

*В.В. Иванов, В.К. Куражов, А.Я. Коржииков, Г.А. Алексеенков*

## **РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЯ МЕТОДА ДОЛГОСРОЧНОГО ПРОГНОЗА ДАТ УСТОЙЧИВОГО ПЕРЕХОДА СРЕДНЕСУТОЧНОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ ВОЗДУХА ЧЕРЕЗ НОЛЬ ГРАДУСОВ В КАРСКОМ МОРЕ**

### **Введение**

В отделе долгосрочных метеорологических прогнозов ФГБУ «ААНИИ» в течение более 70 лет изучаются закономерности развития атмосферных процессов различного пространственно-временного масштаба в целях разработки различных способов долгосрочных и сверхдолгосрочных метеорологических прогнозов для полярных областей планеты макроциркуляционным методом [2, 3, 5, 10].

В связи с разработкой нефтегазовых месторождений в полярном районе Арктики особое значение приобретает знание гидрометеорологических условий в локальных районах шельфа арктических морей с целью разработки долгосрочных метеорологических прогнозов различной заблаговременности, важных для практики гидрометеорологического обеспечения хозяйственной деятельности [4].

В период 2008–2010 гг. в итоге проведения комплексного исследования были получены результаты, которые явились основой для разработки метода долгосрочного прогноза дат устойчивого перехода средней суточной температуры воздуха через ноль градусов весной и осенью в районе Карского моря.

Для Арктики переход через ноль градусов имеет наиболее важное значение, т. к. в значительной мере определяет начало интенсивного нарастания или разрушения ледяного покрова, влияющего

на эксплуатацию технических средств на морских месторождениях нефти и газа сибирского шельфа [1].

До настоящего времени в ААНИИ отсутствовала утвержденная ЦМКП методика долгосрочного прогноза дат устойчивого перехода температуры воздуха через ноль градусов на шельфе западной Арктики.

### **Основы метода**

В основу синоптико-статистического метода долгосрочного прогноза дат устойчивого перехода температуры воздуха через ноль градусов на шельфе западной Арктики положены следующие результаты проведенных исследований.

1. Для исследования создан специализированный многолетний архив метеорологических данных. Получены графики временного хода среднесуточных температур воздуха внутри каждого месяца в переходные сезоны года по станциям прибрежного района западной Арктики за период с 1934 по 2013 год.

2. Исследованы пространственно-временные особенности изменчивости температурного режима в переходные сезоны года в прибрежных районах западной Арктики. Определены границы волн тепла и холода в месяцах с устойчивыми переходами температуры через ноль градусов весной. Установлена их связь со сменой естественных стадий развития атмосферных процессов различной продолжительности (ЭСП – элементарный синоптический процесс, ОЦП – однородный циркуляционный период) внутри каждого месяца.

3. С учетом выработанных критериев [6, 9] и определены даты устойчивого перехода среднесуточной температуры воздуха через ноль градусов. Составлен и оформлен каталог дат устойчивого перехода температуры через ноль градусов.

4. На многолетнем ряду наблюдений определена продолжительность безморозных периодов и установлена их связь с характером сезонной и межгодовой изменчивости атмосферных процессов.

5. Выявлены и изучены барико-циркуляционные и адвективно-динамические особенности формирования температурного режима в прибрежных районах западной Арктики и связанные с ними сроки устойчивого перехода температуры через ноль градусов. Произведена классификация по группам лет с ранними, средними и поздними

датами перехода температуры через ноль градусов. Выявлены типы синоптических процессов, отражающие крупномасштабные особенности атмосферной циркуляции, характер динамики барических образований, основных траекторий циклонов и антициклонов в атлантико-евразийском секторе Северного полушария, приводящих к определенным датам устойчивого перехода температуры воздуха через ноль градусов в весенние и осенние периоды на станциях Карского моря, включая станции северной части Обской губы.

