздуха и осадков для 70 станций СНГ. Блок статистической интерпретации, реализованный в вычислительной среде сервера СЕАКЦ, включает процедуры, позволяющие получить по результатам расчетов глобальных полей приземной температуры воздуха и осадков на основе модели ПЛАВ Гидрометцентра России и модели ГГО, значения температуры воздуха и осадков на станциях. В качестве основного метода обработки исходной информации используется метод билинейной интерполяции. Результатами являются прогностические значения температуры воздуха и осадков для 70 станций, расположенных на территории СНГ, полученные отдельно для каждой из четырех недель и двух месяцев (с нулевой и двухнедельной заблаговременностью).

2.2.2 Основные виды продукции

Информация о деятельности СЕАКЦ, результаты оперативной работы, научные и учебные материалы размещаются на сайте СевероЕвроазиатского климатического центра (http://neacc.meteoinfo.ru/). В список основной прогностической продукции входят глобальные поля (на сетке с пространственным разрешением 2,5×2,5 градуса широты и долготы) аномалий:

- геопотенциала изобарической поверхности 500 гПа;
- температуры воздуха на уровне поверхности 850 гПа;
- атмосферного давления на уровне моря;
- приземной температуры воздуха;
- суммарных осадков.

На прогностической странице сайта представлены карты пространственного распределения средних по ансамблю аномалий (детерминированные прогнозы), а также вероятностей указанных выше метеорологических величин для трех основных градаций (ниже нормы, норма и выше нормы) с недельным и месячным разрешением. В целях кластеризации используются терцили, полученные на материалах ретроспективного интегрирования (1985-2010 гг.). Результаты прогнозов регулярно (раз в неделю) обновляются на сайте СЕАКЦ. На рис. 2 приводится пример прогностической продукции для региона Северной Евразии.

На сайте также размещается информация об аномальных метеорологических ситуациях, полученная на основе синоптической интерпретации недельных и месячных прогнозов основных метеорологических величин, а также фактических данных.

