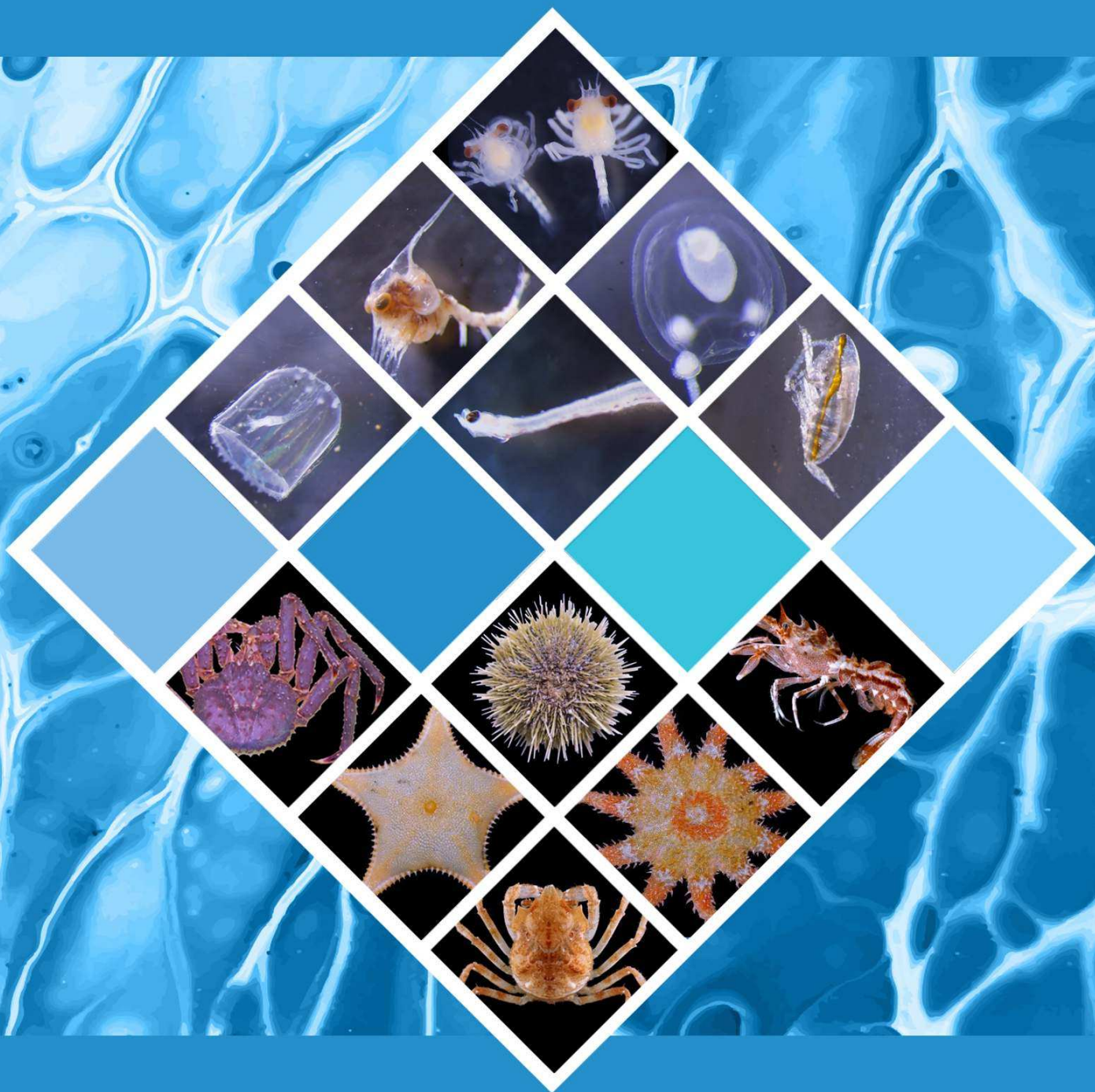




ГИДРОХИМИЧЕСКИЕ, ГИДРОБИОЛОГИЧЕСКИЕ И ЭКОТОКСИКОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ НА РАЗРЕЗЕ «КОЛЬСКИЙ МЕРИДИАН»



ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО РЫБОЛОВСТВУ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ НАУЧНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
«ВСЕРОССИЙСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
РЫБНОГО ХОЗЯЙСТВА И ОКЕАНОГРАФИИ» (ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО»)
Полярный филиал ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО» («ПИНРО» им. Н.М. Книповича)



**ГИДРОХИМИЧЕСКИЕ,
ГИДРОБИОЛОГИЧЕСКИЕ
И ЭКОТОКСИКОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
НА РАЗРЕЗЕ «КОЛЬСКИЙ МЕРИДИАН»**

**Мурманск
2025**

**FEDERAL AGENCY FOR FISHERIES
STATE SCIENTIFIC CENTRE OF THE RUSSIAN FEDERATION
FEDERAL STATE BUDGETARY SCIENTIFIC INSTITUTION
«RUSSIAN FEDERAL RESEARCH INSTITUTE
OF FISHERIES AND OCEANOGRAPHY»**

Polar Branch of SSC RF FSBSI «VNIRO» («PINRO» named after N.M. Knipovich)



**HYDROCHEMICAL,
HYDROBIOLOGICAL
AND ECOTOXICOLOGICAL STUDIES
IN THE KOLA SECTION**

**Murmansk
2025**

УДК 574.52:628.394(268.45)
Г46

Рецензенты:

*О.В. Титов, д-р геогр. наук
Д.В. Захаров, канд. биол. наук*

Авторы: А.Г. Трофимов (введение, гл. 1, 2, заключение), М.А. Губанищев (гл. 2), М.Ю. Анциферов (гл. 2), И.П. Прокопчук (гл. 3), И.Е. Манушин (гл. 4), Н.А. Стрелкова (гл. 4), А.С. Брыкина (гл. 4), В.С. Вязникова (гл. 4), М.А. Новиков (гл. 5), Е.А. Горбачева (гл. 5).

Г 46 **Гидрохимические**, гидробиологические и экотоксикологические исследования на разрезе «Кольский меридиан» / А.Г. Трофимов, М.А. Губанищев, М.Ю. Анциферов [и др.]; научный редактор канд. биол. наук К.М. Соколов; Полярный филиал ГНЦ РФ ФГБНУ «ВНИРО» («ПИНРО» им. Н.М. Книповича). – Мурманск: ПИНРО им. Н.М. Книповича, 2025. – 204 с.

ISBN 978-5-86349-308-4

В монографии представлены результаты гидрохимических, гидробиологических и экотоксикологических исследований на разрезе «Кольский меридиан» Баренцева моря. Рассмотрены основные особенности сезонной и межгодовой изменчивости содержания в воде кислорода и фосфатов. Представлен анализ современного состояния и многолетних изменений зоопланктонных и бентосных сообществ, их таксономического состава, численности и биомассы. Для разных сезонов показаны уровни содержания основных загрязняющих веществ в морской воде и донных отложениях.

Монография предназначена для океанографов, морских биологов, экологов и тех, кто интересуется вопросами гидрохимии, гидробиологии и экотоксикологии Баренцева моря.

Редакционная коллегия:

*А.В. Долгов, д-р биол. наук, А.Ю. Жилин, канд. хим. наук,
Е.В. Сентябов, канд. геогр. наук, К.М. Соколов, канд. биол. наук (научный редактор)*

ISBN 978-5-86349-308-4

© «ПИНРО» им. Н.М. Книповича, 2025

Reviewers:

O.V. Titov, DSc (Geography)
D.V. Zakharov, PhD (Biology)

Authors: A.G. Trofimov (Introduction, Chapters 1, 2, Conclusions), M.A. Gubanishchev (Chapter 2), M.Yu. Antsiferov (Chapter 2), I.P. Prokopchuk (Chapter 3), I.E. Manushin (Chapter 4), N.A. Strelkova (Chapter 4), A.S. Brykina (Chapter 4), V.S. Vyaznikova (Chapter 4), M.A. Novikov (Chapter 5), E.A. Gorbacheva (Chapter 5).

Hydrochemical, hydrobiological and ecotoxicological studies in the Kola Section / A.G. Trofimov, M.A. Gubanishchev, M.Yu. Antsiferov [et al.]; Scientific Editor Konstantin M. Sokolov; Polar Branch of SSC RF FSBSI «VNIRO» («PINRO» named after N.M. Knipovich). – Murmansk: «PINRO» named after N.M. Knipovich, 2025. – Murmansk: PINRO named after N.M. Knipovich, 2025. – 204 p.

The monograph gives results of hydrochemical, hydrobiological and ecotoxicological studies in the Kola Section of the Barents Sea. The main features of seasonal and interannual variability of oxygen and phosphate content in sea water are considered. The present state and long-term variations of zooplankton and benthic communities, their taxonomic composition, abundance, and biomass are analyzed. The levels of the main pollutants in sea water and bottom sediments are shown for different seasons.

The monograph was designed for oceanographers, marine biologists, ecologists, and for those, who are interested in issues on hydrochemistry, hydrobiology and ecotoxicology of the Barents Sea.

Editorial Board:

A.V. Dolgov, DSc (Biology), A.Yu. Zhilin, PhD (Chemistry),
E.V. Sentyabov, PhD (Geography), K.M. Sokolov, PhD (Biology) (Scientific Editor)

ВВЕДЕНИЕ

Для изучения сезонных и межгодовых изменений гидрохимических, гидробиологических и экотоксикологических условий в море необходимы продолжительные ряды данных, одним из основных источников которых являются наблюдения на стандартных океанографических разрезах. В Баренцевом море и смежных водах в прошлом веке (преимущественно в первой половине) были учреждены 72 таких разреза. В XXI в. наблюдения проводили преимущественно на 10 из них, а регулярно – только на разрезе № 6, более известном как «Кольский меридиан». Он уникален не только по продолжительности (с 1900 г.), но и по частоте выполнений – от 6 до 20 раз в год [105]. История разреза восходит к 1899 г., когда в Стокгольме на 1-й Международной конференции по исследованию моря предложили измерять океанографические параметры на стандартных горизонтах и разрезах в целях обеспечения сравнимости результатов наблюдений и оценки сезонной и межгодовой изменчивости [34]. На конференции учредили схему таких разрезов для европейских морей. В Баренцевом море, помимо еще двух разрезов, рекомендовали также выполнять разрез вдоль меридиана $33^{\circ}30'$ в.д. от Кольского залива и далее на север. Впоследствии он получил название «Кольский меридиан». На нем в мае 1900 г. впервые океанографические и биологические исследования были проведены на пароходе «Андрей Первозванный» – первом российском научном судне под руководством Н.М. Книповича [41].

Материалы наблюдений на разрезе «Кольский меридиан» легли в основу большого количества публикаций в области физической, промысловой и биологической океанографии Баренцева моря и использовались многими исследователями для изучения влияния условий морской среды на водные биологические ресурсы не только в Баренцевом море, но и во всем Северном рыбохозяйственном бассейне [8, 24, 30, 31, 35, 40, 81, 89, 90, 93, 102, 105]. Характеристики водных масс на этом разрезе во многом отражают условия в Баренцевом море в целом, что позволяет использовать его как реперный разрез и индикатор климата всего моря [7, 26, 30, 31, 84, 110, 111].

Проводимые на разрезе «Кольский меридиан» исследования имеют комплексный характер: помимо традиционных океанографических наблюдений, также определяют гидрохимические показатели, изучают зоопланктонные и бентосные сообщества, осуществляют мониторинг загрязняющих веществ. Однако, несмотря на большой объем данных, собранных на разрезе, их обзор выполняли редко. Учитывая востребованность этих материалов, очевидны актуальность и практическая значимость работы по обобщению

нию, систематизации и всестороннему анализу гидрохимических, гидро-биологических и экотоксикологических данных на этом уникальном вековом разрезе.

В первой главе настоящей монографии приведена физико-географическая характеристика района исследований, включая описание термохалинных условий. Во второй главе подробно изложены результаты анализа сезонной и межгодовой изменчивости концентрации растворенного в воде кислорода, насыщения им вод и содержания фосфатов на разрезе «Кольский меридиан» на основе данных за 1961–2020 гг. В третьей главе дана оценка состояния зоопланктонных сообществ на разрезе, рассмотрен таксономический состав зоопланктона, выполнен анализ пространственной, сезонной и межгодовой изменчивости его численности и биомассы в слое 0–50 м в мае–июле 1960–2017 гг. В четвертой главе рассмотрены изменения в бентосных сообществах – состав, биомасса и плотность поселений – на «Кольском меридиане» в 1930–2019 гг., оценены видовое богатство и разнообразие макрозообентоса, экологическое состояние исследуемой акватории. В пятой главе с 2012 по 2023 г. для поверхностных и придонных вод и донных отложений на разрезе представлены результаты анализа содержания в них в разные сезоны основных загрязняющих веществ: тяжелых металлов (Fe, Cu, Cd, Ni, Zn, Cr, Co, Pb, Mn, Hg), мышьяка (As), неполярных алифатических углеводородов, полициклических ароматических углеводородов, хлорорганических пестицидов и полихлорбифенилов.

