

**МЕТОДИКА ДОЛГОСРОЧНОГО ПРОГНОЗА
ТИПОВ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА ДЛЯ ЗАПАДНОГО РАЙОНА
АРКТИКИ НА ОСЕННЕ-ЗИМНИЙ ПЕРИОД (ОКТЯБРЬ-ФЕВРАЛЬ)
НА ОСНОВЕ МАКРОЦИРКУЛЯЦИОННОГО МЕТОДА**

*Арктический и антарктический научно-исследовательский институт,
г. Санкт-Петербург*

Введение

В ФГБУ «ААНИИ» разработан и в течение нескольких десятилетий совершенствуется макроциркуляционный метод анализа, диагностики и оценки атмосферных процессов и долгосрочных метеорологических прогнозов с различной заблаговременностью для полярных районов Земли, основы которого были заложены Г.Я. Вангенгеймом и А.А. Гирсом [1, 2, 5, 14].

112

В связи с интенсивной разработкой нефтегазовых месторождений в западном районе Арктики особое значение приобретает знание гидрометеорологических условий в локальных районах арктических морей с целью разработки долгосрочных метеорологических прогнозов различной заблаговременности, важных для практики гидрометеорологического обеспечения хозяйственной деятельности и планирования судоходства на трассе Северного морского пути (СМП).

В целях дальнейшего совершенствования долгосрочного прогнозирования метеорологических условий на трассе СМП в период 2017–2019 гг. по плану работ ЦНТП «Развитие моделей и технологий расчетов и прогнозов характеристик ледяного покрова на акватории арктических морей и Арктического бассейна» проводились комплексные исследования атмосферных процессов различного пространственно-временного масштаба.

Научная задача работы состояла в исследовании закономерностей формирования межгодовой и внутригодовой изменчивости атмосферных процессов в периоды устойчивых потеплений и похолоданий, получение прогностических зависимостей для различных вариантов (разновидностей) перестроек атмосферных процессов, поиск путей их

использования для долгосрочного прогнозирования температуры в локальных районах западных морей трассы СМП.

Конечной практической целью работы являлась разработка и внедрение в практику методики долгосрочного прогноза типа аномалии температуры воздуха на осенне-зимний период для отдельных участков трассы СМП западного района Арктики.

Для Арктики прогнозирование температуры воздуха имеет важное значение, так как она является интегрирующим фактором природно-климатических особенностей как в целом полярного района, так и локальных его регионов, что в свою очередь в большой мере определяет начало интенсивного нарастания или разрушения ледяного покрова, влияющего на эксплуатацию технических средств на морских месторождениях нефти и газа шельфа арктических морей и судоходства по трассе СМП [4, 8, 9].

Используемые данные

Для решения поставленных задач был усовершенствован программно-аппаратный комплекс по сбору, обработке, усвоению, систематизации и представления метеорологической информации.

В качестве *исходной первичной и вторичной информации* использовались данные многолетних метеорологических наблюдений по репрезентативным полярным станциям, которые имеют наиболее длинные и непрерывные ряды наблюдений.

Специализированная информация была представлена в виде многолетних архивов метеорологических и гидрологических данных за различные периоды осреднения как по календарным периодам, так и по естественным стадиям перестройки циркуляции атмосферы от элементарных синоптических процессов (ЭСП) до циркуляционных эпох [6, 7, 15].

Специализированный многолетний архив данных на электронных носителях содержит приземные и высотные синоптические карты Северного полушария, зональные и меридиональные градиенты давления по полярному району Арктики и умеренной зоне Северного полушария, каталоги основных форм и разновидностей крупномасштабных атмосферных процессов в атлантико-евразийском секторе Северного полушария по классификации Г.Я. Вангенгейма, гидрологические данные – температура воды, показатели ледовых условий в локальных районах арктических морей [4].