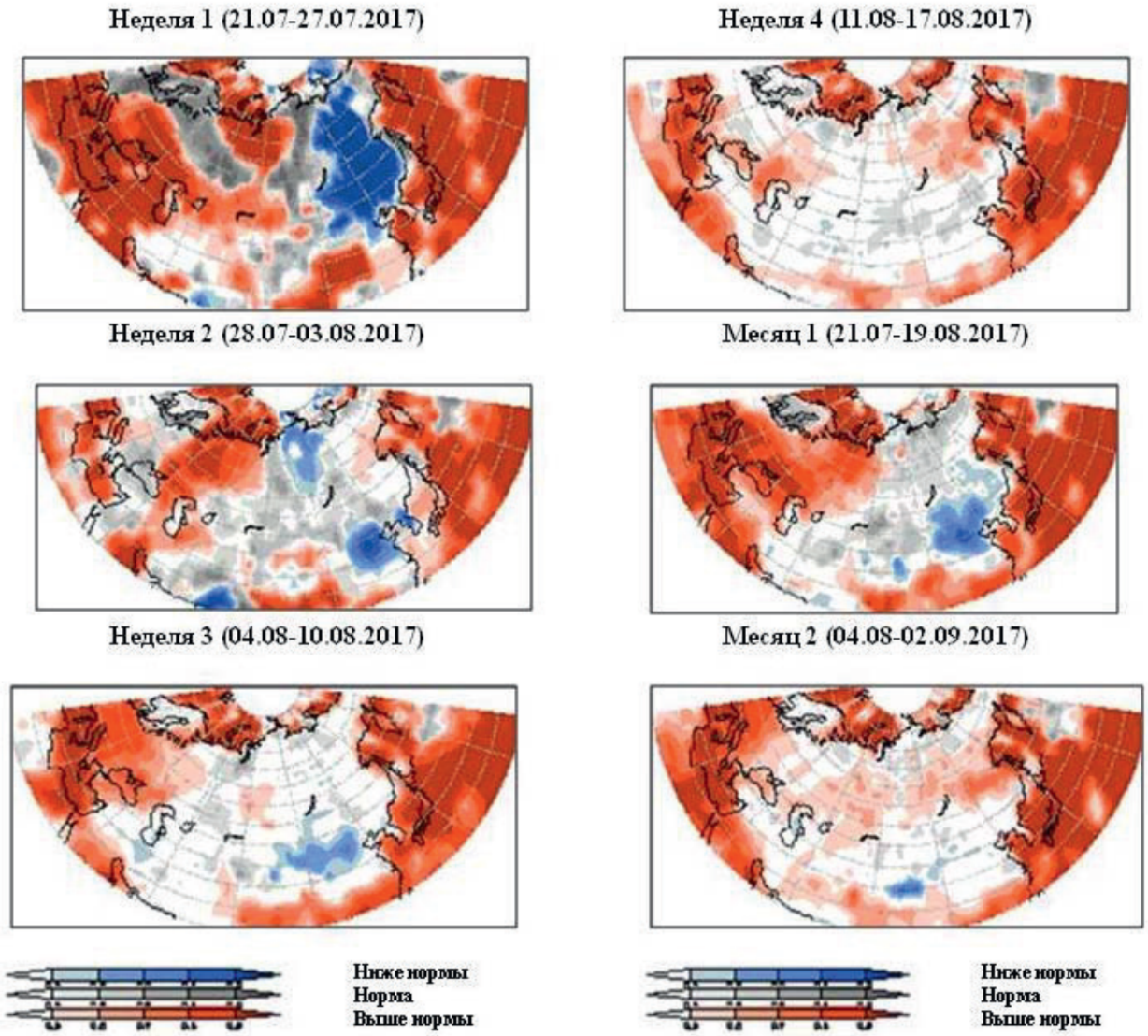


Рис. 2. Карты пространственного распределения мультимодельных недельных и месячных вероятностных прогнозов аномалий температуры воздуха по исходным данным за 27.07.2017 г.

2.2.3 Мониторинг качества прогнозов

Мониторинг качества прогнозов с недельной дискретизацией в реальном времени осуществляется в формате единой технологической линии еженедельных выпусков глобальных долгосрочных метеорологических прогнозов, развернутой и отлаженной на сервере СЕАКЦ.

На рис. 3 представлен блок технологической линии, предназначенный для оценки и анализа результатов численного интегрирования гидродинамических моделей общей циркуляции атмосферы (МОЦА) ПЛАВ Гидрометцентра России (HMC) и ГГО (MGO), а также детализированных с помощью процедуры билинейной интерполяции прогнозов температуры воздуха и осадков для 70 станций СНГ. В список верифицируемой прогностической продукции входят глобальные поля (на сетке с пространственным разрешением 2,5×2,5 градуса широты и долготы) геопотенциала изобарической поверхности 500 гПа, температуры воздуха на уровне поверхности 850 гПа, атмосферного давления на уровне моря, приземной температуры воздуха и суммарных осадков.

Мониторинг качества прогнозов проводится в оперативном режиме один раз в начале каждого месяца по мере поступления данных реанализа и наблюдений. В качестве эталонного архива с учетом соотношения оперативности и качества информации для оценки оправдываемости прогнозов используется реанализ NOAA NCEP-DOE Reanalysis-2 [21].

Расчет климатических характеристик производится по данным этого архива на основе базового периода с 1985 по 2010 г. Как для отдельных моделей, так и для мультимодельного ансамбля прогнозов строятся глобальные карты пространственного распределения показателей качества, а также рассчитываются осредненные оценки для различных регионов Земного шара (глобуса, Северного полушария, северных и южных тропиков, Северной Азии, Европы, СНГ и Арктики). Предусмотрена возможность дополнительного расчета показателей отдельно по точкам суши и по точкам моря во всех выделенных регионах, что может быть полезно для анализа физических блоков моделей.

Для станционных данных проводится оценка качества прогнозов приземной температуры воздуха и осадков. Основным эталонным массивом служит архив средних суточных значений температуры воздуха и осадков, полученный на базе архивов ВНИИГМИ-МЦД (http://meteo.ru/data) для 70 станций, расположенных на территории СНГ. Архив регулярно пополняется станционными данными базы МАКТ Гидрометцентра России. В рамках технологической линии разработаны и реализованы также программные средства пополнения баз фактических и прогностических данных, необходимых для оперативного или квазиоперативного функционирования схемы долгосрочного прогноза метеорологических условий с недельной дискретизацией.

Одним из важнейших этапов мониторинга является визуализация прогностических данных, которая осуществляется в автоматическом режиме в графической среде GrADS. Визуальное сравнение путем сопоставления по месту (пространству) и по времени прогностических и фактических величин позволяет получить наиболее полную информацию о качестве прогнозов. Количественные оценки качества прогнозов, составленных с использованием гидродинамических моделей Гидрометцентра России и ГГО строятся с учетом рекомендаций ВМО [см., например, 7, 10] а также накопленного опыта по составлению долгосрочных прогнозов в Гидрометцентре России.

В качестве основных оценок детерминистических прогнозов используются следующие показатели: коэффициент корреляции знаков ρ, относительная ошибка прогноза Q, средний квадрат ошибки (mean squared error) прогноза MSE, критерий качества по среднему квадрату ошибки MSSS, коэффициент корреляции аномалий (anomaly correlation coefficient) AC. Для оценки качества вероятностных прогнозов используется показатель ROC, подробно описанный в работе Муравьева и Вильфанда [11].