1. ФИЗИКО-ГЕОГРАФИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА

Разрез «Кольский меридиан» (вдоль $33^{\circ}30'$ в.д. от Кольского залива на север до $77^{\circ}00'$ с.ш.) состоит из 16 станций, его протяженность составляет 450 мор. миль (рис. 1.1). Глубина здесь изменяется от 145 до 318 м, составляя в среднем около 240 м (табл. 1.1, рис. 1.2). Располагаясь в южной и центральной частях Баренцева моря, разрез пересекает основной поток теплых и соленых атлантических вод, следующих из Норвежского моря в Баренцево и далее в Арктический бассейн и влияющих в значительной степени на климат не только Баренцева моря, но и всего Северного Ледовитого океана [113]. Через «Кольский меридиан» в генеральном восточном направлении несут свои воды Прибрежная и Основная ветви Мурманского и Центральная ветвь Нордкапского течений. Благодаря их отепляющему действию лед в районе разреза может встречаться лишь на северных станциях (как правило, севернее 75° с.ш.) и только в зимний период.

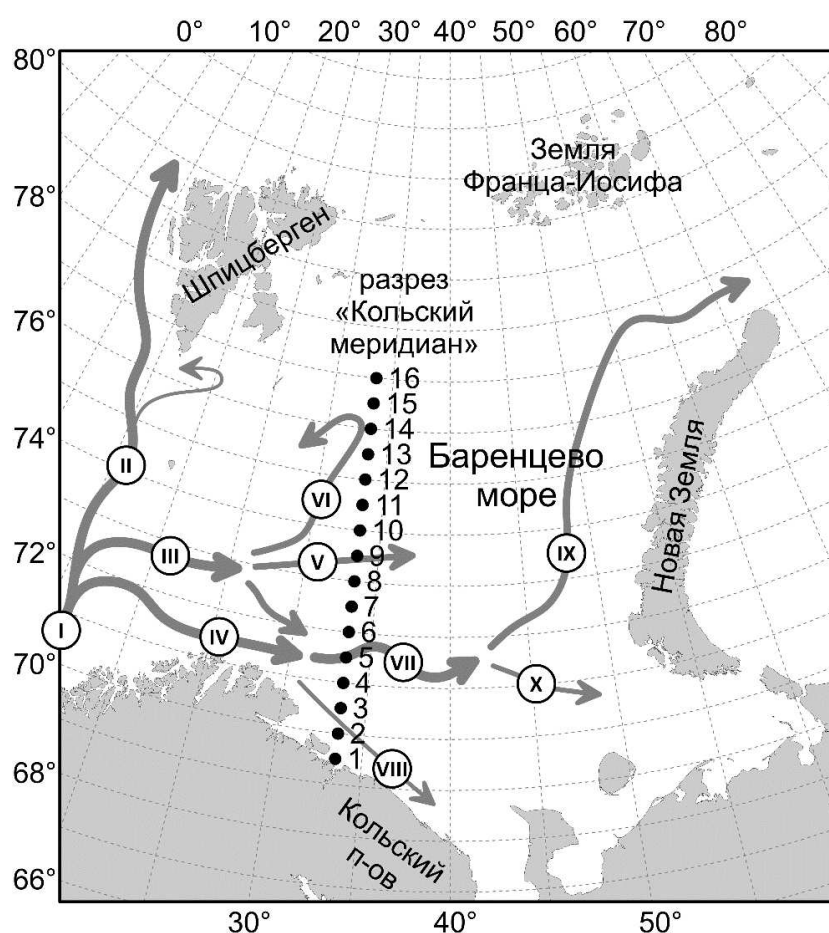


Рис. 1.1. Положение станций (1–16) разреза «Кольский меридиан» и схема теплых течений в Баренцевом море: Норвежское (I), Шпицбергенское (II), Нордкапское (III) и его Южная (IV), Центральная (V) и Северная (VI) ветви, Основная (VII) и Прибрежная (VIII) ветви Мурманского, Новоземельское (IX), Колгуево-Печорское (X)

Таблица 1.1

Координаты и глубины станций разреза «Кольский меридиан»

Номер станции	Северная широта	Восточная долгота	Глубина, м
1	69°30'	33°30'	265
2	70°00'	33°30'	148
3	70°30'	33°30'	247
4	71°00'	33°30'	220
5	71°30'	33°30'	276
6	72°00'	33°30'	261
7	72°30'	33°30'	283
8	73°00'	33°30'	213
9	73°30'	33°30'	280
10	74°00'	33°30'	318
11	74°30'	33°30'	258
12	75°00'	33°30'	145
13	75°30'	33°30'	220
14	76°00'	33°30'	300
15	76°30'	33°30'	205
16	77°00'	33°30'	155

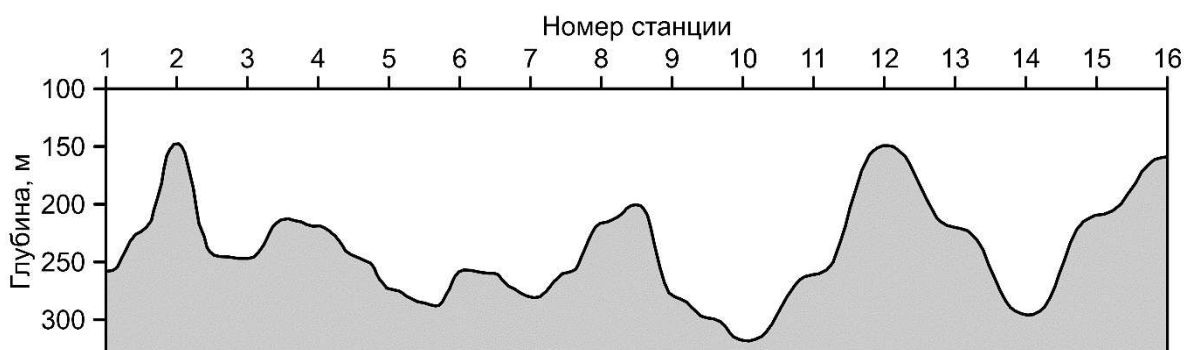


Рис. 1.2. Рельеф дна в районе разреза «Кольский меридиан»

Термохалинный режим южной части Баренцева моря, где расположен разрез «Кольский меридиан», формируется под влиянием адвекции тепла и соли системой теплых течений, теплообмена с атмосферой, притока солнечной радиации, речного стока, атмосферных осадков и испарения, процессов образования и таяния льда [12].

Далее мы будем рассматривать участок разреза с 69°30' по 74°00' с.ш., т.е. его первые 10 станций, поскольку их выполняют наиболее часто, и они находятся на пути основного потока атлантических вод [105].

В холодный период года (декабрь–апрель) вследствие интенсивного выхолаживания поверхностных вод (за счет отдачи тепла в атмосферу) происходит активное конвективное и ветровое перемешивание, которое приводит к почти однородному вертикальному распределению температуры воды на всем разрезе, что наиболее отчетливо выражено в области распространения вод Прибрежной и Основной ветвей Мурманского течения (рис. 1.3).

Температура воды в этот период на всем разрезе от поверхности до дна находится в пределах 2–4 °С, ее наибольшие значения отмечаются в районе Основной ветви Мурманского течения [105].

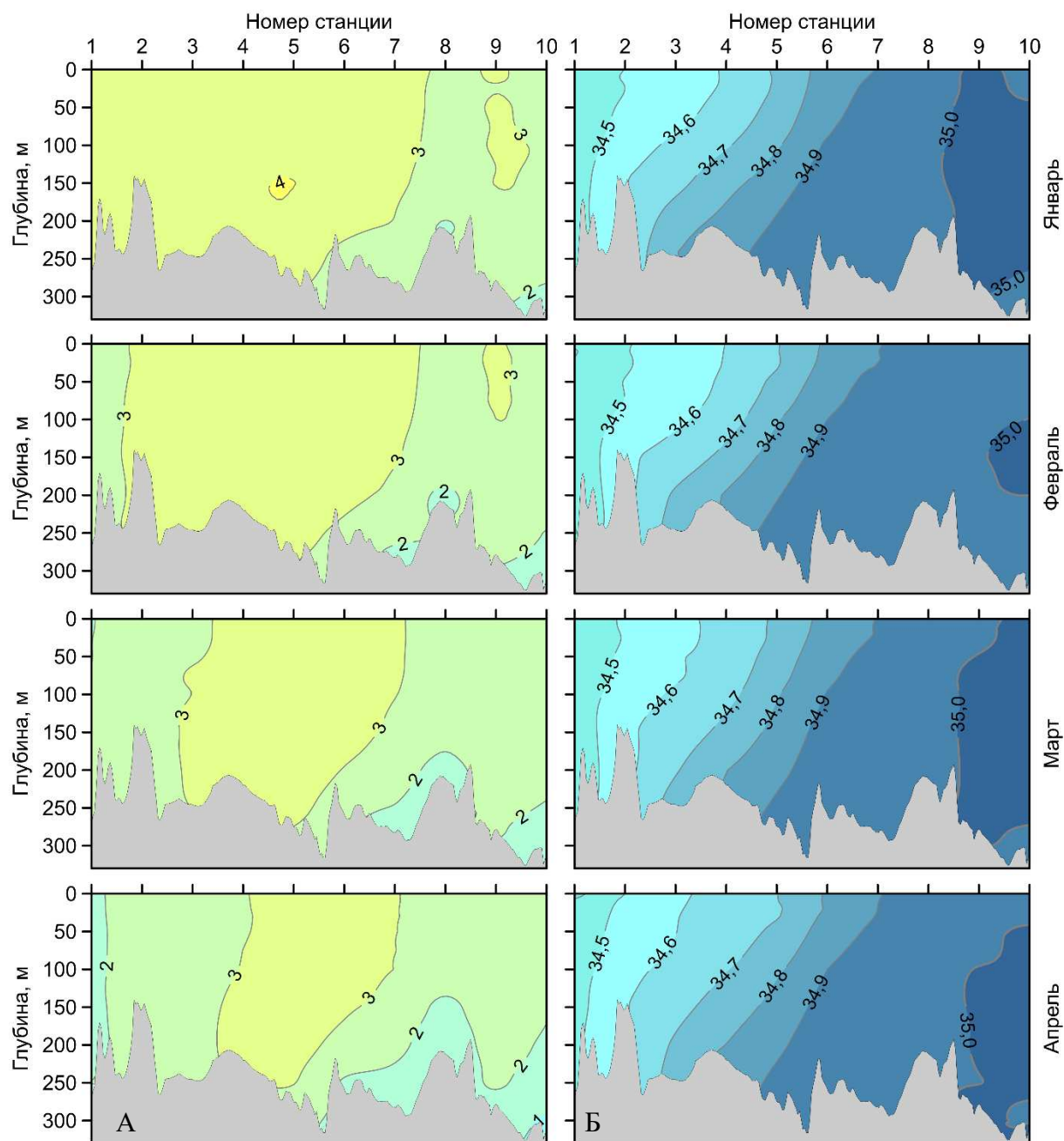


Рис. 1.3. Среднегодовое (1951–2020 гг.) распределение температуры, °С (А) и солёности (Б) воды на разрезе «Кольский меридиан» в январе–апреле [105]

В мае начинается радиационный прогрев поверхностных вод, и уже в июне в результате совместного действия солнечной радиации и ветрового перемешивания формируются хорошо выраженный верхний квазиоднород-

ный слой и слой скачка температуры (термоклин) (рис. 1.4). По мере продолжающегося в летний период прогрева поверхностных вод тепло постепенно проникает в более глубокие слои. Пик радиационного прогрева приходится на август, когда температура воды на поверхности достигает в среднем 8–9 °С [105]. К этому времени толщина верхнего квазиоднородного слоя составляет в среднем 20 м, а термоклин получает наибольшее развитие: вертикальный градиент температуры достигает максимальных за год значений, отмечаемых в слое 20–50 м.

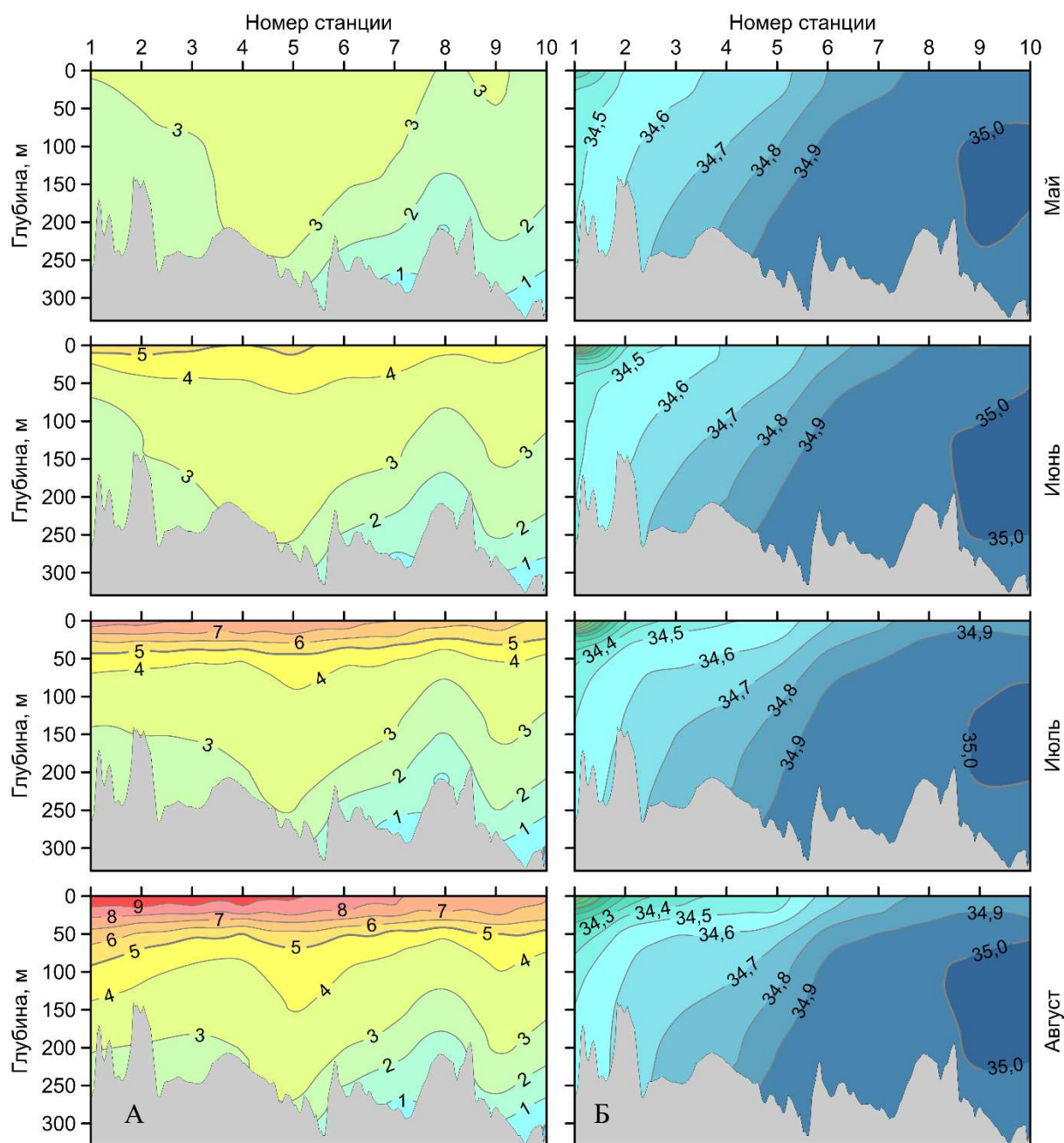


Рис. 1.4. Среднемноголетнее (1951–2020 гг.) распределение температуры, °С (А) и солености (Б) воды на разрезе «Кольский меридиан» в мае–августе [105]