6. Для каждого типа синоптических процессов получен ряд их разновидностей и рассчитаны диагностические карты приземного давления, температуры,  $H_{500}$  и их аномалий. Выработаны указания, позволяющие выявлять появление крупномасштабных (смена форм циркуляции, смещение центра циркумполярного вихря) и региональных (смена направления воздушных потоков, знака барического и температурного полей) признаков при ранних и поздних сроках устойчивых переходов среднесуточной температуры воздуха через ноль градусов в весенние и осенние периоды.

7. Уточнены фоновые и сезонные группы однородного развития атмосферных процессов в цепи их преобразований с целью дальнейшего использования при прогнозе температуры воздуха и дат ее перехода через ноль градусов.

8. Определены особенности развития процессов за периоды, предшествующие формированию определенных типов атмосферной циркуляции в Арктике, приводящих к различным температурным условиям, характерным для устойчивого перехода температуры воздуха через ноль градусов весной и осенью. Полученные на данном этапе исследования результаты позволили более определенно подойти к отбору гомологов для прогноза температуры и расчету дат перехода ее через ноль градусов.

9. Проверка прогностических связей на зависимом и независимом рядах показала их эффективность в сравнении с обеспеченностью климатического прогноза.

10. Разработана технология поэтапного составления прогнозов с различной заблаговременностью, которая представлена в виде блок-схемы, включающей сбор и анализ исходных данных; диагноз текущих и предшествующих атмосферных процессов;

прогноз тенденции развития атмосферных процессов; прогноз синоптического положения; расчет ряда метеорологических параметров; прогноз волн тепла и холода.

Прогноз устойчивого перехода температуры через ноль градусов на шельфе западной Арктики составляется в виде аномалий сроков (для прогноза большой заблаговременности) либо в виде конкретных дат для данной полярной станции (в прогнозах на 10–15 суток).

### **Результаты опытных и производственных испытаний метода**

Испытания метода проводились в лаборатории долгосрочных метеорологических прогнозов отдела ледового режима и прогнозов ФГБУ «ААНИИ». Период испытаний – с апреля 2008 г. по октябрь 2013 г. Прогнозы составлялись и оценивались для районов Карского моря, включая акваторию северной части Обской губы.

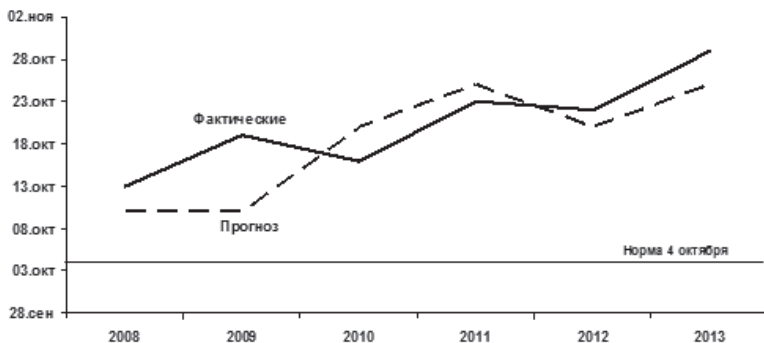
Испытания метода прогноза устойчивого перехода температуры воздуха через ноль градусов проводилось в оперативном режиме, и прогнозы использовались при составлении ледовых и гидрологических прогнозов в отделах ледового режима и прогнозов, гидрологии устьев рек и водных ресурсов и Центре ледовой гидрометеорологической информации ААНИИ.

Всего за период испытаний для шельфовой зоны восточных арктических морей было составлено 60 прогнозов дат устойчивого перехода температуры воздуха через ноль градусов с заблаговременностью от 10 до 30 суток.

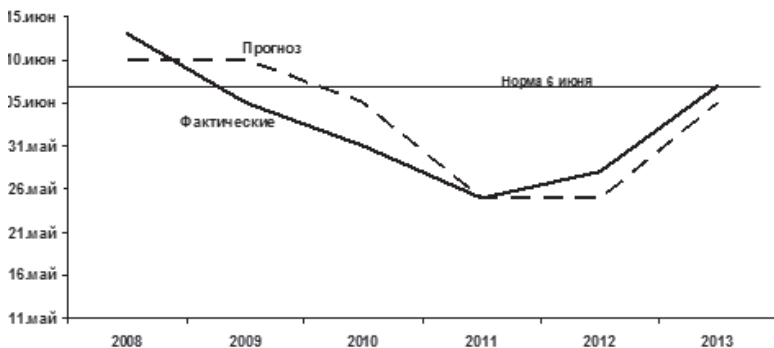
Датой устойчивого перехода температуры через ноль градусов весной принимается первый день периода, за которым сумма положительных среднесуточных температур превышает сумму отрицательных температур любого из последующих периодов возврата холода.