Ниже дается краткая характеристика качества прогнозов, полученных в ходе оперативных испытаний созданной технологии за период с 30 марта 2016 г. по 15 марта 2017 г. (51 случай). В табл. 1 приводятся средние значения для данного периода параметра MSSS, позволяющего определить преимущества методических прогнозов по сравнению с климатическими. Расчет статистической достоверности полученных оценок производится с помощью непараметрического метода повторных выборок с возвратом, известного как «бутстрэп» [18]. Повторные выборки (или «реплики») генерируются с помощью датчика случайных чисел в количестве, равном 100. При этом для проверки нулевой гипотезы при двустороннем тесте определяется доверительный интервал между квантилями 5 и 95 % ранжированного ряда разностей. Если ноль лежит за пределами доверительного интервала, нулевая гипотеза (между климатическими и методическими прогнозами нет отличий) отклоняется при 10%-ном уровне значимости.

Как известно, для средних значений и для многих других статистических характеристик ширина интервала, соответствующего распределению бутстрэпа, и ширина интервала, соответствующего реальному распределению, как правило, совпадают [2].

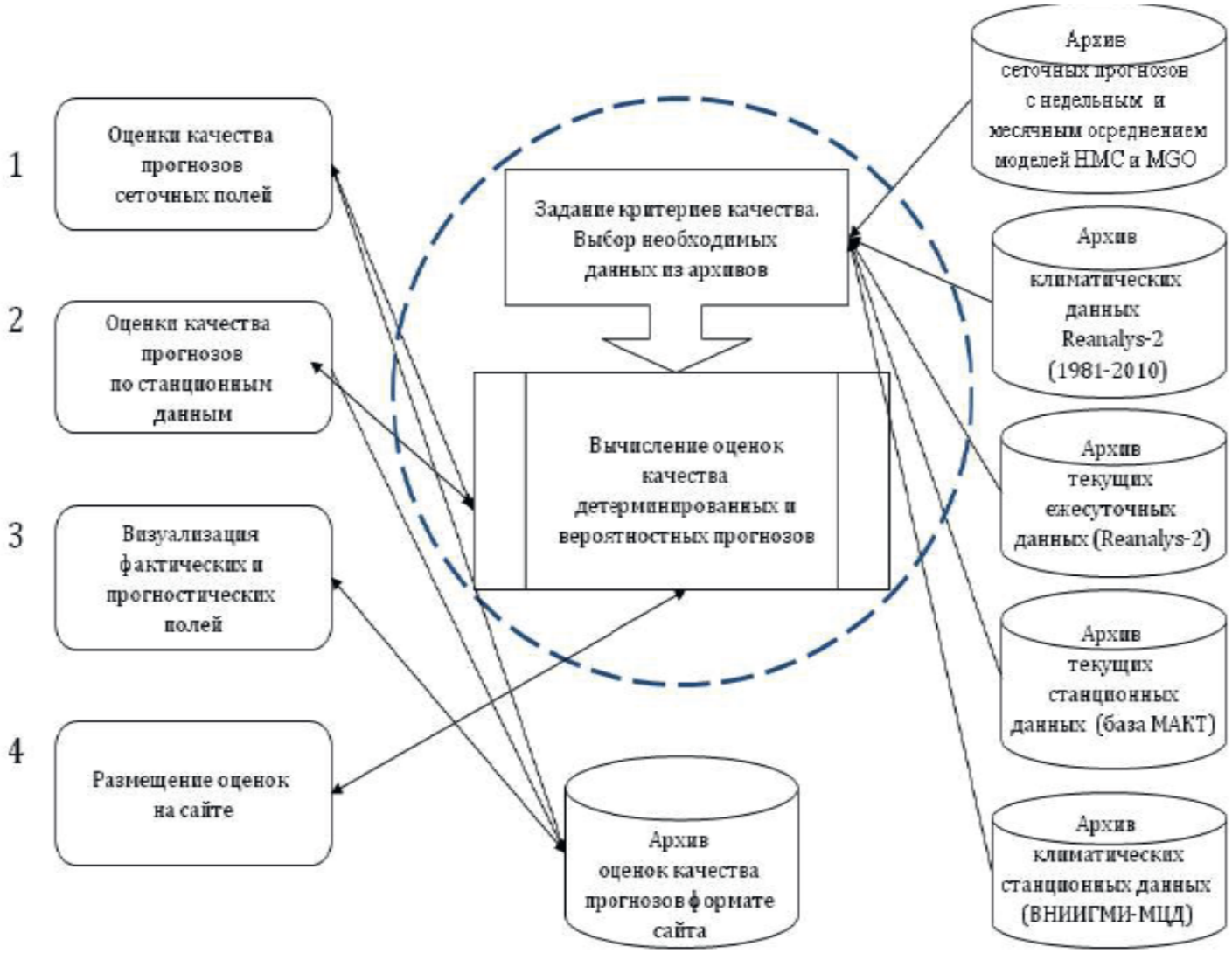


Рис. 3. Блок мониторинга качества прогнозов, реализованный на сервере СЕАКЦ

Как видно из табл. 1, для первого временного интервала (1-я неделя) качество прогнозов выше климатического. Для полей давления и температуры воздуха наименьшие отличия от климатических на данном временном интервале характерны для тропических широт. На втором временном интервале (2-я неделя) качество прогнозов резко падает. Тем не менее полезный сигнал в полях H500 и температуры воздуха присутствует. На временных интервалах 3 и 4-я неделя наилучшие оценки прогнозов отмечаются в тропических широтах, где в связи с наличием медленно меняющихся условий (термическое состояние океана, Осцилляция Маддена - Джулиана - важнейшая мода внутрисезонной (30-90 суток) изменчивости тропической атмосферы), предсказуемость на длительных интервалах интегрирования повышается. В умеренных широтах на третьем и четвертом интервалах интегрирования (за пределами интервала практической предсказуемости, равного примерно двум неделям), в отличие от тропических широт, методические прогнозы не содержат полезного сигнала и практически не отличаются от климатических прогнозов.

Существование предсказуемости второго рода определяет возможности прогноза крупномасштабных структур атмосферной циркуляции, а также статистических характеристик метеорологических полей на месячных и более длительных интервалах времени. На пятом временном интервале (1-й месяц) качество методических прогнозов с учетом доверительных интервалов снова оказывается выше климатических. Исключением являются прогнозы осадков, качество которых за пределами первого временного интервала (1-я неделя) оказывается неудовлетворительным. На шестом временном интервале наиболее предсказуемыми оказываются атмосферные процессы, протекающие в тропиках. Таким образом, результаты верификации свидетельствуют о том, что методические прогнозы во многих случаях оказываются лучше климатических и могут использоваться как вспомогательные в оперативной практике.