В сентябре поверхность моря начинает терять тепло. Осенью в ходе активного выхолаживания поверхностных вод развивается конвективное перемешивание, вследствие которого толщина верхнего квазиоднородного слоя постепенно увеличивается, а термоклин заглубляется и размывается (рис. 1.5). К декабрю практически на всем разрезе от поверхности до дна формируется гомотермия [105].

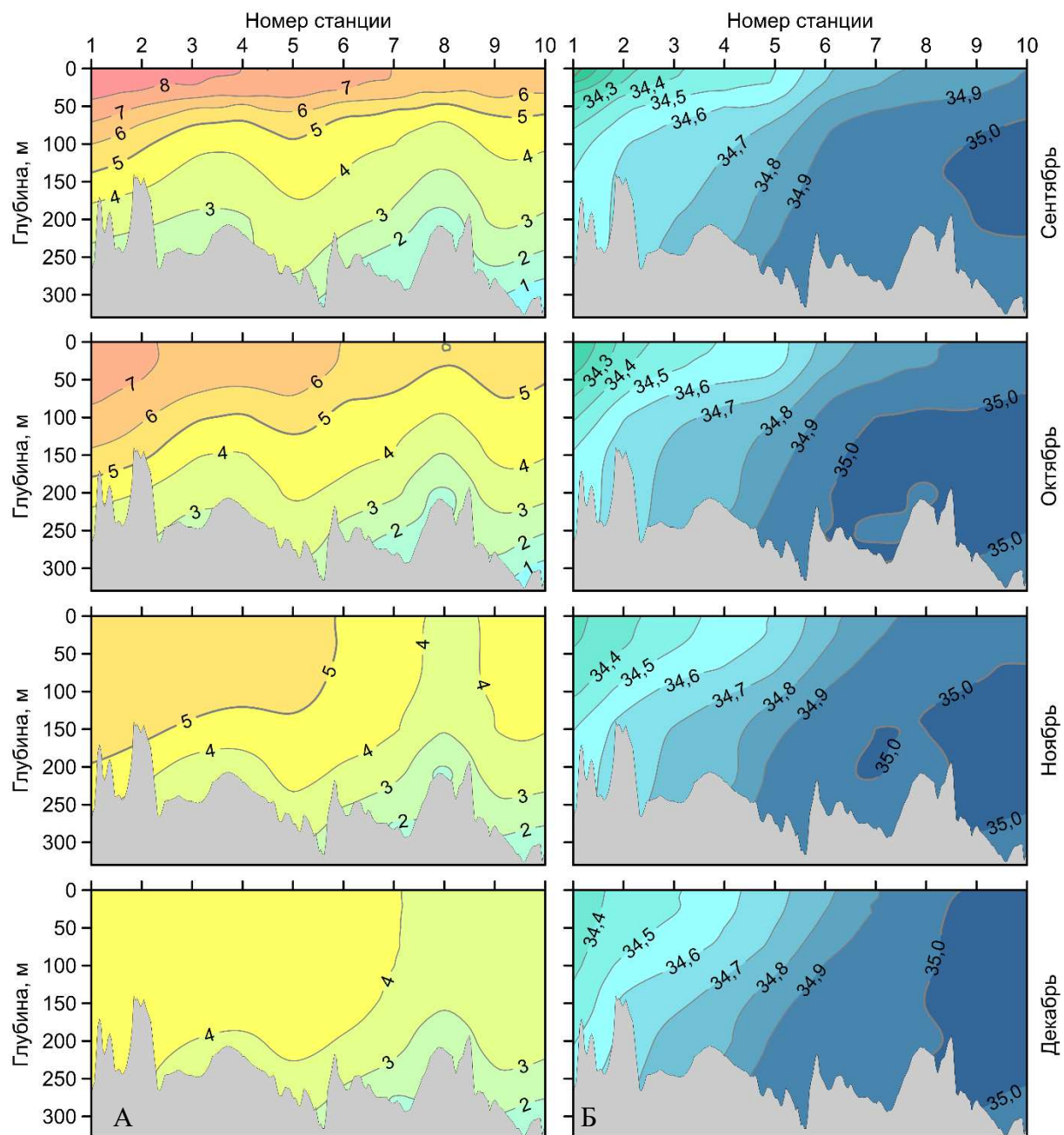


Рис. 1.5. Среднемноголетнее (1951–2020 гг.) распределение температуры, °С (А) и солености (Б) воды на разрезе «Кольский меридиан» в сентябре–декабре [105]

Соленость воды является более консервативной характеристикой, чем температура и не подвержена большим временным изменениям. В целом для распределения солености в плоскости разреза характерно ее увеличение с глубиной (преимущественно в теплый сезон) и, наиболее заметное, с юга на север (в течение всего года). Тогда как температура воды в холодный сезон почти одинаковая на всем разрезе, а в теплый – убывает с глубиной, причем гораздо значительнее, чем в северном направлении.

С декабря по апрель вследствие активного ветрового и конвективного перемешивания (первое обусловлено большим количеством штормов в этот сезон, а второе – отдачей тепла в атмосферу) вертикальное распределение солености становится близким к однородному, ее значения изменяются от 34,4–34,5 в прибрежной южной части разреза до 35,0 в самой северной мористой части (см. рис. 1.3). Практически в течение всего года гомохалинность отмечается в области Центральной ветви Нордкапского течения [105]. В весенне-летний период происходит опреснение верхнего слоя моря, особенно интенсивное в прибрежных водах, которые находятся под влиянием материкового пресноводного стока, на ст. 1 разреза в верхнем 10-метровом слое соленость становится меньше 34,0. Глубже верхнего распресненного слоя (на глубинах от 10 до 50 м) формируется слой скачка солености (халоклин), который достигает максимального развития в августе (см. рис. 1.4). Осенью, с началом конвективного перемешивания и сокращением речного стока, соленость поверхностных вод постепенно увеличивается, а халоклин заглубляется и разрушается (см. рис. 1.5). К декабрю вертикальное распределение солености становится типичным для зимнего периода [105].

Станции разреза «Кольский меридиан» могут быть разделены на три группы по схожести характера развития термо- и халоклинов в течение года: 1–2, 3–5 и 6–10 [12].

Ст. 1 и 2 расположены в прибрежных водах. Термоклин (слой с вертикальным градиентом температуры воды более $0,02\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{м}$) отмечается здесь с мая по октябрь. С начала формирования и до августа его верхняя граница выходит на поверхность, а с сентября начинает заглубляться. За время существования слой скачка проходит через всю толщу воды и к ноябрю разрушается практически у дна. Интенсивный материковый сток в весенне-летний период приводит к образованию мощных вертикальных градиентов солености воды на этом участке разреза. Халоклин (слой с вертикальным градиентом солености более $0,003\text{ м}^{-1}$) начинается на поверхности и прослеживается в течение полугода (с мая по октябрь на ст. 1 и с июня по ноябрь – на ст. 2). Ко времени разрушения халоклина его нижняя граница заглубляется до 150 м.

Ст. 3–5 находятся в области взаимодействия прибрежных и атлантических вод. Период существования термоклина здесь короче (с июня по октябрь), его верхняя граница не выходит на поверхность, а нижняя не опускается до дна. Из-за слабого влияния материкового стока вертикальные градиенты солёности в халоклине на этом участке существенно ниже, чем на прибрежных станциях, а период его существования также короче (с июля по ноябрь). Верхняя граница слоя скачка солёности не выходит на поверхность, а нижняя не опускается глубже 100 м.

Ст. 6–10 расположены в атлантических водах, где сезонный термоклин отмечается в основном с июня по сентябрь, положение его границ мало меняется во времени: верхняя граница не выходит на поверхность, а нижняя не опускается глубже 75 м. Отличительной чертой этого участка разреза является наличие слабо выраженного слоя скачка температуры в придонных водах (глубже 200 м). Время существования халоклина здесь еще короче (в основном июль–сентябрь), а положение границ, как и для температуры, квазистационарно: верхняя не выходит на поверхность, а нижняя не опускается глубже 50 м.

На практике более востребованы и удобны в использовании значения температуры и солёности воды, осредненные для разных слоев (0–50, 0–200, 50–200, 150–200 м) и участков – Прибрежная (ст. 1–3) и Основная (ст. 3–7) ветви Мурманского и Центральная (ст. 8–10) ветвь Нордкапского течений – разреза «Кольский меридиан», так как, являясь интегральными величинами, они отражают термохалинное состояние соответствующих водных масс.

Среднемноголетний сезонный минимум температуры во всех слоях и на всех участках разреза наступает в апреле, в конце гидрологической зимы, когда выхолаживание вод достигает пика, а обусловленное им конвективное перемешивание охватывает почти всю толщу воды от поверхности до дна, и лишь в глубинном слое (150–200 м) минимум отмечается в апреле–мае (рис. 1.6, табл. 1.2). Сезонный максимум температуры имеет хорошо выраженное запаздывание с глубиной, время его наступления на той или иной глубине определяется интенсивностью формирования квазиоднородного слоя и его толщиной. В верхнем 20-метровом слое максимум температуры – в августе, в верхнем 50-метровом слое – в августе–сентябре, в слоях 50–200 и 150–200 м – в октябре–ноябре и ноябре–декабре соответственно, а в придонном слое на глубоководных станциях – в январе. В конкретные годы экстремумы температуры могут смещаться на 1–2 мес. относительно среднемноголетних за счет изменения сроков начала процессов выхолаживания и прогрева вод, и в результате период сезонного повышения температуры, например в слое 0–200 м, может удлиняться до 6–9 мес. или сокращаться до 4 при норме 5 мес.

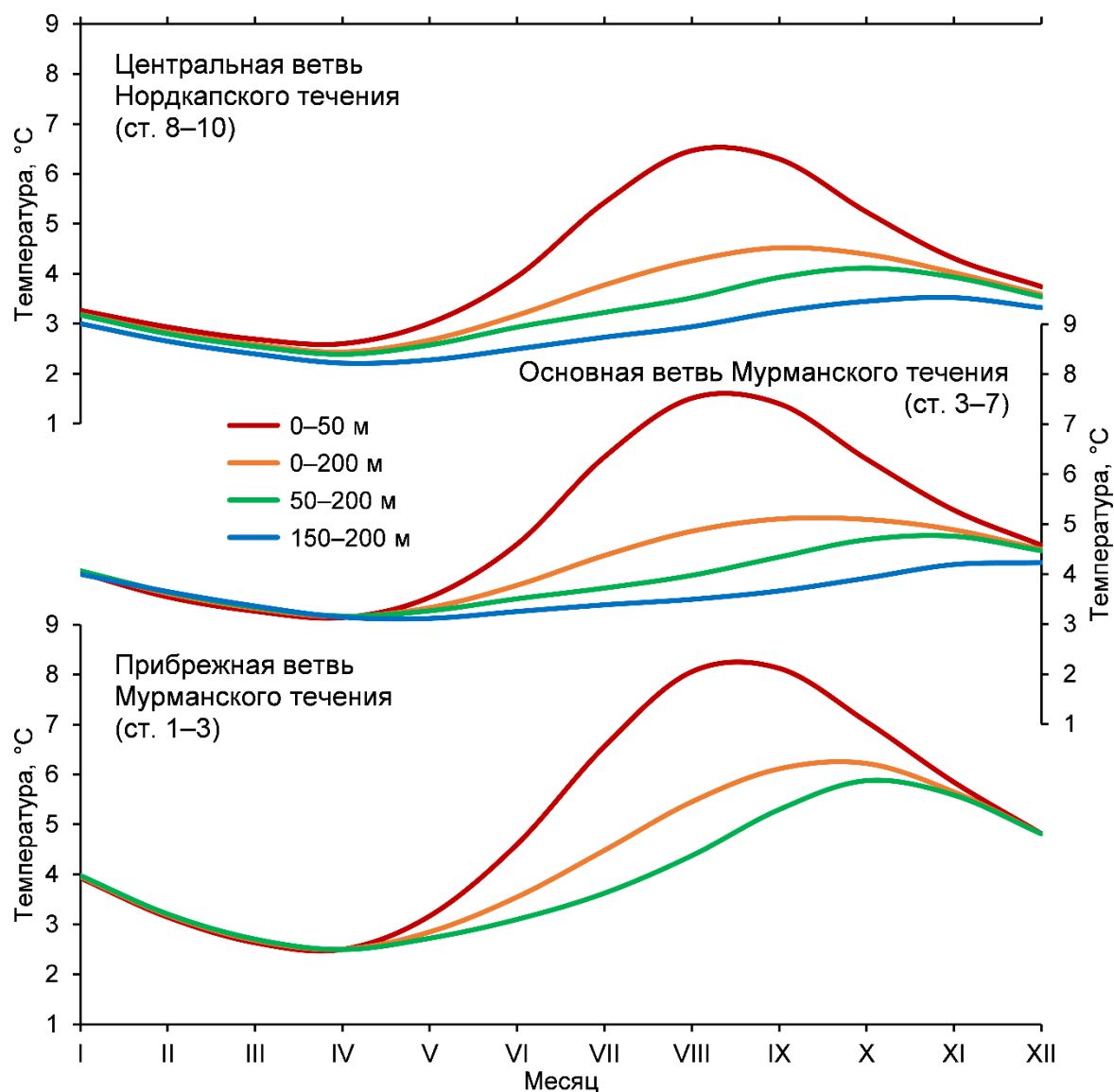


Рис. 1.6. Сезонный ход среднееголетней температуры воды (°C) в слоях 0–50, 0–200, 50–200 и 150–200 м на разрезе «Кольский меридиан» [105]

