

Среда обитания  
водных биологических ресурсов

Диагноз и прогноз условий среды обитания гидробионтов

УДК 639.2.953.8:551.46(268.45)

Современное состояние океанографических наблюдений  
в Баренцевом море и проблемы долгосрочного прогнозированияА.Л. Карсаков<sup>1</sup>, А.С. Аверкиев<sup>2</sup>, Д.В. Густов<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Полярный научно-исследовательский институт морского рыбного хозяйства и океанографии им. Н.М. Книповича (ФГБНУ «ПИНРО»), г. Мурманск

<sup>2</sup>Российский государственный гидрометеорологический университет (ФГБОУ «РГГМУ»), г. Санкт-Петербург

E-mail: karsakov@pinro.ru

Результаты любых научных исследований во многом определяются объёмом, репрезентативностью и доступностью данных наблюдений. Ряд океанографических наблюдений на разрезе «Кольский меридиан» в Баренцевом море является уникальным по продолжительности (более 115 лет) и по значимости для характеристики состояния моря и соседних акваторий. В последние несколько лет, особенно в 2016 г., произошло существенное снижение количества наблюдений на разрезе, что привело к потере репрезентативности временного ряда океанографических наблюдений. В статье проводится анализ качества и изменения объёма исходных океанографических данных в Баренцевом море и смежных акваториях. Показано так же, как уменьшение количества данных наблюдений приводит к снижению эффективности долгосрочного прогнозирования термического состояния Баренцева моря.

**Ключевые слова:** океанографические наблюдения, температура воды, разрез «Кольский меридиан», прогнозы, эффективность.

## ВВЕДЕНИЕ

Качество результатов любых научных исследований во многом определяется объёмом, репрезентативностью и доступностью данных наблюдений. За многолетний период экспедиционных наблюдений в Баренцевом море и сопредельных водах в Полярном институте морского рыбного хозяйства и океанографии им. Н.М. Книповича (ПИНРО) накоплен большой массив океанографических данных. Эти данные позволили установить ряд важных особенностей влияния условий среды на формирование первичной продуктивности, функционирование зоопланктона и бентоса, урожайность поколений и биологические характеристики гид-

робионтов, миграции и распределение промысловых объектов. С другой стороны, количество и качество исходных данных определяют возможность и эффективность прогнозирования абиотических условий и промысловых показателей. С точки зрения этих положений в статье производится анализ качества и изменения объёма исходных океанографических данных в Баренцевом море и смежных акваториях.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЯ

В течение длительного периода наблюдений измерения параметров абиотической среды в Баренцевом море и соседних акваториях осуществлялись с различной степенью временной и

пространственной дискретностей. С 1950 по 1990 гг. ежегодно на акватории Баренцева моря выполнялось в среднем по 2,6 тыс. океанографических станций. С 1991 по 2015 гг. этот показатель снизился в 2 раза, но тем не менее даже такой объём наблюдений обеспечивал потребности мониторинга морской среды и позволял проводить анализ пространственной и сезонной изменчивостей океанографических характеристик на акватории моря (рис. 1).

В многолетних исследованиях на акватории Баренцева моря особое внимание всегда уделялось наблюдениям на стандартных разрезах, данные которых в настоящее время являются основным источником современных знаний об

особенностях сезонных и многолетних изменений океанографического режима вод.

Это даёт возможность осуществлять мониторинг климатообразующих факторов, а также использовать полученные данные для разработки долгосрочных температурных, ледовых и рыбопромысловых прогнозов.

В Баренцевом море океанографические исследования на стандартных разрезах имеют довольно большую историю, а ряд наблюдений на разрезе «Кольский меридиан» является наиболее продолжительным в исследуемом регионе. Он имеет более чем 115-летнюю историю наблюдений и выполняется, как правило, ежемесячно (рис. 2).