Осенью датой устойчивого перехода температуры через ноль градусов принимается первый день периода, за которым сумма отрицательных среднесуточных температур превышает сумму положительных температур любого из последующих периодов возврата тепла.

На рис. 1 и 2 представлены данные фактических и прогнозных дат устойчивого перехода среднесуточной температуры через ноль градусов осенью и весной на примере станции Амдерма в 2008–2013 гг.



**Рис. 1. Фактические и прогностические даты устойчивого перехода через ноль градусов осенью к отрицательным значениям.**



**Рис. 2. Фактические и прогностические даты устойчивого перехода через ноль градусов весной к положительным значениям.**

В связи с тем, что в настоящее время отсутствует единая методика оценки прогнозов дат устойчивого перехода температуры воздуха через ноль градусов, оправдываемость прогнозов оценивалась согласно [8].

Прогноз по величине считался оправдавшимся, если ошибка была равна или меньше допустимой погрешности. За допустимую погрешность прогноза принималась величина  $0,67u_n$ , где  $u_n$  – среднеквадратическое (природное) отклонение дат устойчивого перехода температуры воздуха через ноль градусов, рассчитанное для всего ряда наблюдений конкретной станции.

Прогноз по знаку считался оправдавшимся, если аномалии прогностических и фактических дат устойчивого перехода совпадали. Эффективность метода определялась из соотношения  $y/y_n$ , где  $y$  – ошибка прогноза.

Оценки оправдываемости прогнозов по всем станциям района для осени и весны приведены в табл. 1.

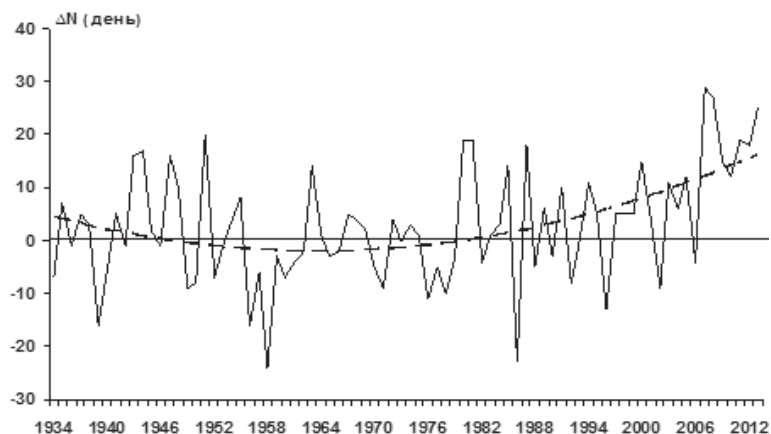
*Таблица 1*

**Результаты оценки прогнозов дат устойчивого перехода температуры воздуха через ноль градусов осенью и весной по станциям Карского моря и северной части Обской губы**

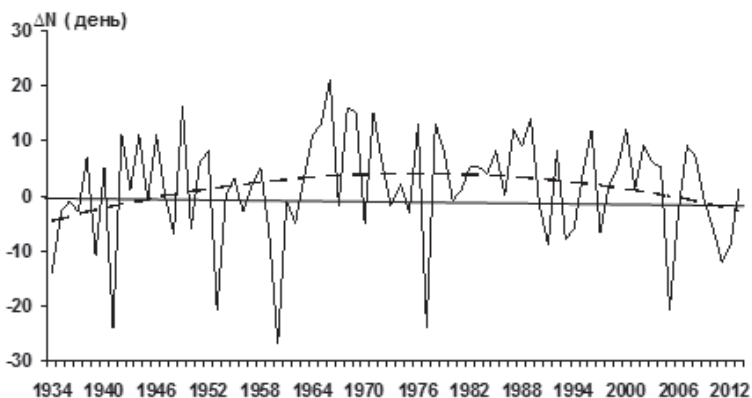
<b>Оценки оправдываемости прогнозов</b>	<b>Осень</b>	<b>Весна</b>
Оправдываемость по знаку, %	93	80
Оправдываемость по величине, %	73	73
Природная обеспеченность, %	53	56
Эффективность метода, %	20	17