Блок верификации и мониторинга качества прогнозов является важнейшей составляющей технологической линии. Развитие и создание новых версий гидродинамических моделей требуют знания характеристик качества, способных выявить не только систематические ошибки, оценить систематическое поведение прогностических систем, но и проводить исследования предсказуемости геофизических процессов. Оценки качества прогнозов необходимо учитывать в процессе оперативной практики и ориентироваться на географические регионы с наиболее высокой их надежностью.

2.2.4 Моделирование низкочастотной изменчивости

Эффективность прогностической системы на длительных интервалах времени определяется ее способностью воспроизводить крупномасштабные структуры, связанные с низкочастотной изменчивостью атмосферы.

Условно принято, что диапазон низких частот в общей циркуляции атмосферы охватывает колебания за пределами синоптической изменчивости, обусловленной формированием и разрушением вихрей. Как известно, волны синоптического масштаба (ложбины и гребни, циклоны и антициклоны) являются проявлением бароклинной неустойчивости – обычного свойства атмосферной циркуляции средних широт, связанного с вращением Земли и наличием горизонтальных контрастов температуры (вертикальным сдвигом ветра). Поскольку время жизни бароклинного вихря составляет примерно 7-10 суток, под низкочастотной изменчивостью понимаются атмосферные флуктуации с временными масштабами порядка 7 дней и больше [3, 17].

Заметим, что синоптические методы долгосрочных прогнозов Гидрометцентра России на протяжении многих лет базировались на понятиях естественного синоптического периода, естественного синоптического района и естественного синоптического сезона [1], тесно связанных с пространственными и временными масштабами крупномасштабных структур атмосферной циркуляции. В [4, 6] показана

целесообразность использования в качестве характеристик низкочастотной изменчивости атмосферной циркуляции индексов дальних связей. Блок расчета индексов по аналогии со схемой сезонного прогноза является составной частью технологической линии детализированных прогнозов СЕАКЦ. В оперативном режиме наряду с прогнозами глобальных метеорологических полей на базе модели ПЛАВ составляются недельные и месячные прогнозы 8 индексов: **EA (**Восточно-атлантическое колебание), **WA (**Западно-атлантическое колебание), **EU – (**Евразийское колебание), **WP (**Западно-тихоокеанское колебание), **PNA (**Тихоокеанское-северо-американское колебание), **NAO (**Северо-атлантическое колебание), **POL (**Полярное колебание), **AOS (**Арктическая осцилляция).