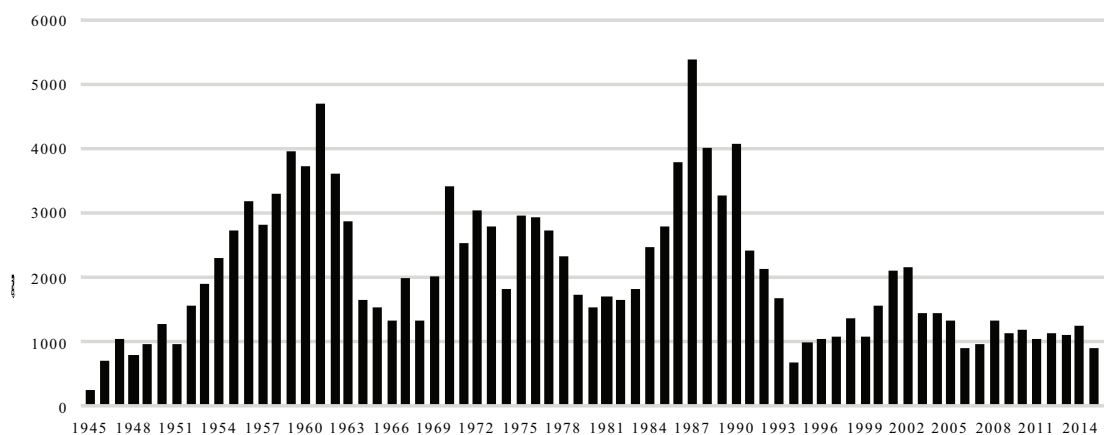


Рис. 1. Количество станций, выполненных на акватории Баренцева моря российскими мореведческими организациями в 1945–2016 гг.

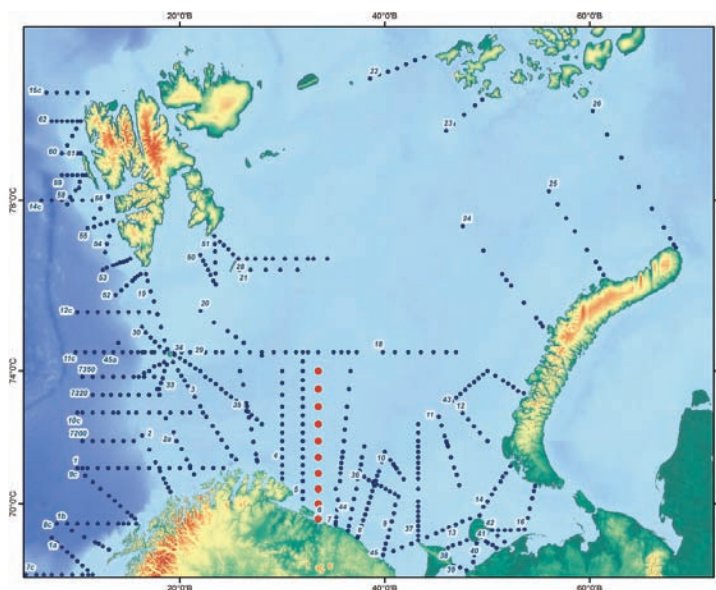


Рис. 2. Положение стандартных океанографических разрезов в Баренцевом море и сопредельных водах (красным цветом выделен разрез «Кольский меридиан»)

По длительности выполнения, количеству данных и их пространственному охвату разрез «Кольский меридиан» признан уникальным и получил широкую известность среди учёных мира. Еще в начале 1960-х гг. Г.К. Ижевский [Ижевский, 1961, 1964] отмечал, что для изучения сезонных и многолетних колебаний запасов тепла, соли и других характеристик вод в Баренцевом море вполне достаточно использовать регулярные наблюдения на одном разрезе «Кольский меридиан», что по характеристикам этого разреза в такой же мере можно судить о динамике вод в Норвежском море, а также анализировать процессы, происходящие в морях западной части Северного полушария.