Осенью оправдываемость прогнозов по знаку выше, чем весной. Следует отметить, что по сравнению с климатологическими прогнозами эффективность опытных прогнозов осенью составила 20 %, а весной – 17 %. Более надежные прогнозы осенью были обусловлены устойчивой тенденцией повышения температурного фона. В последние годы отмечалось преобладание высоких значений положительных аномалий температуры воздуха в осенний период в западном секторе полярного района Арктики, на фоне которых преобладали поздние по сравнению с нормой устойчивые переходы температуры воздуха через ноль градусов в районе Карского моря. Учет этих тенденций при разработке прогнозов для локальных районов Карского моря и северной части Обской губы повлиял на качество и надежность прогнозов в осенний период. Многолетние значения аномалий дат устойчивого перехода через ноль градусов осенью и весной для станции Амдерма представлены на рис. 3 и 4.

С учетом устойчивых переходов весной и осенью продолжительность безморозного периода в последние годы была близка максимальной за рассматриваемый период. Многолетний ход значений аномалий продолжительности безморозного периода представлен на рис. 5.

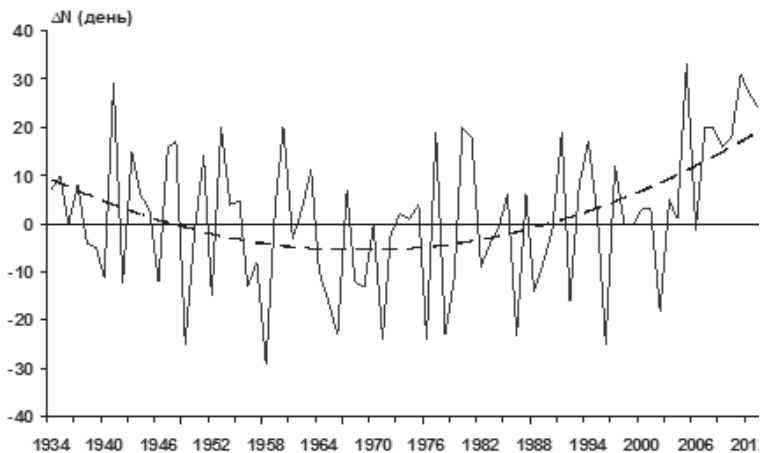


**Рис. 3.** Многолетний ход значений аномалий даты устойчивого перехода среднесуточной температуры воздуха (дни) через ноль градусов осенью.



**Рис. 4.** Многолетний ход значений аномалий даты устойчивого перехода среднесуточной температуры воздуха (дни) через ноль градусов весной.

Следует отметить, что наибольший вклад в увеличение продолжительности безморозного периода последних лет внесли аномально устойчивые поздние переходы температуры воздуха через ноль градусов к отрицательным значениям в осенний период года.



**Рис. 5. Многолетний ход аномалий продолжительности безморозного периода (дни).**

На качество прогнозов, по всей видимости, определенное влияние может оказывать состояние подстилающей поверхности. Весной в мае побережье арктических морей в основном покрыто снежным покровом, а акватории морей заняты припаем и дрейфующим льдом. В этой связи переход температуры воздуха через ноль градусов определяется преимущественно характером адвекции воздушных масс. Осенью наряду с адвекцией на температурный режим влияет теплообмен с теплой подстилающей поверхностью. Возможно, что учет ледовых и гидрологических условий может влиять на устойчивость оценки прогнозов. Поэтому исследования в этом направлении в будущем должны быть продолжены.