Наибольший размах сезонных колебаний температуры (3,4–5,6 °C) наблюдается в водах Прибрежной ветви Мурманского течения во всех слоях, а также в подверженном наибольшей изменчивости верхнем 50-метровом слое на всех участках разреза (см. табл. 1.2). В атлантических водах (Основная ветвь Мурманского и Центральная ветвь Нордкапского течений) глубже 50 м (в слоях 50–200 и 150–200 м) размах сезонных колебаний температуры составляет всего 1,1–1,7 °C [105].

Таблица 1.2

Сроки наступления среднемноголетних сезонных минимума и максимума температуры воды и их значения в различных слоях на разрезе «Кольский меридиан» [105]

Слой, м	Сезонный максимум		Сезонный минимум	
	Месяц	Т _{мин.} , °С	Месяц	Т _{макс.} , °С
<i>Прибрежная ветвь Мурманского течения (ст. 1–3)</i>				
0–50	Апрель	2,50	Август–сентябрь	8,06/8,13*
0–200	То же	2,50	Сентябрь–октябрь	6,11/6,22
50–200	»	2,50	Октябрь	5,88
<i>Основная ветвь Мурманского течения (ст. 3–7)</i>				
0–50	Апрель	3,13	Август–сентябрь	7,52/7,41
0–200	То же	3,15	Сентябрь–октябрь	5,11/5,10
50–200	»	3,16	Октябрь–ноябрь	4,69/4,76
150–200	Апрель–май	3,14/3,11	Ноябрь–декабрь	4,19/4,23
<i>Центральная ветвь Нордкапского течения (ст. 8–10)</i>				
0–50	Апрель	2,60	Август	6,47
0–200	То же	2,44	Сентябрь	4,52
50–200	»	2,39	Октябрь	4,11
150–200	Апрель–май	2,21/2,28	Ноябрь	3,53

*Здесь и в табл. 1.3 через косую черту даны значения, соответствующие началу и концу периода.

Сезонный ход солёности воды на разрезе «Кольский меридиан» не так ярко выражен, как в случае с температурой. Сезонные изменения солёности наиболее отчетливо видны в верхнем 50-метровом слое, в слое 0–200 м они проявляются гораздо слабее, а в слоях 50–200 и 150–200 м – крайне малы (рис. 1.7). Среднемноголетний сезонный минимум солёности в слое 0–50 м в Основной ветви Мурманского течения отмечается в августе–сентябре, а максимум – в марте–апреле (табл. 1.3). В слое 0–200 м на всех участках разреза минимумы также приходятся на тёплый период (август–октябрь), а максимумы – на холодный (декабрь, январь и май) (см. рис. 1.7, см. табл. 1.3). С глубиной сроки наступления сезонного минимума солёности запаздывают по мере постепенного заглубления в ходе осенне-зимней конвекции нижней границы менее солёного верхнего квазиоднородного слоя.

Размах среднемноголетних сезонных колебаний солёности в слое 0–50 м в Основной ветви Мурманского течения составляет 0,12, тогда как в слое 0–200 м он изменяется всего от 0,07 в прибрежных водах Прибрежной ветви Мурманского течения до 0,03 в атлантических водах Основной ветви Мурманского и Центральной ветви Нордкапского течений (см. табл. 1.3). В атлантических водах глубже 50 м (в слоях 50–200 и 150–200 м) размах сезонных колебаний солёности не превышает 0,02 [105].

С 1950-х по начало 1960-х годов воды на разрезе «Кольский меридиан», особенно атлантические, характеризовались в целом повышенным

теплосодержанием (рис. 1.8). Почти во все 1960-е годы и с середины 1970-х до конца 1980-х годов температура на разрезе была низкой. С конца 1980-х годов начался теплый период, который продолжается до сих пор и известен как современное «глобальное» потепление Арктики. Он прервался ненадолго лишь в 1990-х годах, когда в некоторые годы теплосодержание вод стало ниже нормы. С середины 2000-х годов на разрезе «Кольский меридиан» наблюдаются беспрецедентно высокие значения температуры.

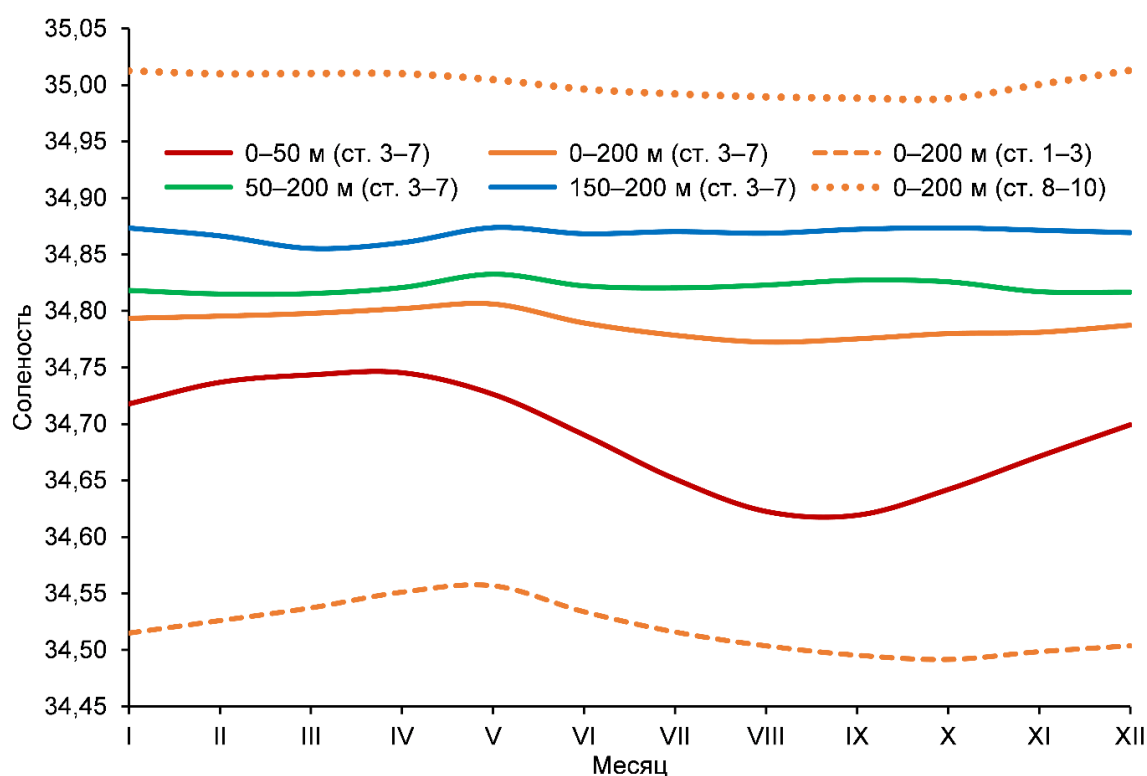


Рис. 1.7. Сезонный ход среднееголетней солености воды в слоях 0–50, 0–200, 50–200 и 150–200 м на ст. 3–7 и слое 0–200 м на ст. 1–3 и 8–10 разреза «Кольский меридиан» (по: [105])

Таблица 1.3

Сроки наступления среднееголетних сезонных минимума и максимума солености воды и их значения в различных слоях на разрезе «Кольский меридиан» [105]

Слой, м	Сезонный максимум		Сезонный минимум	
	Месяц	$S_{\text{мин.}}$	Месяц	$S_{\text{макс.}}$
<i>Прибрежная ветвь Мурманского течения (ст. 1–3)</i>				
0–200	Октябрь	34,492	Май	34,557
<i>Основная ветвь Мурманского течения (ст. 3–7)</i>				
0–50	Август–сентябрь	34,623/34,619	Март–апрель	34,744/34,745
0–200	Август	34,773	Май	34,806
<i>Центральная ветвь Нордкапского течения (ст. 8–10)</i>				
0–200	Сентябрь–октябрь	34,988/34,988	Декабрь–январь	35,013/35,013

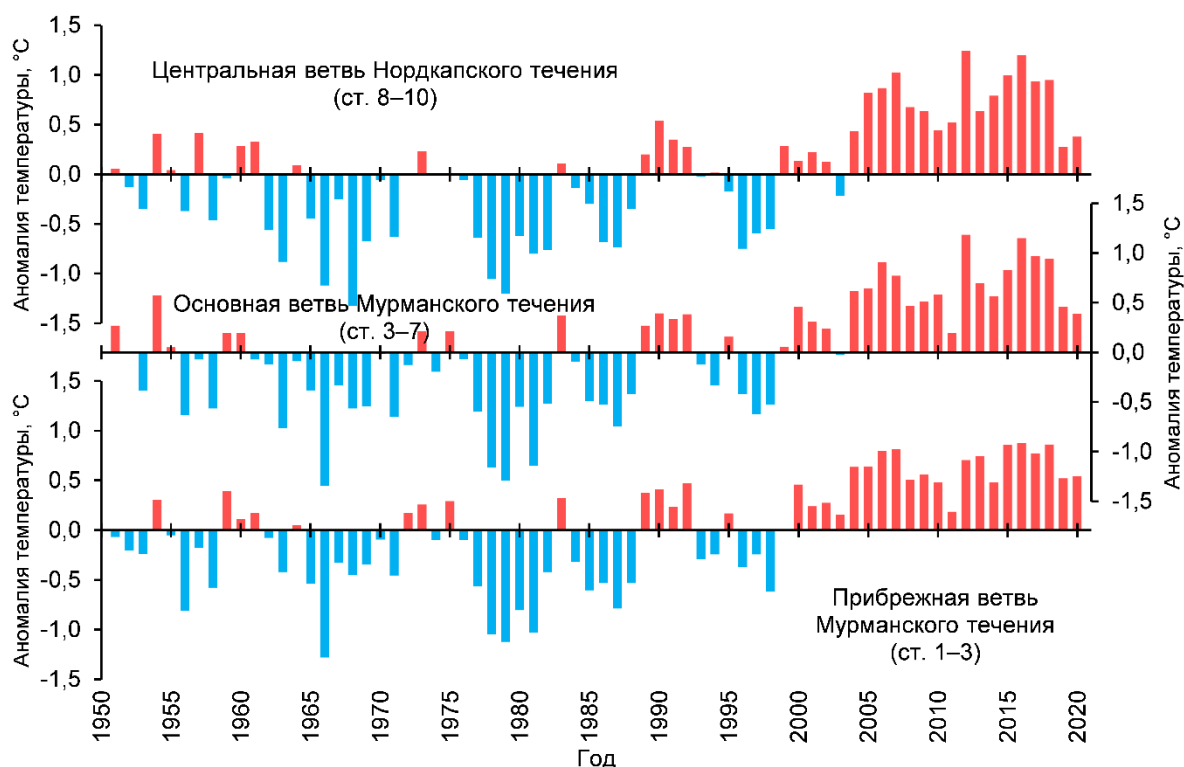


Рис. 1.8. Среднегодовые аномалии температуры воды в слое 0–200 м на разрезе «Кольский меридиан» в 1951–2020 гг. [105]

Самая низкая температура воды (ниже нормы на $0,7\text{ }^{\circ}\text{C}$ и более) была в Прибрежной ветви Мурманского течения в 1956, 1966, 1978–1981 и 1987 гг., в Основной ветви Мурманского течения – в 1963, 1966, 1978, 1979, 1981 и 1987 гг. и Центральной ветви Нордкапского течения – в 1963, 1966, 1968, 1978, 1979, 1981, 1982, 1987 и 1996 гг. (см. рис. 1.8). Самая высокая температура (выше нормы на $0,7\text{ }^{\circ}\text{C}$ и более) наблюдалась в прибрежных водах в 2006, 2007, 2012, 2013 и 2015–2018 гг., в атлантических водах Основной ветви Мурманского течения – в 2006, 2007, 2012 и 2015–2018 гг. и Центральной ветви Нордкапского течения – в 2005–2007, 2012 и 2014–2018 гг. (см. рис. 1.8).