Более чем столетний ряд наблюдений на разрезе «Кольский меридиан» используется для оценки многолетнего изменения климата и долгосрочного прогноза теплового состояния вод. Так, например, с 1990-х гг. в Баренцевом море отмечается период потепления. Уровень теплового состояния вод на разрезе в этот период характеризуется как тёплый и аномально тёплый. В 2012 г. среднегодовая температура воды на станциях 3–7 разреза «Кольский меридиан» в слое 0–200 м была максимальной за весь период наблюдений с 1900 г. и превышала норму на 1,3 °С. Подобные аномалии температуры воды на разрезе также фиксировались ранее в достаточно продолжительный период «потепления Арктики» в 1930–1950-х гг. с экстремумами в 1938 и 1954 гг. Всего же из 10 известных с 1900 г. аномально тёплых лет, когда среднегодовая температура воды деятельного слоя на разрезе «Кольский меридиан» превышала среднемноголетнюю более чем на 0,7 °С, половина

приходится на последнее пятнадцатилетие [Педченко и др., 2006; Карсаков, 2009] (рис. 3).

В 2016 г. в связи с сокращением исследовательского объёма океанографических наблюдений, проводимых научно-исследовательскими судами Полярного института на акватории Баренцева моря и сопредельных вод, уменьшился в 2 раза. Такой годовой объём океанографической информации является минимальным с 1946 г. (рис. 1). На разрезе «Кольский меридиан» в течение года было выполнено лишь 5 серий наблюдений, что является абсолютным минимумом за последние 70 лет и сравнимо только с послевоенным периодом (рис. 4). Наблюдения в Основной ветви Мурманского течения на разрезе проводились лишь в первой половине года с января по май. Это не позволило определить среднегодовой уровень теплового содержания вод на «Кольском меридиане» в 2016 г., а также представить обоснованный прогноз температуры воды на 2017–2018 гг.

По результатам наблюдений в Баренцевом море в 2016 г. по всем ветвям тёплых течений с начала года и по май, а в Прибрежной ветви Мурманского течения и в ноябре (когда были выполнены последние наблюдения на разрезе) отмечались положительные аномалии, превышающие 1 °С. При этом в Прибрежной ветви Мурманского течения с марта по май и в ноябре, в Основной ветви Мурманского течения в январе, марте и апреле, в Центральной ветви Нордкапского течения в январе средняя температура воды была максимальной с 1951 г. [Состояние сырьевых..., 2017].

Температура вод поверхностного слоя на большей части акватории была в среднем на

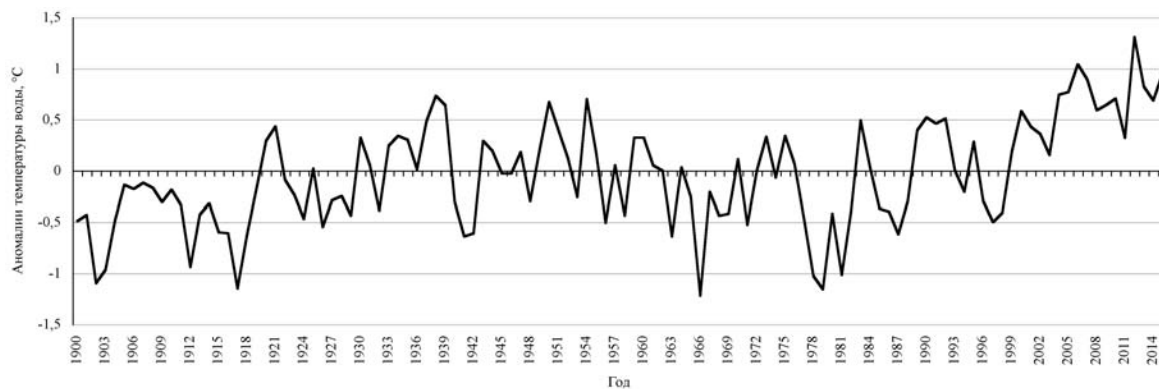


Рис. 3. Среднегодовые аномалии температуры воды в слое 0–200 м в Основной ветви Мурманского течения на разрезе «Кольский меридиан» в 1900–2015 гг.