Анализ и оценка структурных особенностей в преобразованиях атмосферных процессов в масштабе больших и малых преобразований проводилась средствами комплексного аэросиноптического анализа термобарических полей в толще тропосферы с учетом естественных стадий развития и перестройки крупномасштабных процессов в

соответствии с разновидностями основных форм и типов циркуляции на Северном полушарии [6, 7].

Учет крупномасштабных (фоновых) атмосферных процессов и их перестройки из одной естественной стадии развития в другую способствовал более правильной оценке природы смены режима циркуляции и метеорологических условий в локальном западном районе Арктики.

Результаты исследований

Проведенные исследования позволили получить результаты, имеющие научное и прогностическое значение.

- Получены синоптико-климатологические характеристики для основных сезонов года для районов Карского и Баренцева морей (циркуляция атмосферы, давление, направление воздушных потоков, температура).

- *Проведена классификация синоптических процессов по типам формирования аномалий температуры в западном районе Арктики.* Типы с различными аномалиями температуры отражают принципиальные отличия в развитии и перестройке циркуляции атмосферы. Каждый тип характеризуется определенной формой макропроцесса с преобладающими траекториями циклонов и вариантами адвекции воздушных масс в западном районе Арктики.

- *Получены различные варианты блокирования западно-восточного переноса в толще тропосферы при процессах западной, восточной и меридиональной форм циркуляции по классификации Г.Я. Вангенгейма в типах формирования различных аномалий температуры в западном районе Арктики.*

- *Выявлены длительные тенденции изменения циркуляции атмосферы с целью учета их при долгосрочном прогнозировании типов температуры для западного района Арктики.*

- Получен *специализированный архив* высотных и приземных термобарических полей, средних карт и графиков для полярного района Арктики, фиксирующих различные стадии с однонаправленным ходом развития крупномасштабных атмосферных процессов и характер их проявления в индивидуальных особенностях воздухообмена и температурного фона для западного участка трассы СМП российской Арктики

Проведенные исследования позволили более точно подойти к определению границ перестройки атмосферных процессов различного пространственно-временного масштаба; пониманию природы образования различных аномалий температуры, которые возникают в процессе длительных тенденций изменений атмосферных процессов в системе общей циркуляции атмосферы (ОЦА); анализу, диагнозу и оценке текущих атмосферных

процессов; отбору из исторических рядов группы лет-гомологов по исходному периоду; выбору действующих фоновых и сезонных групп и наиболее вероятного варианта объединения гомологов в прогнозируемых месяцах.

Полученные результаты исследований были включены в технологическую схему поэтапной разработки долгосрочного фонового прогноза и его уточнений типа аномалии температуры различного знака для западного участка трассы СМП.

Основы методики

Необходимо отметить, что с самого начала макроциркуляционный метод прогнозирования для слабо освещенного полярного района Арктики метеорологическими данными наблюдений развивался на основе максимально возможного, комплексного определения физически обоснованной аналогии исходного процесса процессам предшествующего периода с учетом более крупномасштабных атмосферных процессов, чем рассматриваемый район [1, 2,5].

Принципиальная схема поэтапной разработки долгосрочного метеорологического прогноза представлена на рис. 1.



Рис. 1. Принципиальная схема этапов разработки долгосрочного метеорологического прогноза (ОЦП – общая циркуляция атмосферы; ОВП – однородный внутригодовой период).

Основной алгоритм разработки долгосрочного метеорологического прогноза включает анализ и диагноз текущих атмосферных процессов (определение форм и типов циркуляции и их разновидностей); расчленение непрерывных процессов на естественные стадии различного пространственно-временного масштаба (от элементарных синоптических процессов до циркуляционных эпох); выбор из исторического архива физически обоснованных групп гомологов с процессами, аналогичными текущему; прогноз синоптического положения расчетных метеорологических полей в виде карт; представление прогностических данных метеорологических параметров в текстовой, табличной, графической формах и в виде электронных карт.