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, были несколько смещены во времени, что во многом сказалось на конечной оценке оправдываемости прогнозов.

Следует также отметить, что оправдываемость прогнозов испытываемой методики зависит от качества исходной информации. В связи с



ухудшением в последние годы надежности данных метеорологической сети станций, закрытия ряда репрезентативных станций (особенно на островах), а также станций аэрологического зондирования, ухудшается надежность анализа и диагноза начальных условий циркуляции атмосферы и погоды в локальных районах Арктики. Все это приводит к уменьшению оправдываемости прогнозов, особенно при увеличении их заблаговременности.

В складывающейся ситуации особенно ценно применение макроциркуляционного метода долгосрочного прогнозирования погоды в Арктике, который позволяет рассматривать процессы в локальном районе Карского моря в связи с крупномасштабными изменениями циркуляции атмосферы первого (атлантико-евразийского) естественного синоптического района Северного полушария и северной полярной области [4, 7]. В частности, существенный вклад в повышение качества прогнозов дат устойчивого перехода температуры воздуха через ноль градусов внесло использование средних дат, а также их отклонений от средних многолетних дат, полученных для типовых макросиноптических процессов и их разновидностей, которые были получены в данном исследовании.

### **Выводы о целесообразности внедрения метода**

До настоящего времени в ААНИИ отсутствовал метод долгосрочного прогноза дат устойчивого перехода температуры воздуха через ноль градусов на шельфе западной Арктики. Проведенные исследования атмосферных процессов различного пространственно-временного масштаба с целью усовершенствования макроциркуляционного метода прогнозирования для отдельных районов северной полярной области позволили разработать технологию прогнозирования дат устойчивого перехода температуры воздуха через ноль градусов для шельфовой зоны Карского моря. Технология позволяет предсказывать знак аномалии наступления устойчивого перехода температуры воздуха через ноль градусов осенью и весной с заблаговременностью 10–30 суток.

Результаты прогнозов по данному методу показали сравнительно надежную оправдываемость. Метод характеризуется эффективностью по сравнению с климатическими оценками.

ЦМКП Росгидромета на заседании от 24 октября 2014 г. постановила:

– рекомендовать ФГБУ «ААНИИ» внедрить метод в оперативную практику ФГБУ «ААНИИ» в качестве основного.

#### Список литературы

1. *Алексеев Ю.Н., Афанасьев В.П., Литонов О.Е.* Ледотехнические аспекты освоения морских месторождений нефти и газа. – СПб: Гидрометеоздат, 2001. – 356 с.

2. *Вангенгейм Г.Я.* Основы макроциркуляционного метода долгосрочных метеорологических прогнозов для Арктики // Труды ААНИИ. – 1952. – Т. 34. – 314 с.

3. *Гирс А.А.* Макроциркуляционный метод долгосрочных метеорологических прогнозов. – Л.: Гидрометеоздат, 1974. – 485 с.

4. *Иванов В.В.* Результаты испытаний усовершенствованного макроциркуляционного метода фонового прогноза для шельфовых районов Западной Арктики // Информационный сборник № 30. – 2003. – С. 68–74.

5. *Иванов В.В., Виноградов Н.Д.* Макроциркуляционный метод долгосрочных метеорологических прогнозов для полярных областей // Проблемы Арктики и Антарктики. – 1995. – Вып. 70. – С. 246–254.

6. *Козельцева В.Ф.* К проблеме устойчивого перехода температуры воздуха через 0 °С, +5 °С // Труды Гидрометцентра СССР. – 1971. – Вып. 76. – С. 73–81.

7. *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.

8. Наставление по службе прогнозов. Раздел 3. Ч. III. – М.: Гидрометеоздат, 1982. – 143 с.

9. *Чувахина И.Е.* Прогноз дат устойчивого весеннего перехода температуры воздуха через 0, +5 °С // Труды ГГО. – 1981. – Вып. 446. – С. 47–51.

10. *Ivanov V.V., Vinogradov N.D.* Meteorological forecasts // INSROP working paper. – 1995. – No. 10, 1.61: Operational tools. Norway. – P. 7–23.