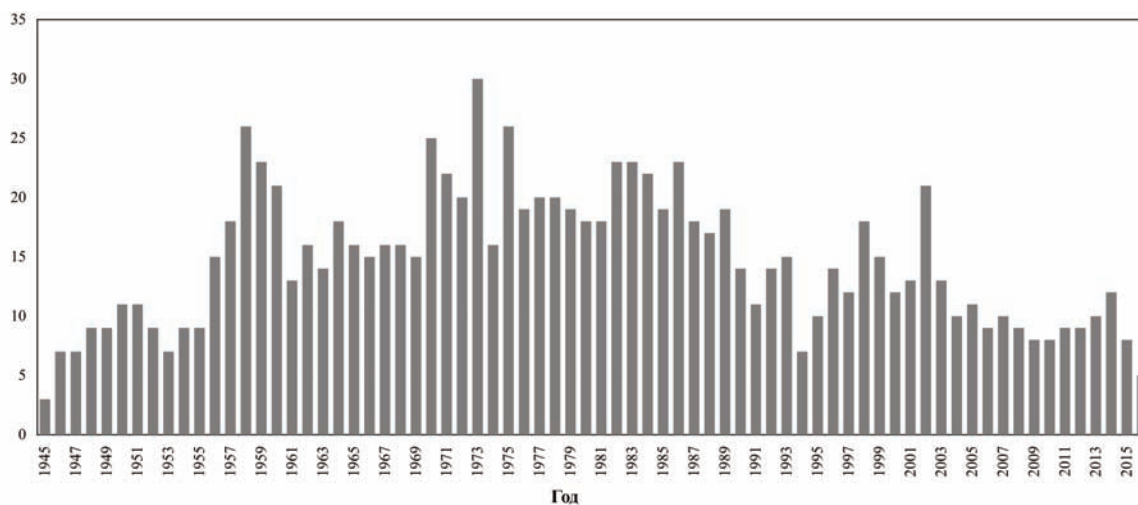


Рис. 4. Количество серий наблюдений на разрезе «Кольский меридиан» в 1945–2016 гг.

1,5–2,0 °С выше нормы. Максимальные положительные аномалии температуры (3,5–4,5 °С) отмечались в юго-восточной части моря. По сравнению с 2015 г. температура поверхностного слоя в 2016 г. на большей части моря, особенно на западе и востоке, была выше на 0,5–2,5 °С. В то же время в южной и центральной частях Баренцева моря отмечались отрицательные отклонения, которые составили 0,5–1,0 °С [Состояние сырьевых..., 2017].

Температура воды у дна на большей части акватории была на 0,8–1,5 °С выше нормы с

максимальными аномалиями (2,1–2,5 °С) в юго-восточной части моря и в районе Медвежинско-Шпицбергенского мелководья. По сравнению с 2015 г. температура воды в придонном слое почти повсеместно была в среднем на 0,3–1,0 °С выше, лишь на небольших локальных участках она была ниже прошлогодней. Примерно на 30% исследованной акватории придонная температура воды превысила максимальные значения с 1951 г. (рис. 5).

Следует отметить, что в 2016 г. как у дна, так и в промежуточных слоях наблюдалось