Совершенствование макроциркуляционного метода проходит как по линии улучшения технологии подбора гомологов при помощи современных ЭВМ, так и по линии накопления синоптического архива, что увеличивает возможность подбора аналога, т. е. возможность решать задачу прогноза по более точным начальным данным.

Как показано в [4, 7, 9], перестройка крупномасштабных атмосферных процессов в системе общей циркуляции атмосферы может по-разному проявляться в полях метеорологических характеристик в разные сезоны года на региональном уровне в отдельно взятых районах Арктики. В связи с этим повышение качества долгосрочных метеорологических прогнозов макроциркуляционным методом связано с продолжением накопления результатов комплексных эмпирических исследований крупномасштабных атмосферных процессов в системе ОЦА и спецификой их проявления в метеорологических условиях в локальных районах Арктики, на отдельных участках трассы СМП.

Тем не менее радикальное решение проблемы долгосрочных метеорологических прогнозов возможно лишь на путях развития физической теории ОЦА, что позволит макроциркуляционным методом на основе физических принципов более обоснованно выбирать из исторических архивов группы гомологов в целях долгосрочного прогнозирования.

Результаты испытания

В соответствии с Планом испытания и внедрения новых и усовершенствованных методов (технологий) гидрометеорологических прогнозов на 2020 и 2021 гг. в ФГБУ ААНИИ в оперативном режиме было проведено испытание методики долгосрочного прогноза типа аномалии температуры воздуха на осенне-зимний период (октябрь-февраль) для отдельных участков трассы СМП в Баренцевом и Карском морях.

В период оперативных испытаний методики с января 2020 по декабрь 2021 года отмечались особенности атмосферной циркуляции и метеорологических условий в западном районе Арктики.

Основные средние годовые, фоновые показатели циркуляции атмосферы и метеорологических данных для западного района трассы СМП представлены в табл. 1 и на рис. 2.

Таблица 1

Преобладающие разновидности атмосферных процессов, направления воздушных потоков, значения давления и температуры воздуха на западном участке трассы СМП в 2020 и 2021 гг.

Период	Разновидности атмосферных процессов	Аномалия давления	Направление воздушных потоков	Температура воздуха, °С	
				Средняя	Аномалия
2020	W _В	-4	юз/юв	-4,9	4,0
2021	E _Н	1	юз/сз	-8,7	0,2

Примечание. Индексы форм циркуляции: W – западная; E – восточная; С – меридиональная. Траектории циклонов: В – высокоширотные; Н – Низкоширотные

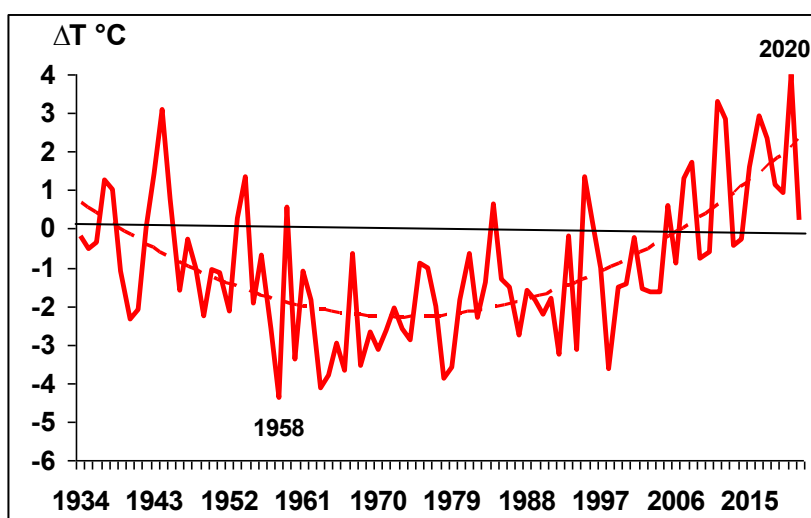


Рис. 2. Средние годовые значения аномалий температуры воздуха (°С) для западного участка трассы СМП за период с 1934 по 2021 г. (аномалии от нормы 1991–2020 гг.).