На рис. 4 приводятся примеры прогностических ансамблей вышеназванных индексов атмосферной циркуляции. Для оценки влияния крупномасштабных атмосферных процессов, характеризуемых данными индексами, на региональный режим температуры воздуха и осадков можно воспользоваться размещенными на сайте СЕАКЦ (http://seakc.meteoinfo.ru/forecast/259) сборными композитными картами, на которых представлены очаги положительных и отрицательных аномалий температуры воздуха и осадков для различных фаз индексов циркуляции в зимний, весенний, летний и осенний периоды. Полученные результаты являются статистически значимыми и позволяют сформулировать некоторые климатологические приемы уточнения долгосрочных прогнозов с учетом результатов композитного анализа.

Так, например, если на прогностической карте поверхности 500 гПа прослеживаются структуры, связанные с положительными или отрицательными фазами того или иного индекса, следует с большей вероятностью ожидать в данном географическом районе представленные на композитных картах градации (выше или ниже нормы) температуры и осадков.

Таблица 1

Средние оценки качества (по MSSS) прогнозов H500, MSLP, T850, TRSF и PREC за период с 30 марта 2016 г. по 15 марта 2017 г. (51 случай) для трех регионов: СНГ, СП (Северное полушарие) и ТР (тропики). Полужирным шрифтом обозначены статистически значимые (10%-ный уровень) различия по отношению к климату

	H500			MSLP			T850			TRSF			PREC		
	СНГ	СП	ТР	СНГ	СП	ТР	СНГ	СП	ТР	СНГ	СП	ТР	СНГ	СП	ТР
1 неделя ГМЦ	**0,74**	**0,72**	**0,75**	**0,66**	**0,63**	**0,42**	**0,67**	**0,63**	**0,33**	**0,52**	**0,35**	**0,34**	-0,11	-0,02	0,01
1 неделя ГГО	**0,79**	**0,78**	**0,78**	**0,72**	**0,7**	**0,45**	**0,73**	**0,69**	**0,29**	**0,64**	**0,64**	**0,36**	**0,19**	**0,17**	-0,07
1 неделя ГМЦ+ГГО	**0,82**	**0,8**	**0,83**	**0,76**	**0,74**	**0,6**	**0,76**	**0,73**	**0,4**	**0,66**	**0,59**	**0,43**	**0,18**	**0,19**	**0,07**
2 неделя ГМЦ	-0,06	-0,1	**0,51**	-0,25	-0,23	-0,23	-0,05	-0,07	0,04	0	-0,1	0,04	-0,32	-0,27	-0,05
2 неделя ГГО	**0,22**	**0,2**	**0,59**	0,02	0,02	0,01	**0,25**	**0,18**	**0,06**	**0,23**	**0,26**	**0,16**	-0,02	-0,04	-0,1
2 неделя ГМЦ+ГГО	**0,2**	**0,19**	**0,63**	0,02	0,06	**0,1**	**0,25**	**0,2**	**0,15**	**0,25**	**0,22**	**0,2**	-0,04	-0,04	0,01
3 неделя ГМЦ	-0,28	-0,25	**0,41**	-0,36	-0,34	-0,33	-0,22	-0,18	-0,02	-0,12	-0,12	0,04	-0,18	-0,18	-0,05
3 неделя ГГО	-0,01	0,03	**0,51**	-0,14	-0,11	-0,12	0	0,03	0,03	0,04	**0,14**	**0,11**	-0,08	-0,08	-0,1
3 неделя ГМЦ+ГГО	-0,05	-0,01	**0,52**	-0,15	-0,11	-0,05	-0,01	0,03	0,09	0,05	**0,12**	**0,17**	-0,06	-0,06	-0,01
4 неделя ГМЦ	-0,14	-0,08	**0,39**	-0,11	-0,14	-0,24	-0,17	-0,08	0,02	-0,12	-0,09	0,05	-0,12	-0,08	-0,03
4 неделя ГГО	-0,12	-0,06	**0,5**	-0,13	-0,16	-0,13	-0,09	-0,04	0,04	-0,01	0,1	**0,13**	-0,07	-0,09	-0,1
4 неделя ГМЦ+ГГО	-0,07	-0,02	**0,51**	-0,06	-0,08	-0,05	-0,06	0	0,1	0	0,09	**0,16**	-0,05	-0,04	-0,01
1 месяц ГМЦ	**0,09**	**0,11**	**0,72**	-0,05	-0,09	-0,14	**0,15**	**0,15**	**0,22**	0,09	-0,02	**0,24**	-0,11	-0,12	-0,01
1 месяц ГГО	**0,24**	**0,27**	**0,77**	0,06	0,01	0	**0,32**	**0,31**	**0,2**	**0,33**	**0,43**	**0,33**	0,02	-0,01	-0,08
1 месяц ГМЦ+ГГО	**0,24**	**0,28**	**0,78**	**0,09**	**0,08**	**0,12**	**0,31**	**0,32**	**0,28**	**0,31**	**0,33**	**0,36**	0,03	0,03	0,05
2 месяц НМС	-0,13	-0,03	**0,62**	-0,13	-0,21	-0,26	-0,12	0,02	**0,12**	-0,09	-0,07	**0,14**	-0,11	-0,1	-0,03
2 месяц ГГО	-0,08	0,02	**0,69**	-0,14	-0,19	-0,23	-0,01	0,07	**0,11**	**0,09**	**0,26**	**0,23**	-0,07	-0,11	-0,15
2 месяц ГМЦ+ГГО	-0,04	0,07	**0,72**	-0,06	-0,11	-0,04	0	**0,11**	**0,19**	**0,08**	**0,2**	**0,26**	-0,04	-0,04	0