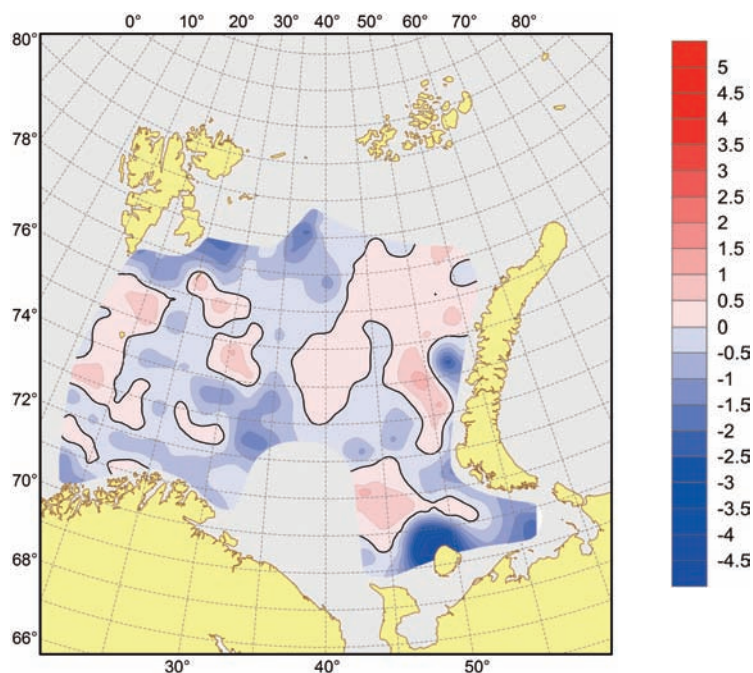


Рис. 5. Разность фактической температуры воды в 2016 г. и её максимальных значений в придонном слое в августе–сентябре

существенное уменьшение, по сравнению с 2015 г., площади, занятой водами с отрицательной температурой. При этом в придонном слое площадь, занятая этими водами, составила лишь 0,4%, что является абсолютным минимумом за последние 16 лет (рис. 6).

В целом можно отметить, что термическое состояние вод основных течений Баренцева моря в 2016 г. сохранялось на аномально высоком уровне. На фоне сохраняющегося аномального потепления отсутствие ежемесячных наблюдений на «Кольском меридиане» может крайне негативно сказаться на дальнейшем анализе и прогнозе теплового состояния вод.

Восстановление пропущенных данных при наличии экстремальных значений температуры воды будет очень непростой задачей. Учитывая их важность в комплексных экосистемных исследованиях, необходимо восстановить выполнение разреза «Кольский меридиан» в объёме, необходимом для получения достоверных данных о состоянии вод Баренцева моря.

Теперь рассмотрим эффективность долгосрочного прогнозирования термического состояния вод в районе разреза «Кольский меридиан» и влияния недостаточного количества исходных данных в 2016 г. (и нескольких предыдущих лет)

на качество прогнозирования аномальных условий последних лет. Очевидно, что количество и качество исходных данных по температуре воды на разрезе «Кольский меридиан», не может не отразиться на качестве сверхдолгосрочных прогнозов этой характеристики, иными словами: «каковы данные, таков и прогноз...».

Опыт сверхдолгосрочного прогнозирования среднегодовой температуры воды в слое 0–200 м на разрезе «Кольский меридиан» с заблаговременностью 1 год, выполняемого в РГГМУ (по заказу и согласованного с ПИНРО), насчитывает более 50 лет, кроме этого, с 2005 г. проводится опытное прогнозирование среднемесячной температуры с заблаговременностью до 4 лет. Начиная с 1986 г. по настоящее время ведется единообразная оценка оправдываемости прогнозов [Исследование изменчивости..., 2010]. За последние 30 лет составлено более 1000 прогнозов. Оценка оправдываемости этих прогнозов за различные временные интервалы представлена в таблице.

На протяжении всего периода проводилось совершенствование прогностических методов и подходов, что позволило добиться существенного повышения оправдываемости прогнозов в последнее десятилетие (таблица). С 2005 г.