В 2020 году основной особенностью развития атмосферных процессов явилась аномально высокая повторяемость крупномасштабных атмосферных процессов западной (W) формы циркуляции с преобладанием по сравнению с нормой высокоширотных траекторий циклонов Северной Атлантики в полярный район. Фон давления на акватории западных морей ниже нормы. Преобладающие воздушные потоки с южной составляющей обусловили преобладающую адвекцию теплых воздушных масс и формирование в среднем за 2020 г. в рассматриваемом районе положительных аномалий температуры до

экстремально высоких за весь ряд наблюдений (см. рис 1). Наиболее крупные значения средних месячных аномалий температуры более 10 °С отмечались в феврале и ноябре 2020 года.

В 2021 г. произошла кардинальная перестройка в направленности крупномасштабных процессов от западной (W) к восточной (E) форме циркуляции атмосферы. Западный район Арктики находился под влиянием с востока гребней континентального и арктического антициклонов, что обусловило в среднем за 2021 г. рост давления до положительных аномалий. Циклоны смещались преимущественно по низкоширотным траекториям и не оказывали существенного влияния на полярный район, что обусловило ослабление адвекции теплых воздушных масс и резкое понижение по сравнению с 2020 г. температурного фона на акватории западных морей до значений, близких к норме (см. рис. 1).

Более подробные данные о развитии метеорологических процессов в Северной полярной области представлены в обзорах за 2020 и 2021 гг. [6].

Испытания методики проводились в лаборатории долгосрочных метеорологических прогнозов отдела ледового режима и прогнозов ФГБУ «АНИИ». Прогнозы составлялись и оценивались по данным наиболее репрезентативных полярных станций, имеющих непрерывные и наиболее длительные периоды наблюдений.

Результаты анализа текущих атмосферных процессов различного пространственно-временного масштаба, прогнозы и их уточнения регулярно докладывались на прогностических совещаниях специалистов отделов ледового режима и прогнозов, гидрологии устьев рек и водных ресурсов центра ледовой гидрометеорологической информации АНИИ.

Содержание и форма прогнозов определены требованиями практики в процессе гидрометеорологического обеспечения мореплавания по СМП и работ на шельфе морей российской Арктики [12].

Долгосрочный фоновый метеорологический прогноз на холодный период и его уточнения состояли из карт распределения среднего месячного давления, направления основных воздушных потоков и их отклонения от нормы, аномалии давления и ожидаемого типа аномалии температуры для западного участка трассы СМП.

Оценка оправдываемости прогнозируемого типа температуры производилась путем непосредственного сопоставления предсказанных и фактических значений аномалий температуры в Карском и Баренцевом морях.

Основные требования составления долгосрочных прогнозов различной заблаговременности и оценка их оправдываемости основывались на руководствах и Наставлении, опубликованных и утвержденных Росгидрометом [10–13].

Прогноз по знаку получал положительную оценку, если аномалии прогностических и фактических значений температуры совпадали.

Прогноз по величине получал положительную оценку, если ошибка была равна или менее допустимой погрешности. За допустимую погрешность прогноза принималась величина $0,67\sigma_{\Pi}$, где σ_{Π} – среднеквадратическое (природное) отклонение температуры воздуха, рассчитанное для всего ряда наблюдений.

Средние оценки оправдываемости прогнозов температуры с различной заблаговременностью для различных участков трассы западного района Арктики приводятся в табл. 2 и 3.