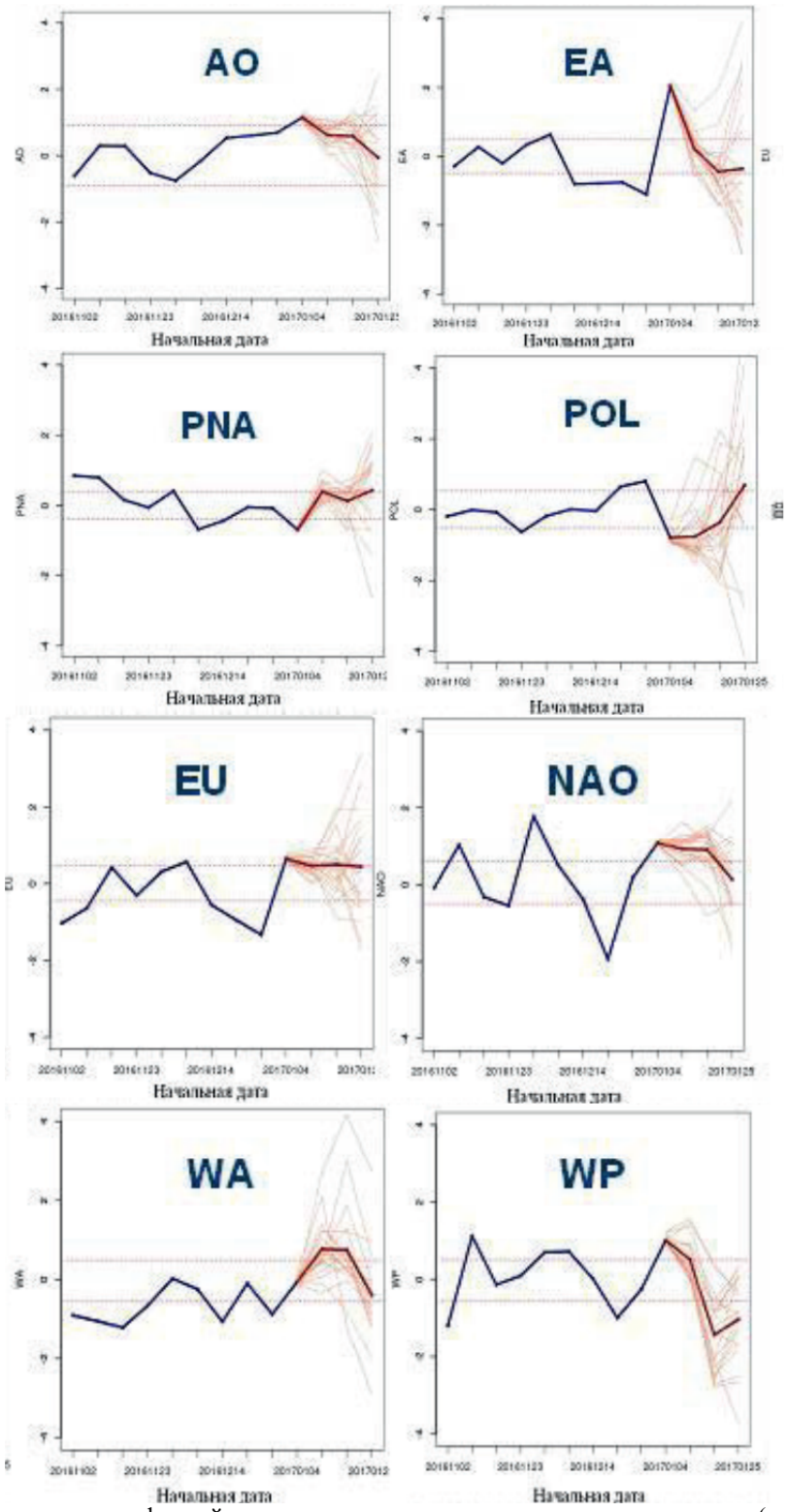


Рис. 4. Прогнозы индексов атмосферной циркуляции на недельных интервалах времени (синяя кривая – данные реанализа, красная – 20 членов ансамбля прогнозов, жирная красная – среднее по ансамблю)