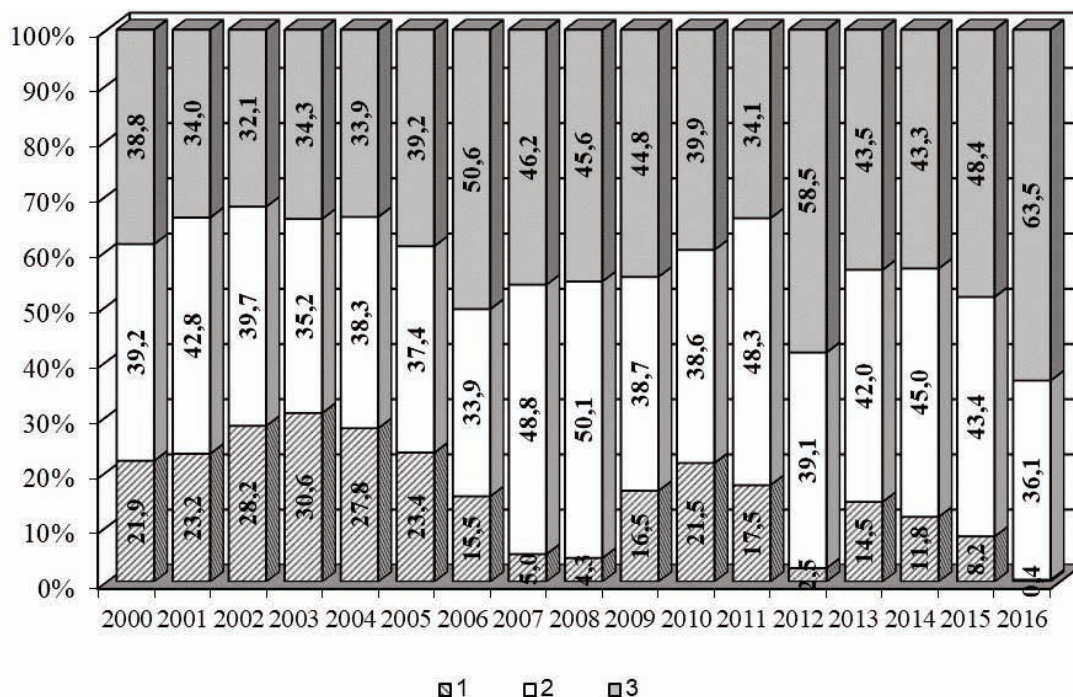


Рис. 6. Процентное соотношение площади придонных вод с различными диапазонами температуры в Баренцевом море в августе–сентябре 2000–2016 гг.: 1 — ниже 0 °С; 2 — от 0 до 2 °С; 3 — от 2 °С и выше

**Таблица.** Оправдываемость прогнозов температуры воды на станциях 3–7, в слое 0–200 м разреза «Кольский меридиан» за 1986–2015 гг.

Период, год	Осреднение	Оправдываемость по знаку, %	Оправдываемость по значению, %	Эффективность по сравнению с климатическим, %
1986–2004	Год	83	79	19
2005–2015	Год	100	90	70
2005–2015	Месяц	100	83	43

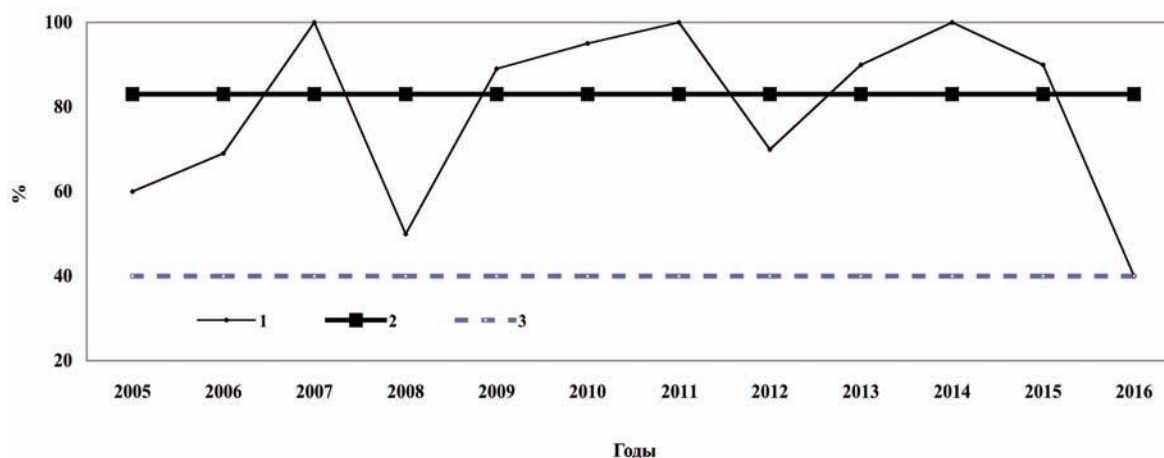
выполняются прогнозы среднемесячных значений температуры воды на «Кольском меридиане» с заблаговременностью в 4 года. Оправдываемость этих прогнозов также достаточно высока. Эффективность прогнозов среднегодовых значений по сравнению с климатическим методом составляет 70%, а среднемесячных более 40%.