Период повышенной солености воды отмечался с начала 1950-х до середины (в прибрежных водах почти до конца) 1970-х годов (рис. 1.9). Затем его сменил период пониженной солености, длившийся до начала 2000-х годов, после которого снова наступил период повышенного, хоть и незначительно, солезапаса вод на разрезе, при этом на южных станциях он настал позже и закончился раньше – уже с начала 2010-х годов там фиксировали отрицательные аномалии солености.

Самая высокая соленость воды (выше нормы на $0,1$ и более) была в Прибрежной ветви Мурманского течения в 1955–1957, 1960, 1961, 1969,

1970, 1972, 1977, 1994, 1997 и 2004 гг., в Основной ветви Мурманского течения – в 1953, 1960, 1961 и 1970 гг. и Центральной ветви Нордкапского течения – в 1951 и 1957 гг. (см. рис. 1.9). Самая низкая соленость (ниже нормы на 0,1 и более) наблюдалась в прибрежных водах в 1980, 1982–1984, 1989, 2000 и 2012 гг., в атлантических водах Основной ветви Мурманского течения – в 1980 и 1989 гг. и Центральной ветви Нордкапского течения – в 1978–1981 гг. (см. рис. 1.9).

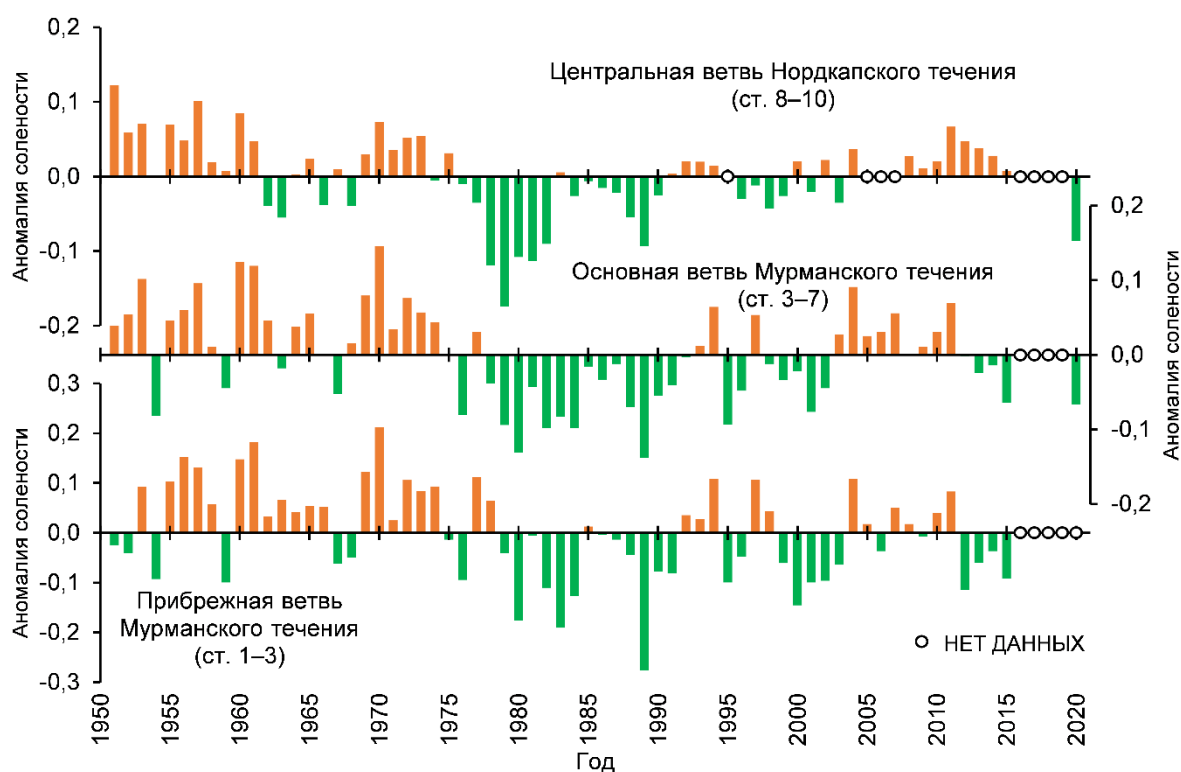


Рис. 1.9. Среднегодовые аномалии солености воды в слое 0–200 м на разрезе «Кольский меридиан» в 1951–2020 гг. [105]

Оценки уровня термохалинного состояния вод на разрезе «Кольский меридиан» для 1951–2020 гг. [105] представлены в табл. 1, 2 Приложения А. По результатам классификации достаточно легко выделяются периоды теплые и холодные, а также повышенного и пониженного солезапаса вод. Для разных ветвей течений, пересекающих разрез, эти периоды хорошо согласуются. Тем не менее в один и тот же год уровень теплового и халинного состояния вод в разных слоях и ветвях течений не всегда оценивается одинаково, например, как только теплый или холодный. Это обусловлено разным по силе и направленности влиянием факторов, определяющих термохалинный режим южной части Баренцева моря.

2. ГИДРОХИМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Гидрохимические условия, к которым в первую очередь следует отнести содержание в воде биогенных элементов и кислорода, не только определяют формирование первичной продукции в море – начального звена трофической цепи, но и оказывают влияние на биохимические процессы в живых организмах [69].

Гидрохимические исследования на разрезе «Кольский меридиан» были начаты в 1900 г. на научно-исследовательском судне «Андрей Первозванный» под руководством Н.М. Книповича [105]. С тех пор, вот уже более 120 лет, на этом разрезе проводят с разной частотой наблюдения за такими гидрохимическими параметрами, как водородный показатель (рН), щелочность, содержание растворенного кислорода, кремния, минерального и общего фосфора, нитритного, нитратного и аммонийного азота. Наиболее часто определяли кислород и минеральный фосфор (фосфаты). Основные организации, выполнявшие гидрохимические наблюдения регулярно, – Плавучий морской научный институт (Плавморнин) с 1921 г., Государственный океанографический институт (ГОИН) с 1929 г., Полярный научно-исследовательский институт морского рыбного хозяйства и океанографии (ПИНРО, с 2019 г. – Полярный филиал ВНИРО) с 1934 г., Мурманское управление по гидрометеорологической службе (МУГМС) с 1947 г. и Мурманский морской биологический институт (ММБИ) с 1947 г. [112]. В настоящее время Полярный филиал обладает самой полной информацией о гидрохимии вод как на разрезе «Кольский меридиан», так и в Баренцевом море.

В 1930–90-е годы многие исследователи, такие как С.В. Бруевич, Е.М. Крепс, Н.Г. Вержбинская, Б.А. Скопинцев, Е.Н. Черновская, П.П. Воронков, Н.А. Уралова, М.В. Федосов, А.Л. Минкина, И.А. Ермаченко, Т.Н. Лаппалайнен, А.М. Норина, Л.Е. Позднякова, В.Н. Виноградов, Г.В. Ильин, Г.П. Гаркавая, Л.К. Цехоцкая, Г.И. Несветова, В.М. Рыжов, В.С. Петров, Л.Е. Волковская, Г.В. Забрусков, В.Н. Зайкин, С.И. Бардан, О.В. Титов и другие занимались изучением гидрохимического режима Баренцева моря, включая воды разреза «Кольский меридиан» [112]. Однако в XXI в. из-за ряда причин, основная из которых – значительное сокращение объема и состава гидрохимических наблюдений, количество публикаций по гидрохимии Баренцева моря тоже сократилось. С последних обобщений [69, 112] гидрохимических данных, собранных на разрезе «Кольский меридиан», прошло более 20 лет. Таким образом, принимая во внимание современные глобальные изменения климата [113], представляется актуальной и практически полезной работа по обобщению и

анализу гидрохимических материалов на этом разрезе с учетом данных, полученных в XXI в.

В этой главе рассмотрены сезонная и межгодовая изменчивость содержания в водах разреза «Кольский меридиан» фосфатов и кислорода, а также степень насыщения вод кислородом с 1961 по 2020 г.

2.1. Материалы и методы

В настоящей работе использованы сведения из базы данных ПИНРО о содержании в водах разреза «Кольский меридиан» кислорода и фосфатов с 1926 г. На долю этих двух параметров приходится 75 % от всего объема гидрохимических наблюдений на разрезе (рис. 2.1.1).

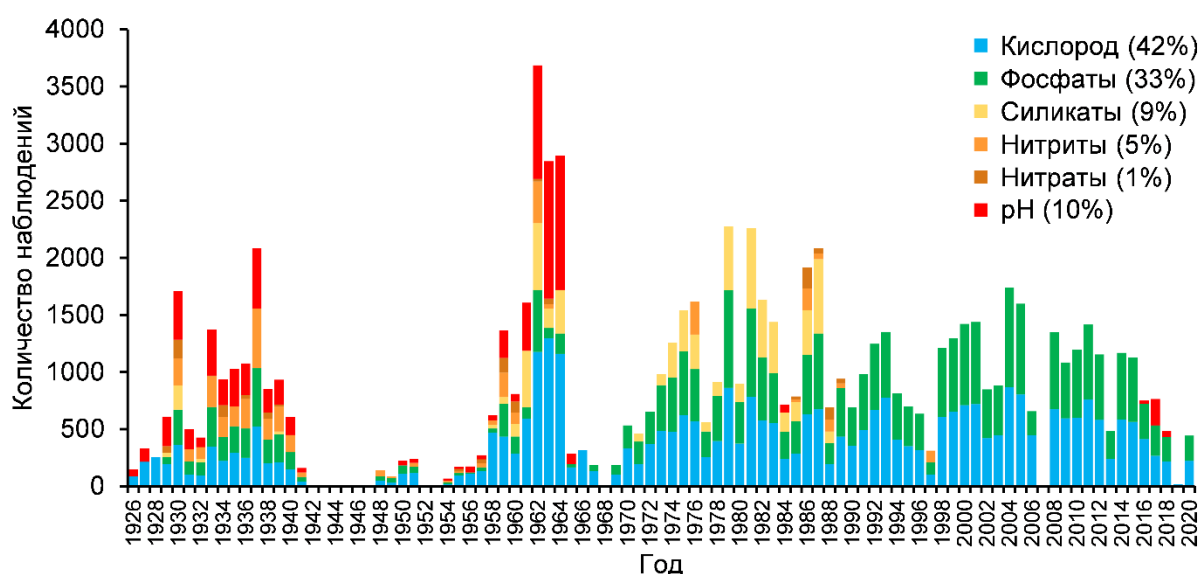


Рис. 2.1.1. Ежегодное количество гидрохимических наблюдений на разрезе «Кольский меридиан» в 1926–2020 гг. (в скобках указана доля в процентах от общего объема наблюдений)

На рис. 2.1.1 и в табл. 3, 4 Приложения А видна нерегулярность сбора данных о кислороде и фосфатах. Их основной объем получен с середины 1970-х до середины 2010-х годов, когда в среднем за год делали около 500 определений каждого параметра. Различным было и количество выполненных на разрезе станций в разные годы, при этом данные хорошо распределялись по сезонам (рис. 2.1.2). Чаще всего (более 2800 определений кислорода и более 2200 фосфатов) наблюдения выполняли в феврале, мае, июле, августе, ноябре и декабре – во время проведения в Баренцевом море ежегодных съемок по оценке запасов промысловых рыб, реже (менее 1800 определений кислорода и менее 1500 фосфатов) – в январе и сентябре.

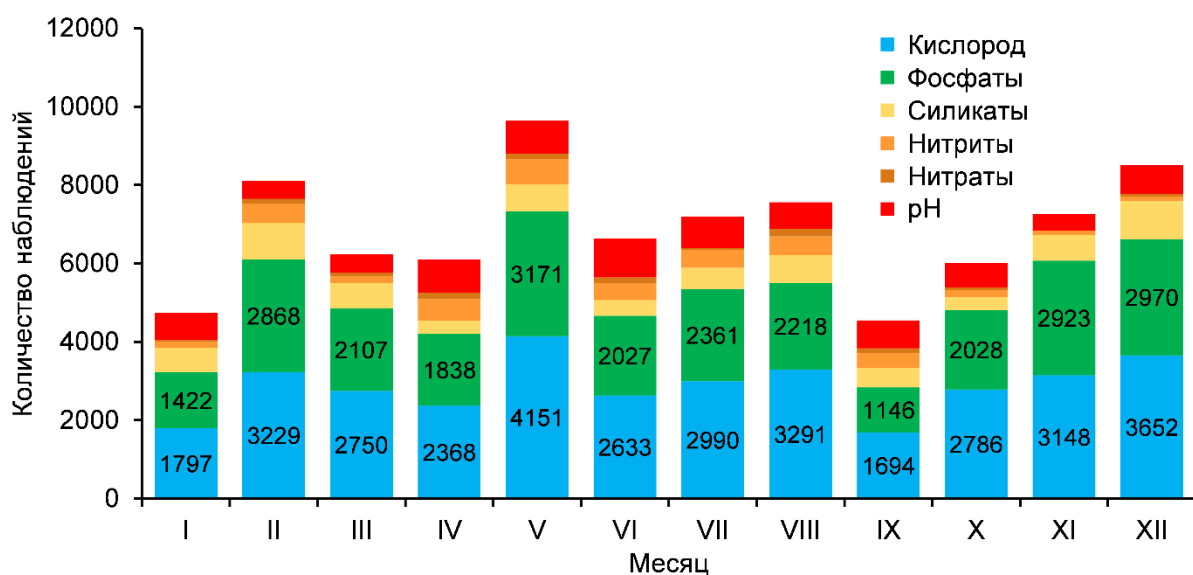


Рис. 2.1.2. Количество гидрохимических наблюдений на разрезе «Кольский меридиан» по месяцам с 1926 по 2020 г.