Таблица 2

Средняя оправдываемость долгосрочных прогнозов знака аномалии температуры с заблаговременностью до пяти месяцев для районов западного участка трассы СМП в 2020 и 2021 гг., %

Район		2020	2021	Среднее
Баренцево море	юго-восток	87	81	84
	северо-восток	81	83	82
Карское море	юго-запад	88	83	86
	северо-восток	81	85	83
Среднее		84	83	84

119

Таблица 3

Средняя оправдываемость долгосрочных прогнозов температуры с заблаговременностью до одного месяца для районов западного участка трассы СМП в 2020 и 2021 гг., %

Район		Температура		
		Знак аномалии	Величина	Эффективность
Баренцево море	юго-восток	94	68	11
	северо-восток	89	64	9
Карское море	юго-запад	94	73	15
	северо-восток	88	68	12
Среднее		84	91	68

Данные таблиц показывают, что средние оценки оправдываемости прогнозов по знаку аномалии температуры с различной заблаговременностью колеблются от 81 до 95 %. Наиболее высокие оценки по знаку аномалий отмечены при заблаговременности до одного месяца.

Оценки прогнозов по знаку аномалий температуры во многом обусловлены учетом длительных тенденций повышения температурного фона как в целом по полярной области Арктики, так и для ее локальных районов.

Оправдываемость прогнозов по величине температуры при допустимой погрешности $0,67\sigma$ составила от 64 до 73 %. Эффективность прогнозов по величине аномалий температуры по отношению к климатическим прогнозам с допустимой погрешностью по отдельным месяцам колебалась в пределах от 8 до 17 % и в среднем составила 12 %.

К погрешностям прогнозов необходимо отнести те случаи, когда происходила резкая перестройка атмосферных процессов. При этом в ряде случаев ожидаемые границы смены процессов от одной формы циркуляции к другой, по сравнению с фактическими данными, были несколько смещены во времени, что во многом сказалось на конечной оценке оправдываемости прогнозов.

Как было отмечено в обзорах метеорологических процессов за 2020 и 2021 гг., в период испытаний в западном районе Арктики наблюдалось возникновение крайне крупных значений положительных аномалий температуры воздуха до 10–15 °С (февраль и ноябрь 2020 г.), что сказалось на окончательных средних оценках оправдываемости прогнозов по величине аномалий температуры. Прогнозирование больших значений аномалий температуры на данном уровне развития долгосрочных методов прогнозов пока невозможно.

120

Необходимо отметить, что в полярном районе оправдываемость долгосрочных прогнозов зависит от качества исходной информации в слабо освещенных наблюдениями районах, особенно в центральном полярном районе, и длины рядов наблюдений на наиболее репрезентативных полярных станциях. Недостаточная надежность данных наблюдений метеорологической сети влияет на анализ и диагноз начальных условий циркуляции атмосферы и погоды в локальных районах Арктики, что приводит к снижению оправдываемости прогнозов, особенно при увеличении их заблаговременности.

В связи с этим для полярного района особенно ценно применение макроциркуляционного метода долгосрочного прогнозирования, разработанного Г.Я. Вангенгеймом и А.А. Гирсом. Метод позволяет рассматривать процессы на территории северной полярной области в связи со спецификой перестроек крупномасштабных атмосферных процессов в умеренной зоне Северного полушария [1, 2, 5].

При разработке долгосрочных метеорологических прогнозов в оперативном режиме прогнозистом анализировалась информация как гидродинамических ансамблевых, так и эмпирических методов прогнозов ведущих метеорологических центров в стране и за рубежом [3]. В зависимости от стадии развития текущего крупномасштабного синоптического процесса, тенденции изменения предсказываемого метеорологического

элемента, сезона, объекта обеспечения на территории ответственности, специалист-эксперт в каждом конкретном случае по своему личному опыту склоняется к выбору и учету результатов той или иной прогностической модели. Учет прогнозов, полученных различными методами, способствовал большей определенности при принятии решений и качества конечного результата прогнозирования.