Другой аспект, связанный с использованием прогнозов индексов, заключается в априорной оценке качества прогнозов. В процессе многолетней синоптической практики установлена связь между режимами атмосферной циркуляции и качеством прогнозов. Согласно Пальмеру [24], наиболее высокие оценки качества соответствуют положительным значениям индекса PNA и наоборот. При этом предполагается, что рост ошибки прогноза связан с ростом баротропной неустойчивости атмосферы, которая, в свою очередь весьма

тесно зависит от знака PNA. Обсуждаются также связи PNA с Эль-Ниньо. О'Лэник и Ливзи [23] исследовали связи между ошибками среднесрочных прогнозов и различными режимами атмосферной циркуляции при помощи метода главных компонент с вращением.

Кроме PNA, выделены и другие моды низкочастотной изменчивости, влияющие на качество пентадных и декадных прогнозов. Аналогичные выводы о связи качества гидродинамических прогнозов с режимами атмосферной циркуляции получены и в ряде других исследований [5, 12, 13, 19-22, 26]. Ориентированный на режимы циркуляции подход, основанный на совместном использовании динамических прогнозов и синоптико-статистических методов может способствовать повышению качества долгосрочных прогнозов и увеличению «предела предсказуемости».

Перспективы метода

Планируется дальнейшее развитие и усовершенствование технологии за счет введения новых блоков и программных средств. Основной акцент при этом делается на усовершенствование гидродинамической модели ПЛАВ, а также проведение исследований источников потенциальной предсказуемости эволюции атмосферы на внутрисезонных временных масштабах. Особое внимание предполагается уделить исследованию предсказуемости экстремальных метеорологических явлений, с которыми связаны стихийные бедствия, наносящие большой ущерб экономике стран.

.

Список использованных и рекомендуемых источников

1. Багров Н.А., Кондратович К.В., Педь Д.А., Угрюмов А.И. Долгосрочные метеорологические прогнозы. Л.: Гидрометеоиздат, 1985. 247 с.

2. Диаконис П., Эфрон Б. Статистические методы с интенсивным использованием ЭВМ // В мире науки. 1993. № 3. С. 6072.

3. Дымников В.П. Устойчивость и предсказуемость крупномасштабных атмосферных процессов. М.: ИВМ РАН, 2007. 283 с.

4. Киктев Д.Б., Круглова Е.Н., Куликова И.А. Крупномасштабные моды атмосферной изменчивости. Часть 1. Статистический анализ и гидродинамическое моделирование // Метеорология и гидрология. 2015. № 3. С. 5-22.

5. Крыжов В.Н., Горелиц О.В. Арктическая осцилляция и ее влияние на температуру и осадки Северной Евразии в XX веке // Метеорология и гидрология. 2015. № 11. С. 5-19.

6. Куликова И.А., Круглова Е.Н., Киктев Д.Б. Крупномасштабные моды атмосферной изменчивости. Часть 2. Их влияние на пространственное распределение температуры и осадков на территории Северной Евразии // Метеорология и гидрология. 2015. № 4. С. 5-16.

7. Материалы семинара рабочей группы ВМО (29 января – 2 февраля 2007 г.).
http://www.bom.gov.au/bmrc/wefor/staff/eee/verif/verif_web_page.html.

8. Мирвис В.М., Львова Т.Ю., Матюгин В.А. Новая технология ансамблевого гидродинамического прогноза на 45 суток и региональные оценки успешности прогнозов для Северной Евразии // Труды ГГО. 2014. Вып. 570. С. 5-33.

9. Мирвис В.М., Мелешко В.П. Современное состояние и перспективы развития метеорологических прогнозов на месяц и сезон // Труды ГГО. 2008. Вып. 558, С. 340.

10. Муравьев А.В. Стандартизированная система верификации долгосрочных метеорологических прогнозов. (SVS LRF) // 80 лет Гидрометцентру России. М.: Триада, лтд, 2010. С. 264-288..http://method.hydromet.ru/publ/books/80_years/murav.pdf.