В базе данных ПИНРО за весь период наблюдений на разрезе имеются определения кислорода – 34,5 тыс. и фосфатов – 27,1 тыс., а за 1961–2020 гг. – 29,1 и 23,5 тыс. соответственно. Поскольку наиболее регулярно разрез выполняли с конца 1950-х до конца 2010-х годов (в среднем 5–6 раз ежегодно с определением гидрохимических показателей), для дальнейшего анализа сезонных и межгодовых изменений кислорода и фосфатов выбран кратный десятилетиям период с 1961 по 2020 г. Объем доступного материала при этом сократился мало (рис. 2.1.3): по кислороду на 16 %, по фосфатам на 13 %. После 2020 г. гидрохимические наблюдения на разрезе фактически не проводят (измеряют лишь содержание кислорода на поверхности и у дна).

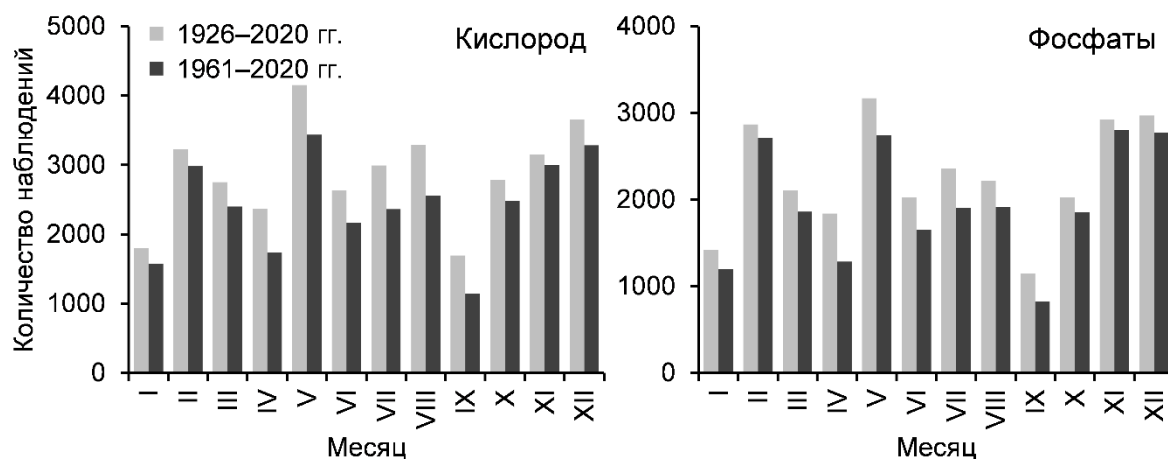


Рис. 2.1.3. Количество наблюдений за кислородом и фосфатами на разрезе «Кольский меридиан» по месяцам за 1926–2020 и 1961–2020 гг.

Отбор проб воды на гидрохимический анализ проводили латунными (до начала 1990-х годов) или пластиковыми (с конца 1980-х годов) батометрами чаще всего со стандартных горизонтов: поверхностный (слой 0–2 м), 10, 20, 30, 50, 75, 100, 150, 200, 250, 300 м и придонный (~5 м до дна), параллельно измеряли температуру и соленость воды. Пробы обрабатывали в судовой лаборатории сразу в соответствии со стандартными методиками [9, 55, 96, 97].

Содержание растворенного в воде кислорода определяли методом йодометрического титрования (объемный метод Винклера), который с конца XIX в. остался прежним и наиболее надежным способом определения концентрации кислорода. За все это время методика претерпела несколько модификаций, но они были непринципиальными, изменялись лишь условия проведения анализов: концентрации реагентов, объем пробы, способ установления конечной точки титрования [55]. Суть метода Винклера состоит в серии химических реакций, превращающих растворенный в пробе воды кислород в химически эквивалентное количество йода с последующим его измерением, а именно: кислород окисляет 2-валентный марганец до нерастворимой в воде гидроокиси 4-валентного марганца, которая, взаимодействуя в кислой среде с ионами йода, окисляет их до свободного йода, количественно определяемого при титровании раствором тиосульфата натрия в присутствии крахмала как индикатора. Количество выделившегося йода строго эквивалентно количеству 4-валентного марганца, оно, в свою очередь, эквивалентно объему растворенного в пробе кислорода.

Насыщенность воды кислородом ($O_2\%$), выраженная в процентах, рассчитывалась по формуле:

$$O_2\% = 100 \times (O_2/O_2'),$$

где O_2 – концентрация кислорода, определенная титрованием;
 O_2' – растворимость кислорода, соответствующая 100 % насыщения при температуре и солености *in situ*, определяемая по таблицам [109].

Содержание в воде фосфатов (минерального фосфора) определялось методом Дениже–Аткинса с использованием в качестве восстановителя хлорида олова. Этот метод также мало изменился с начала прошлого века, его модификации не были принципиальными и сводились главным образом к изменениям условий анализа: объем, температура и время хранения проб, концентрации реагентов [55]. Метод основан на образовании фосфорно-молибденового комплекса и его восстановлении до сильноокрашенного голубого соединения, оптическую плотность которого (пересчитываемую затем в концентрацию фосфатов) определяли визуальным методом примерно до

середины 1980-х годов, а позднее – с использованием фотоэлектроколориметров. Отмечено [112], что данные о концентрации фосфатов, полученные путем визуального колориметрирования и с помощью фотоэлектроколориметров, сопоставимы. При переходе с визуального способа на фотометрический возможны некоторые различия в точности измерений, особенно для низких концентраций ($<0,15 \mu\text{M}$), и небольшое возрастание максимального уровня определяемых величин [103].

Содержание в воде кислорода измерялось в мл/л ($1 \text{ мл/л} = 1,429 \text{ мг/л}$), степень насыщения вод кислородом – в %, а концентрация фосфатов – в мкМоль/л или μM ($1 \text{ мкМоль/л} = 1 \mu\text{M} = 31 \text{ мкг/л}$).

Важно при изучении сезонных и межгодовых изменений гидрохимических условий рассчитать климатические нормы, поскольку они служат контрольной точкой, с которой сравнивают ранее проведенные и текущие наблюдения. В данной работе для расчета среднемноголетних значений (норм) содержания кислорода и фосфатов на разрезе «Кольский меридиан» (на каждом стандартном горизонте каждой станции, а также по слоям и участкам разреза) было принято решение использовать 60-летний период с 1961 по 2020 г.

Еще в 1926 г. Н.Н. Зубов предложил использовать средние по слоям и участкам разреза океанографические данные в качестве интегральных характеристик состояния вод [29]. Предложенный им подход до сих пор применяется океанографами и морскими биологами, так как такие ряды оказались очень удобными в использовании на практике. Поскольку разрез «Кольский меридиан» пересекает воды трех течений, на нем обычно выделяют соответственно три участка: ст. 1–3 ($69^{\circ}30' - 70^{\circ}30' \text{ с.ш.}$) – Прибрежная ветвь Мурманского течения, ст. 3–7 ($70^{\circ}30' - 72^{\circ}30' \text{ с.ш.}$) – Основная ветвь Мурманского течения и ст. 8–10 ($73^{\circ}00' - 74^{\circ}00' \text{ с.ш.}$) – Центральная ветвь Нордкапского течения. В настоящей работе, исходя из анализа распределения гидрохимических параметров в плоскости разреза, к первому участку было решено отнести только ст. 1 и 2. Для расчета средних значений также выбраны два слоя: 0–30 м и 100 м – дно. Верхний 30-метровый слой гарантированно охватывает фотическую зону, т.е. освещенную толщу воды, глубина залегания нижней границы которой в Баренцевом море в наиболее продуктивный период составляет 45–60 м [68] или, по другим оценкам, в среднем 50 м [119]. Именно в фотическом слое обитают низшие морские растения, представляющие собой фотосинтетические организмы, поэтому здесь наблюдается наибольшая изменчивость содержания растворенного в воде кислорода и биогенных элементов. Тогда как глубже (слой 100 м – дно) лучше видны изменения гидрохимических параметров без прямого влияния вегетации.

Сроком начала вегетации фитопланктона считался месяц, с которого концентрация фосфатов в поверхностных водах начинала уменьшаться по сравнению с предыдущим месяцем. Сроком начала «цветения» (массового развития) микроводорослей является месяц, когда потребление фосфатов достигало 0,06 μM или превышало этот уровень [69].

В работе использовали сравнительный анализ данных и методы описательной статистики. Статистическая обработка данных и построение графиков выполняли в программах MS Excel 2013 и Surfer 11.

2.2. Результаты и обсуждение

Растворенный кислород – очень важный биогидрохимический показатель, связанный с основными химическими и биохимическими процессами в море: фотосинтезом, протекающим в основном в верхнем 50-метровом слое и продуцирующим кислород, и окислительными процессами (окисление органических и неорганических веществ естественного и антропогенного происхождения, дыхание живых организмов), которые происходят во всей толще воды и сопряжены с его потреблением [118].

Содержание кислорода в поверхностном слое стремится к равновесию с атмосферным кислородом, что обуславливает его выделение из моря в атмосферу в период активного фотосинтеза и поглощение атмосферного кислорода морской водой при затухании фотосинтетических процессов [14]. Перераспределение кислорода между слоями и районами моря, в том числе его проникновение в более глубокие слои, происходит преимущественно за счет динамических процессов: конвективного и турбулентного перемешивания, вертикальной циркуляции и горизонтальных течений [69].

Фосфор является одним из главных биогенных веществ и относится к числу физиологически важных элементов. Его соединения входят во все клеточные образования морских организмов и регулируют такие важные жизненные процессы, как фотосинтез, дыхание, обмен веществ [118]. Содержание и распределение фосфора в морской воде, биохимические процессы его потребления и регенерации определяют биологическую продуктивность вод. Отсутствие или минимальное содержание фосфатов ограничивает фотосинтез и, следовательно, продуктивность моря [14]. По аналогии с кислородом перераспределение фосфатов между отдельными слоями и районами моря происходит за счет динамических процессов, в основном за счет конвективного перемешивания.

Сезонная изменчивость содержания кислорода и фосфатов. Для анализа сезонной изменчивости концентрации растворенного в воде кислорода и фосфатов на разрезе «Кольский меридиан» за 1961–2020 гг. были рассчитаны среднемноголетние значения (климатические нормы) этих двух

параметров помесечно для каждого стандартного горизонта каждой из первых 10 станций разреза, расположенных в Прибрежной (ст. 1–3) и Основной (ст. 3–7) ветвях Мурманского и Центральной (ст. 8–10) ветви Нордкапского течений (табл. 5–7 Приложения А, рис. 2.2.1–2.2.12).

Высокоширотное положение и относительная мелководность Баренцева моря в значительной степени определяют сезонный характер его гидрохимического режима. С одной стороны, отсутствие солнечной радиации полярной ночью и ее постоянное наличие полярным днем приводят к значительным различиям в фотосинтетической активности фитопланктона зимой и летом. С другой – суровые климатические условия обеспечивают перемешивание практически всей толщи воды, от поверхности до дна, за счет конвекции в осенне-зимний период. В итоге гидрохимический режим в теплый период года определяется в основном биологическими и биохимическими факторами, а в холодный – главную роль играют физические процессы [112].

Весной, с первой половины апреля, в результате увеличения количества поступающей солнечной радиации происходит интенсификация фотосинтеза, начинается весеннее «цветение» фитопланктона, что приводит к насыщенности поверхностных вод кислородом до 100–104 % (7,5–7,8 мл/л) и уменьшению содержания минерального фосфора на большей части разреза до 0,59–0,64 μM (на самой южной станции до 0,50–0,55 μM , на северных – до 0,71–0,75 μM). Это на 3–6 % выше и на 0,06–0,13 μM ниже, чем в марте.

В мае интенсивность фотосинтеза резко возрастает за счет увеличения количества солнечной радиации и еще достаточного запаса биогенных веществ. Насыщение поверхностных вод кислородом почти на всех станциях достигает максимальных значений (110–112 %), как и его концентрация (8,0–8,3 мл/л), а объем фосфатов уменьшается до 0,38–0,45 μM (на южной станции до 0,29–0,35 μM , на северных – до 0,49–0,60 μM). Поскольку окислительные процессы только начинают развиваться, они не оказывают существенного влияния на содержание кислорода, поэтому именно в апреле–мае придонные воды максимально насыщены им (95–97 %, или 7,1–7,5 мл/л), а содержание фосфатов изменяется незначительно по сравнению с февралем–мартом. К концу мая – началу июня убыль минерального фосфора за счет его потребления фитопланктоном и поступления благодаря распаду органического вещества в значительной мере уравнивают друг друга [14], поэтому содержание фосфатов в поверхностном слое с этого времени стабилизируется на уровне около 0,2 μM , оставаясь квазипостоянным до начала осени.