Тем не менее из-за сокращения количества наблюдений на разрезе и ухудшения качества исходной информации в «налаженной» прогностической схеме наблюдаются «сбои».

На рис. 7 показана оправдываемость сверхдолгосрочных прогнозов среднемесячных значений температуры воды на разрезе «Кольский меридиан» за 2005–2016 гг. Согласно рисунку средняя оправдываемость прогнозов средних месячных значений температуры за последнее десятилетие составляет 83%. Однако, недостаток информации и ухудшение её качества прослеживаются с 2008 г.

Очевидно, что не только качество исходной информации определяет успешность прогноза.

В 2008 г., например, был отмечен абсолютно высокий термический фон за весь предшествующий период наблюдений и модели (в силу своей специфики) не смогли воспроизвести то, чего статистические модели «никогда не видели», т.е. не могли воспроизвести значения, которые не наблюдались ранее (оправдываемость составила 50% по числовым значениям). В 2012 г. снова наблюдался исторический максимум температуры, но модели в этот раз смогли адаптироваться к возможности подобной ситуации и об этом говорит оправдываемость прогнозов в 70%. Тем не менее эта оправдываемость на 13% ниже, чем средняя за весь период выполнения сверхдолгосрочных прогнозов. Именно с этого времени на качестве прогнозов начинает сказываться недостаток наблюдений — исходной информации. Ещё раньше, с 2003 г., данные «потеряли» месячную дискретность, т.е. наблюдения на разрезе стали выполняться не каждый календарный месяц, а отсутствующие значения восстанавливались сотрудниками ПИНРО по собственным мето-



**Рис. 7.** Оправдываемость (по числовым значениям) сверхдолгосрочных прогнозов среднемесячных значений температуры воды на разрезе «Кольский меридиан» за 2005–2016 гг.: 1 — оправдываемость по значению; 2 — средняя оправдываемость 2005–2016 гг.; 3 — средняя оправдываемость климата 2005–2016 гг.

дикам. В 2016 г. ситуация ухудшилась настолько, что отрывочные сведения о термическом состоянии на разрезе «Кольский меридиан» охватили только период с января по май! Причём эти сведения совершенно не характеризуют интегральное состояние термики вод в течение календарного месяца. Очевидно, что это обстоятельство сразу же отразилось на качестве прогнозов. Оправдываемость среднемесячных значений прогноза за период январь—май 2016 г. составила 40% (оправдались 2 прогноза из 5). Таким образом складывающаяся ситуация со значительными по длительности пропусками в данных судовых наблюдений приводит к потере репрезентативности одного из самых длительных источников информации о термическом состоянии Баренцева моря. Причём даже при возобновлении регулярных наблюдений на разрезе «Кольский меридиан» необходимо будет решать проблему восстановления пропусков в исходных данных, как минимум, за 2016 календарный год.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Ряд океанографических наблюдений на разрезе «Кольский меридиан» является уникальным по продолжительности (более 115 лет) и по значимости для характеристики состояния Баренцева моря и соседних акваторий.

В последние несколько лет произошло существенное, а в 2016 г. — резкое, снижение количества наблюдений на разрезе, что приводит к потере репрезентативности уникального временного ряда океанографических наблюдений.

Показано, что это негативно сказывается на возможности надёжной оценки, эффективности и оправдываемости прогнозов термического состояния Баренцева моря, особенно учитывая, что в настоящее время наблюдается аномально высокий тепловой фон как в поверхностных, так и в глубинных слоях моря.