11. Муравьев А.В., Вильфанд Р.М. О стандартизации оценок качества прогнозов на средние и долгие сроки // Метеорология и гидрология. 2000. № 12. С. 24-34.

12. Муравьев А.В., Круглова Е.Н., Куликова И.А., Казначеева В.Д. Долгосрочное прогнозирование аномальных синоптических ситуаций. Часть 1. Основные конструктивные и технические характеристики динамико-статистической схемы долгосрочного прогноза погоды // Метеорология и гидрология. 1999. №. 3. С. 28-36.

13. Муравьев А.В., Круглова Е.Н., Куликова И.А., Казначеева В.Д. Долгосрочное прогнозирование аномальных синоптических ситуаций. Часть 2. Условия эксперимента и результаты прогноза // Метеорология и гидрология. 1999. №. 4. С. 5-15.

14. Толстых М.А. Глобальная полулагранжева модель численного прогноза погоды. М.; Обнинск: ФАО ФОП, 2010. 111 с.

15. Толстых М.А., Желен Ж.Ф., Володин Е.М., Богословский Н.Н., Вильфанд Р.М., Киктев Д.Б., Красюк Т.В., Кострыкин С.В., Мизяк В.Г., Фадеев Р.Ю., Шашкин В.В., Шляева А.В., Эзау И.Н., Юрова А.Ю. Разработка многомасштабной версии глобальной модели атмосферы ПЛАВ // Метеорология и гидрология. 2015. №. 6. С. 25-35.

16. Толстых М.А., Киктев Д.Б., Зарипов Р.Б., Зайченко М.Ю., Шашкин В.В. Воспроизведение атмосферной циркуляции на сезонных масштабах новой версией полулагранжевой модели атмосферы // Известия РАН. ФАО. 2010. Т. 46, № 2. С. 149-160.

17. Уоллес Дж., Блэкмон М. Наблюдаемая низкочастотная изменчивость атмосферы. В кн. Крупномасштабные динамические процессы в атмосфере / под ред. Б. Хоскинса, Р. Пирса. М.: Мир, 1988. С. 66-109.

18. Эфрон Б. Нетрадиционные методы многомерного статистического анализа. М.: Финансы и статистика, 1988. 263 с.

19. Branstator G. Spatial filtering of daily and monthly mean forecasts // WMO/Td-No.395. ICTP/WMO international technical conference on long-range weather forecasting research, Triest, Italy, 8–12 April 1991. P. 3538.

20. Deque M. 10-day predictability of the northern hemisphere winter 500-mb height by ECMWF operational model // Tellus. 1988. Vol. 40A. P. 26-36.

21. Kanamitsu M., Ebisuzaki W.I, Woollen J., Yang Shi-Keng, Hnilo J.J., Fiorino M., Potter G.L. NCEP–DOE AMIP-II Reanalysis (R-2) // Bull. Amer. Meteorol. Soc. 2002. Vol. 83. P. 1631–1643.

22. Maedo S., Kudo T., Yamada S. Dynamical one-month forecast experiments with JMA global prediction model // Res. Act. Atm. Ocean. Model. Rep. No.18, January 1993. WMO/TD-No. 533. P. 6.35-6.36.

23. O'Lenic E.A., Livezey R.E. Relationships between systematic errors in medium range numerical forecasts and some of the principal modes of low-freguency variability of the northern hemisphere 70 mb circulation // Mon. Wea. Rev. 1989. Vol. 117, No. 6. P. 1262-1280.

24. Palmer T. Medium and extended range predictability and stability of the Pacific/North Americane mode. Quart // J. Roy. Met. Soc. 1988. Vol. 114. P. 691-713.

25. Sub-Seasonal to Seasonal Prediction Research Implementation Plan.
http://www.wmo.int/pages/prog/arep/wwrp/new/documents/S2S_Implem_plan_en.pdf

26. Yamada S., Maeda S., Gambo K. Principal modes of atmospheric variability in the northern hemisphere winter and the role of their modes associated with the extended range forecasting // Res. Act. Atm. Ocean. Model. Rep. No. 23, February 1996. WMO/TDNo 34. P. 2.75-2.76.

27. Киктев Д.Б., Толстых М.А., Зарипов Р.Б., и др. Выпуск детализированных метеорологических прогнозов в рамках деятельности Северо-Евразийского климатического центра (СЕАКЦ) // Труды Гидрометцентра России. 2017. Вып. 366. С. 14-28

Издание подготовлено в авторской редакции

Отпечатано на участке цифровой печати
Издательского Дома Томского государственного университета

Заказ № 3037 от «19» марта 2018 г. Тираж 50 экз.