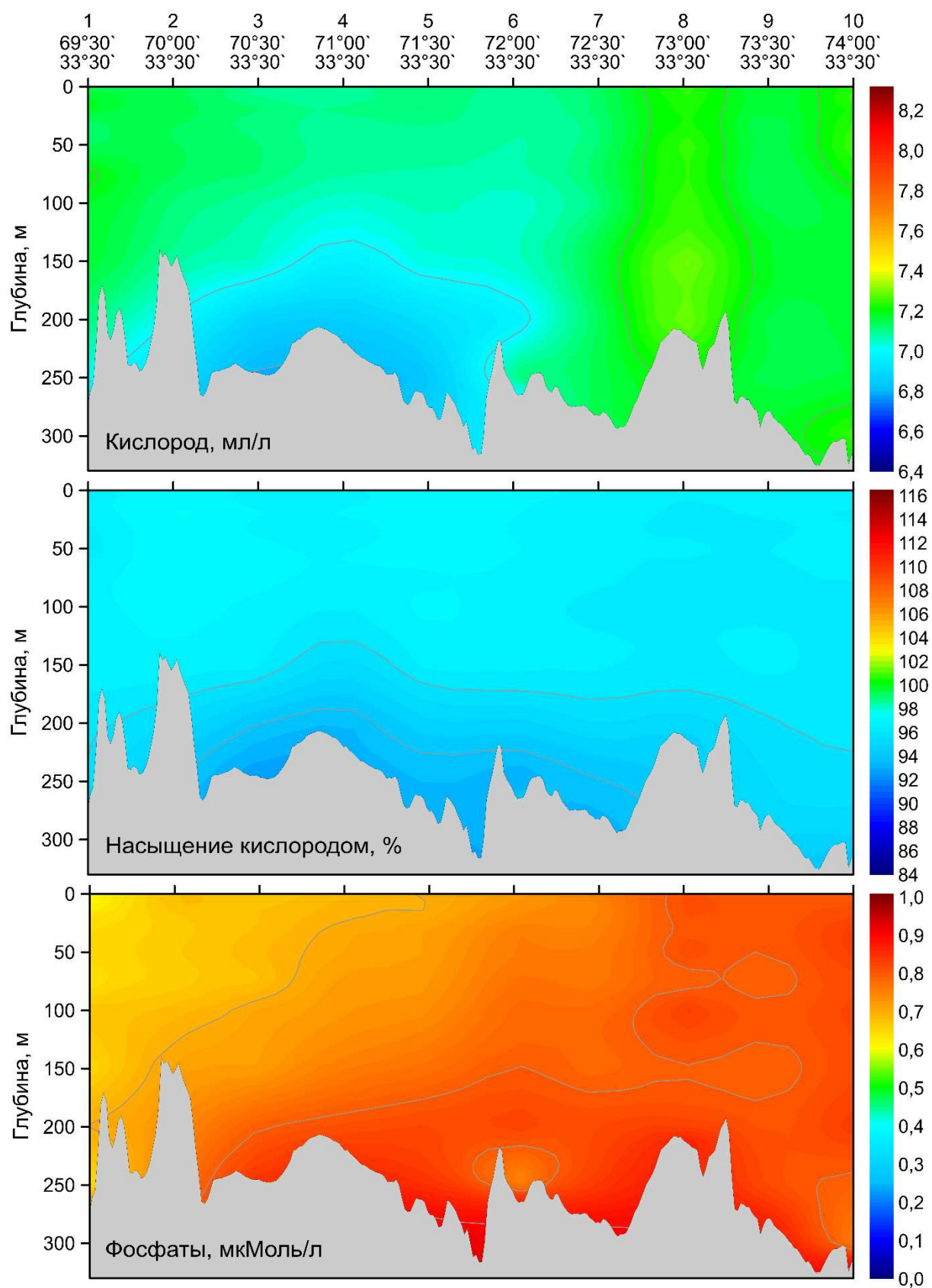


Рис. 2.2.1. Среднегодовое распределение кислорода и фосфатов на разрезе «Кольский меридиан» в январе

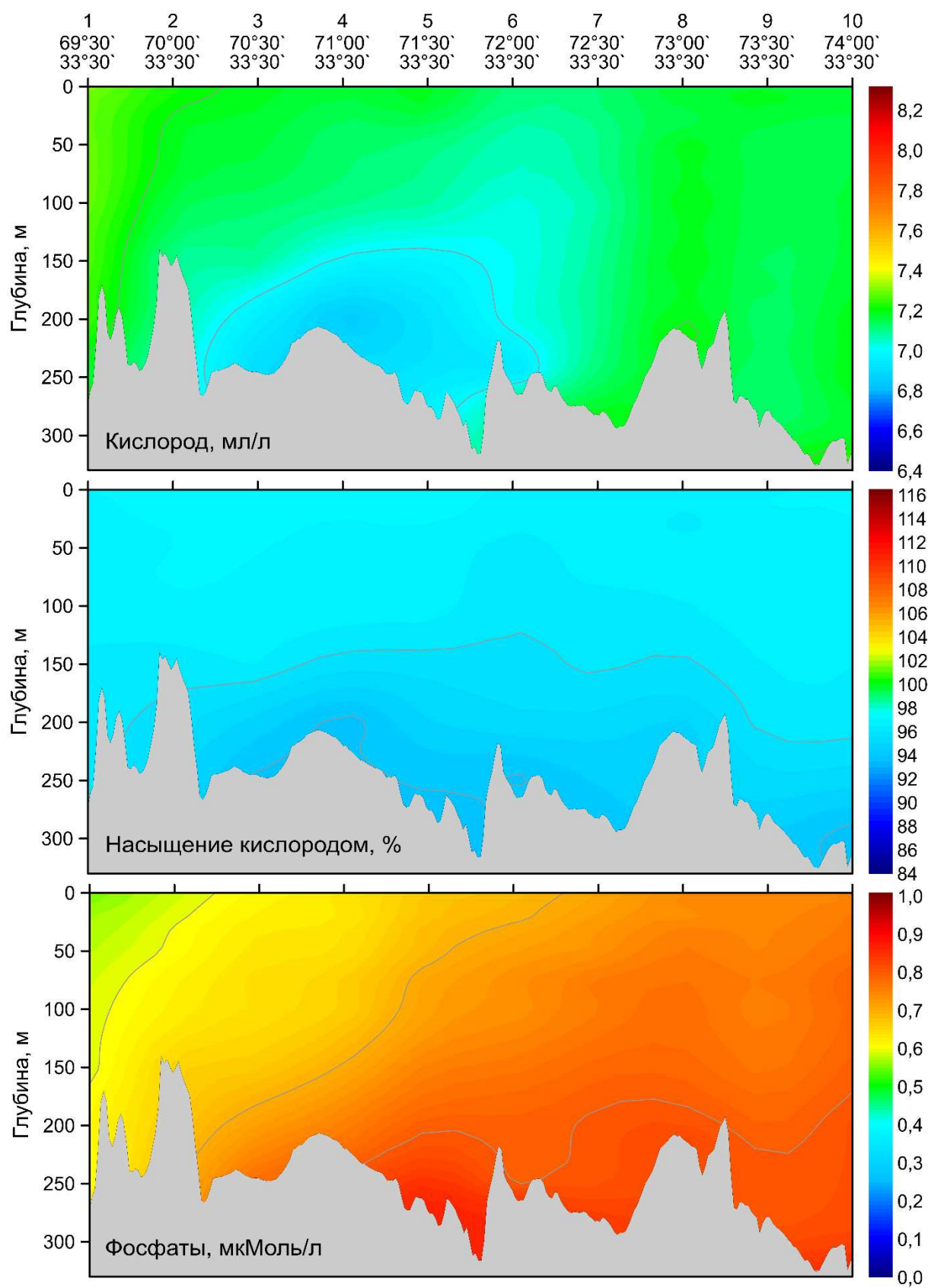


Рис. 2.2.2. Среднегодовое распределение кислорода и фосфатов на разрезе «Кольский меридиан» в феврале

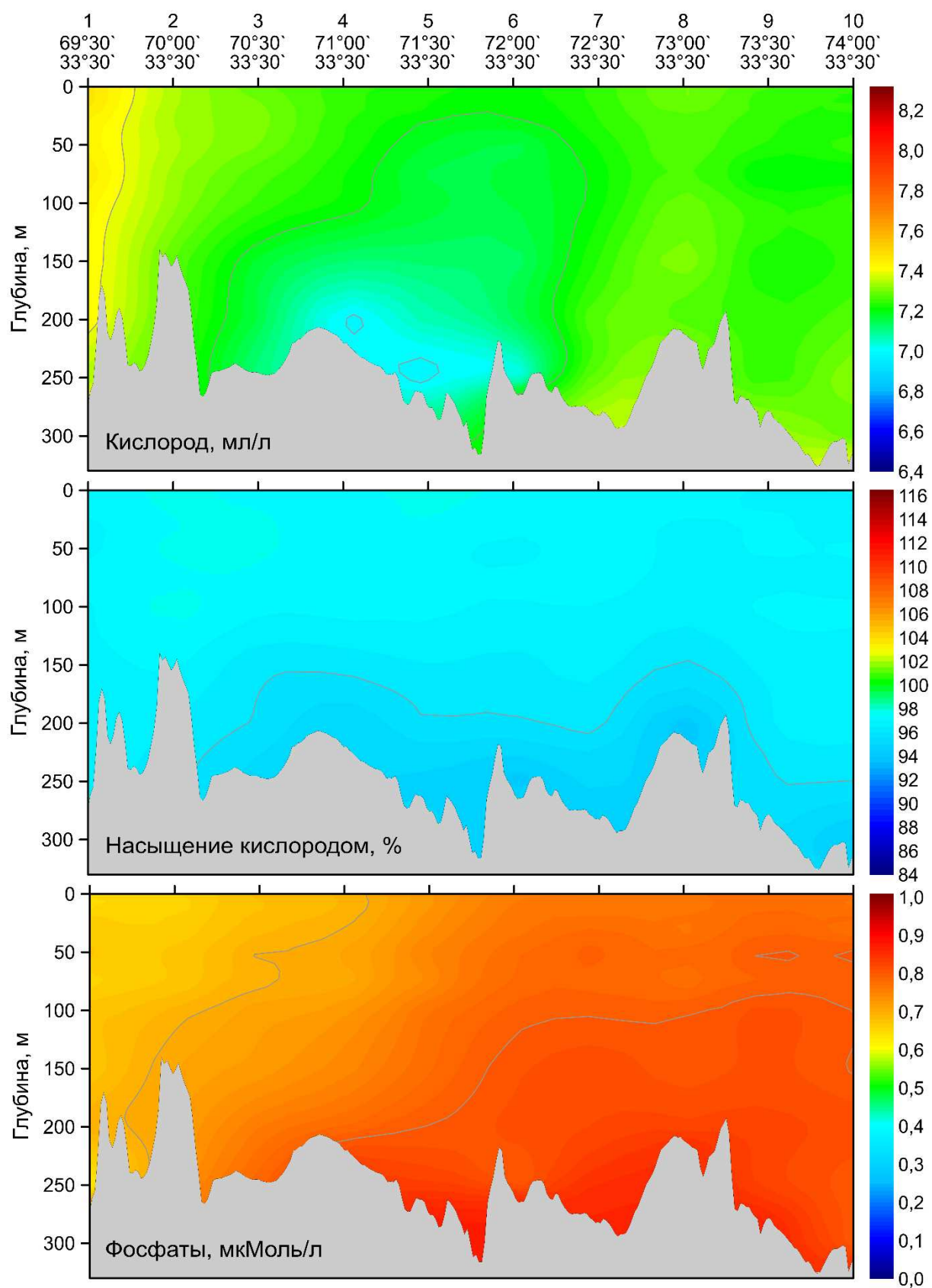


Рис. 2.2.3. Среднегодовое распределение кислорода и фосфатов на разрезе «Кольский меридиан» в марте

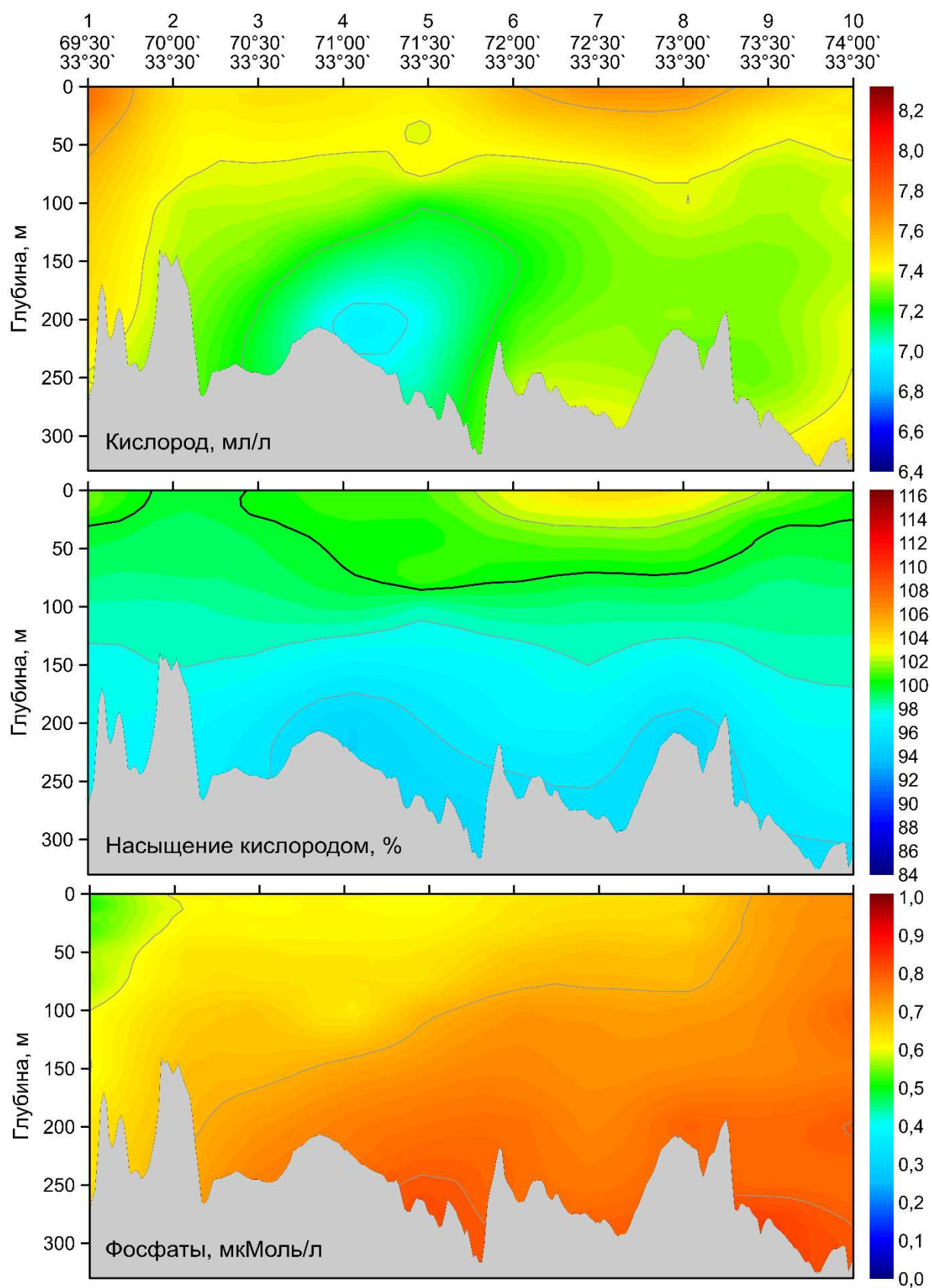


Рис. 2.2.4. Среднегодовое распределение кислорода и фосфатов на разрезе «Кольский меридиан» в апреле