### ЛИТЕРАТУРА

*Ижевский Г.К.* 1961. Океанологические основы формирования промысловой продуктивности морей. М.: Пищепромиздат. 215 с.

*Ижевский Г.К.* 1964. Системная основа прогнозирования океанологических условий и воспроизводства промысловых рыб. М.: ВНИРО. 165 с.

*Бойцов В.Д., Карсаков А.Л., Аверкиев А.С., Густоев Д.В., Карпова И.П.* 2010. Исследование изменчивости гидрофизических характеристик по наблюдениям на разрезе «Кольский меридиан» // Ученые записки РГГМУ. № 15. С. 135—149.

*Карсаков А.Л.* 2009. Океанографические исследования на разрезе «Кольский меридиан» в Баренцевом море в 1900—2008 гг. Мурманск: Изд-во ПИНРО. 139 с.

*Педченко А.П., Карсаков А.Л., Гузенко В.В.* 2006. Мониторинг морской среды в Баренцевом море, состояние и перспективы // Проблемы устойчивого функционирования водных и наземных экосистем. Материалы Международной научной конференции. Ростов на/Д.: С. 171—174.

*Состояние сырьевых биологических ресурсов Баренцева моря и Северной Атлантики в 2017 г.* 2017. Мурманск: Изд-во ПИНРО. 117 с.

### REFERENCES

*Izhevskij G.K.* 1961. Okeanologicheskie osnovy formirovaniya promyslovoj produktivnosti morej. M.: Pishhepromizdat. 215 s.

*Izhevskij G.K.* 1964. Sistemnaja osnova prognozirovaniya okeanologicheskikh uslovij i vosproizvodstva promyslovyh ryb. M.: VNIRO. 165 s.

*Bojtsov V.D., Karsakov A.L., Averkiev A.S., Gustoev D.V., Karpova I.P.* 2010. Issledovanie izmenchivosti gidrofizicheskikh harakteristik po nabljudenijam na razreze «Kol'skij meridian» // Uchenye zapiski RGGMU. № 15. S. 135—149.

*Karsakov A.L.* 2009. Okeanograficheskie issledovaniya na razreze «Kol'skij meridian» v Barencevom more v 1900—2008 gg. Murmansk: Izd-vo PINRO. 139 s.

*Pedchenko A.P., Karsakov A.L., Guzenko V.V.* 2006. Monitoring morskoy sredy v Barencevom more, sostojanie i perspektivy // Problemy ustojchivogo funkcionirovaniya vodnyh i nazemnyh jekosistem. Materialy Mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii. Rostov na/D.: S. 171—174.

*Sostoyanie syr'evykh biologicheskikh resursov Barenceva morya i Severnoj Atlantiki v 2016 g.* 2016. Murmansk: Izd-vo PINRO. 107 s.

*Поступила в редакцию 25.04.2017 г.  
Принята после рецензии 30.06.2017 г.*

## Current oceanographic observations in the Barents sea and problems of long-term forecasting

*A.L. Karsakov<sup>1</sup>, A.S. Averkiev<sup>2</sup>, D.V. Gustoev<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> Knipovich Polar Research Institute of Marine Fisheries and Oceanography (FSBSI «PINRO»),  
Murmansk

<sup>2</sup> Russian State Hydrometeorological University (FSBEI «RSHU»), Saint-Petersburg

The results of any scientific research are largely determined by the volume, representativeness and accessibility of observational data. A number of oceanographic observations on the «Kola Meridian» section in the Barents Sea is unique in duration (over 115 years) and in importance for characterizing the state of the sea and neighboring water areas. In the last few years, and especially in 2016, there has been a significant reduction in the number of observations in the section, which leads to a loss of representativeness of the time series of oceanographic observations. The article analyzes quality and changes the volume of initial oceanographic data in the Barents Sea and adjacent water areas. It is also shown how a decrease in the number of observational data leads to a decrease in the effectiveness of long-term forecasting of the thermal state of the Barents Sea.

**Keywords:** oceanographic observations, water temperature, section «Kola Meridian», forecasts, effectiveness.