Заключение

Учитывая результаты проведенных испытаний методики в период круглогодичной навигации на западном участке трассы СМП можно отметить:

– методика позволяет предсказывать с заблаговременностью до 5 месяцев тип с преобладающим знаком аномалии температуры на холодный осенне-зимний (октябрь–февраль) период. В период испытания на фоне текущего потепления в западном районе Арктики преобладал тип с положительными аномалиями температуры воздуха;

– в плане уточнения фонового прогноза с заблаговременностью до одного месяца с определенной достоверностью возможно прогнозирование значений ожидаемых аномалий температуры для отдельных участков трассы СМП в Карском и Баренцевом морях. В среднем методика характеризуется определенной эффективностью по сравнению с климатическими оценками.

На основе выше приведенных результатов испытаний Центральная методическая комиссия по гидрометеорологическим и гелиогеофизическим прогнозам (ЦМКП) Росгидромета на заседании от 9 июня 2022 г. приняла решение внедрить методику в оперативную практику ФГБУ «АНИИ» в качестве вспомогательного к основному макроциркуляционному методу долгосрочного метеорологического прогноза для полярного района Арктики.

Список литературы

1. *Вангенгейм Г.Я.* Опыт применения синоптических методов к изучению и характеристике климата / Ред-изд. отдел Центр. Упр. Гидрометеорологической службы СССР. – М., 1935. 112 с.
2. *Вангенгейм Г.Я.* Основы макроциркуляционного метода долгосрочных метеорологических прогнозов для Арктики // Труды АНИИ. – 1952. – Т. 34. . – 314 с.
3. *Вильфанд Р.М., Тищенко В.А., Хан В.М., Цепелев В.Ю., Мироничева Н.П., Г.В. Елисеев, Иванова Е.К., Уткузова Д.Н.* Опыт комплексирования синоптико-статистических и гидродинамических прогностических систем // Метеорология и гидрология. – 2017. – № 8. – С. 5–17.
4. *Гирс А.А.* Многолетние колебания атмосферной циркуляции и долгосрочные гидрометеорологические прогнозы. – Л.: Гидрометеоздат, 1971. – 280 с.

5. *Гирс А.А.* Макроциркуляционный метод долгосрочных метеорологических прогнозов. – Л., Гидрометеиздат, 1974. – 488 с.

6. *Иванов В.В., Алексеенков Г.А.* Мониторинг крупномасштабных атмосферных процессов в полярном районе Северного полушария за период январь-декабрь 2021 г. // Обзор гидрометеорологических процессов в Северном Ледовитом океане. – СПб: ААНИИ, 2022. – С. 5–14.

7. *Иванов В.В., Алексеенков А.А.* Атмосферная циркуляция и развитие атмосферных процессов в морской Арктике // Моря российской Арктики в современных климатических условиях. – СПб: ААНИИ, 2021. – С. 20–34.

8. *Мионов Е.Г., Иванов В.В., Клячкин С.В.* Современное состояние и основные направления развития методов ледовых и метеорологических прогнозов в Арктике // Проблемы Арктики и Антарктики. – 2000. – Вып.72. – С. 26–41.

9. *Мещерская А.В., Кононова Н.К., Иванов В.В., Голод Н.К.* Сравнение двух типизаций циркуляционных процессов // Труды ГГО. – 2013. – Вып. 568. – С. 137–155.

10. Руководство по месячным прогнозам погоды. – Л.: Гидрометеиздат, 1972. – 365 с.

11. Руководство по долгосрочным прогнозам погоды. – Л.: Гидрометеиздат, 1968. – 340 с.

12. Руководство по формулировке и оценке оправдываемости долгосрочных прогнозов погоды малой и большой заблаговременности для Арктики. – Л.: Изд-во Морской транспорт, 1981. – 56 с.

13. Наставление по службе прогнозов. Раздел 3, часть III. – М.: Гидрометеиздат, 1982. – 143 с.

14. *Ivanov V.V., Vinogradov N.D.* Meteorological forecasts // INSROP Working Paper. – 1995. – No. 10. – P. 7–23.

15. *Ivanov V.V., Vinogradov N.D.* Meteorological forecasts // INSROP Working Paper. – 1996. – No. 36. 1.6.1: Operational Tools. – P. 7–20.