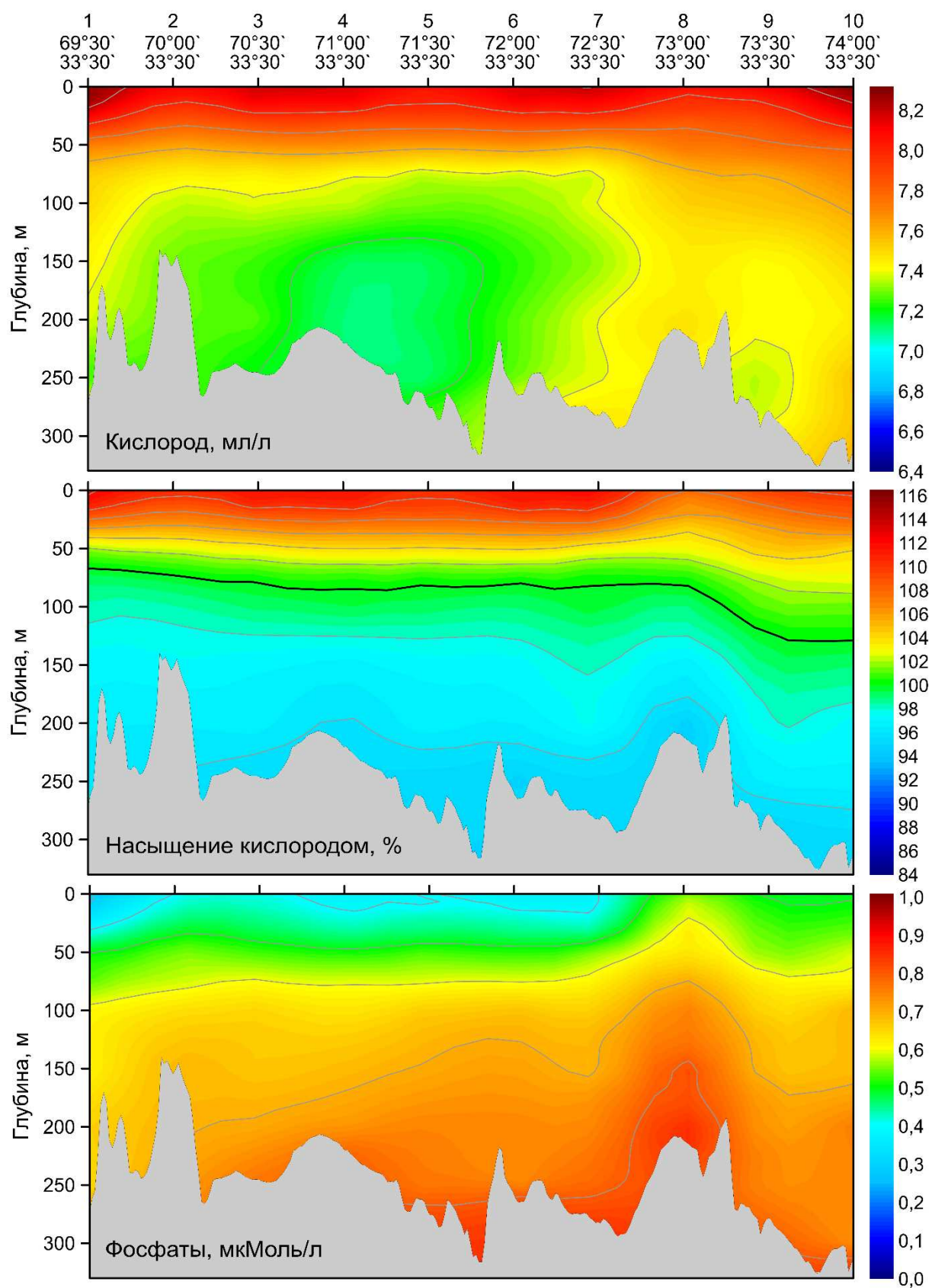


Рис. 2.2.5. Среднегодовое распределение кислорода и фосфатов на разрезе «Кольский меридиан» в мае

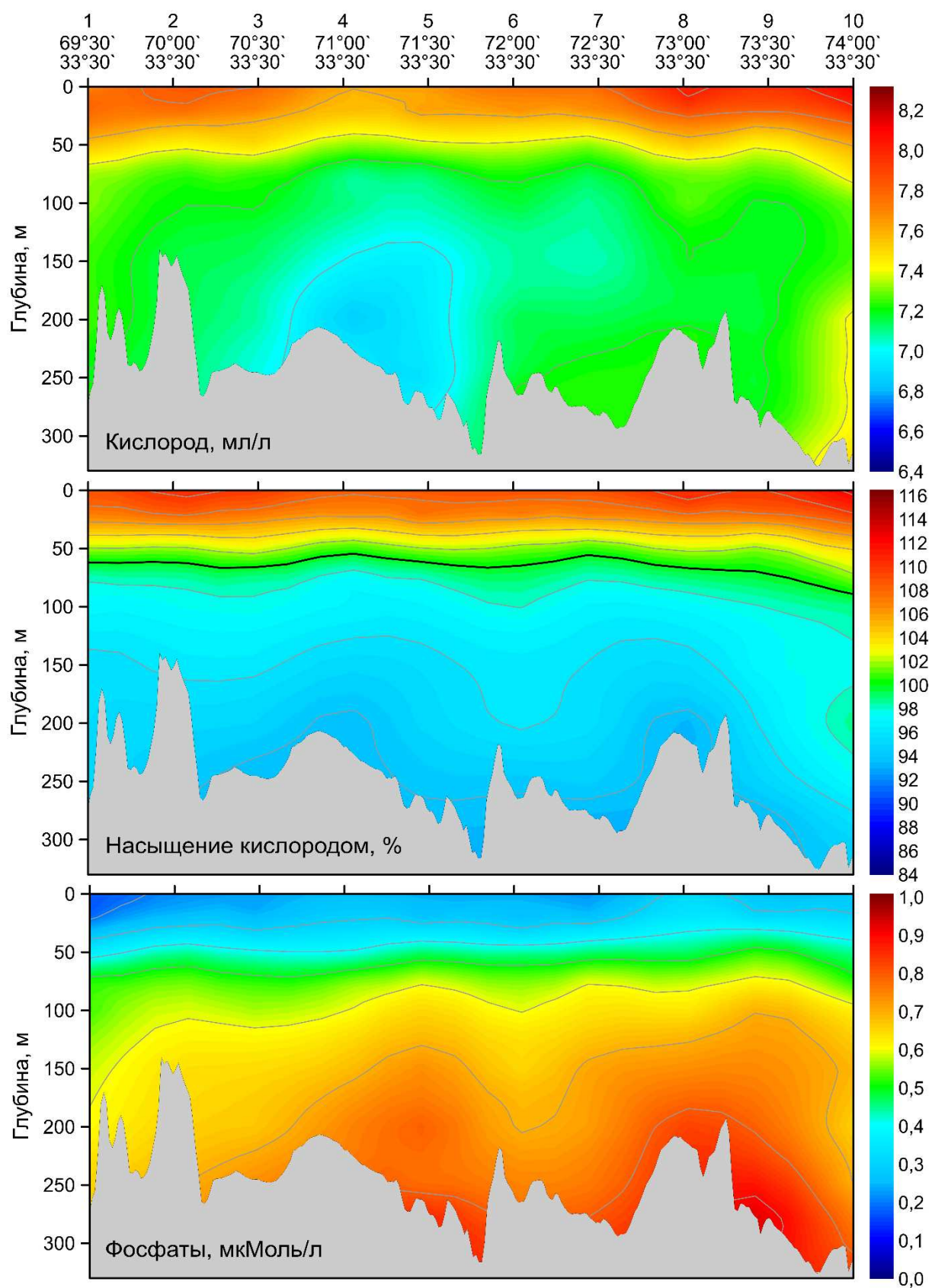


Рис. 2.2.6. Среднегодовое распределение кислорода и фосфатов на разрезе «Кольский меридиан» в июне

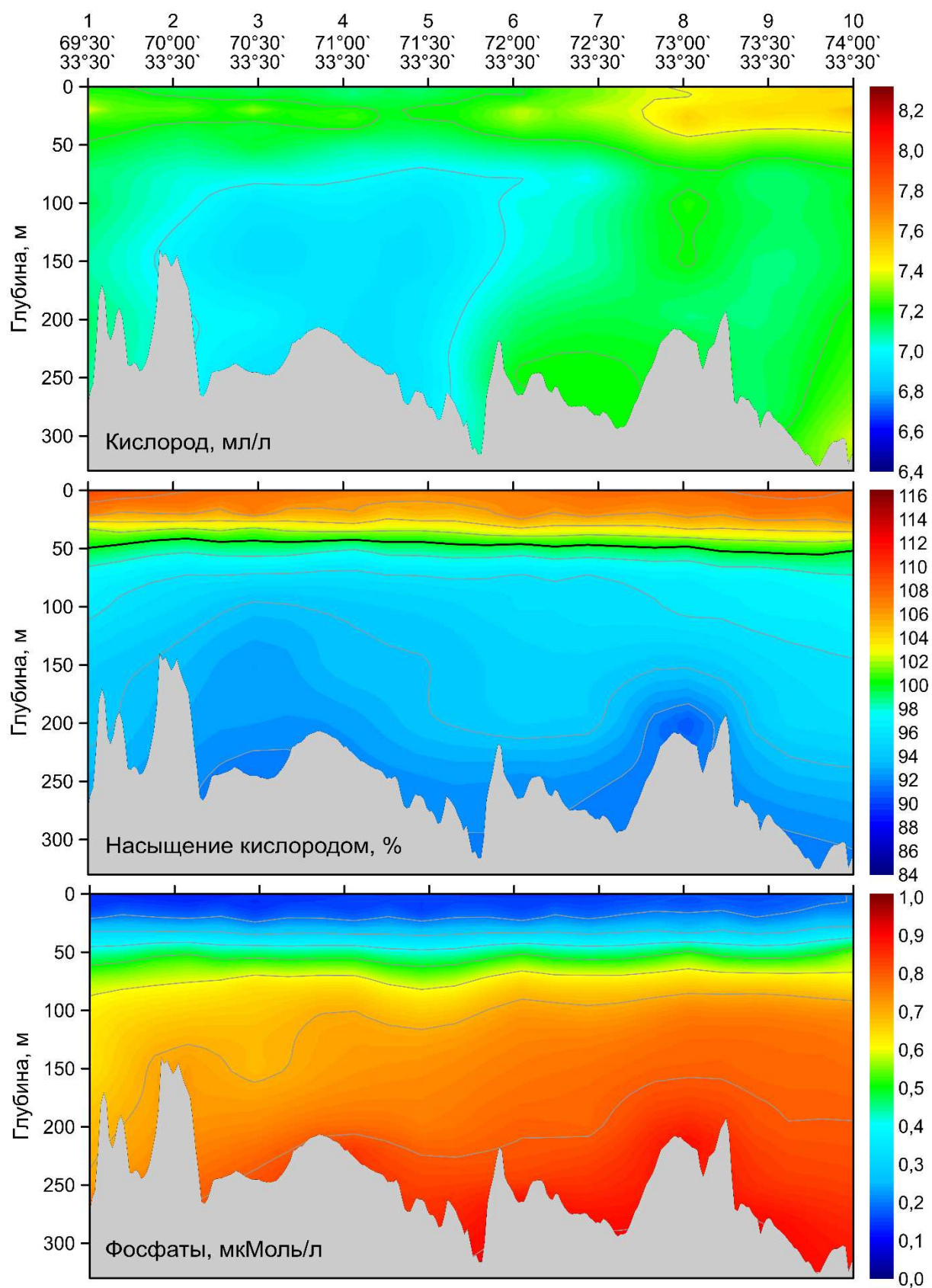


Рис. 2.2.7. Среднемноголетнее распределение кислорода и фосфатов на разрезе «Кольский меридиан» в июле

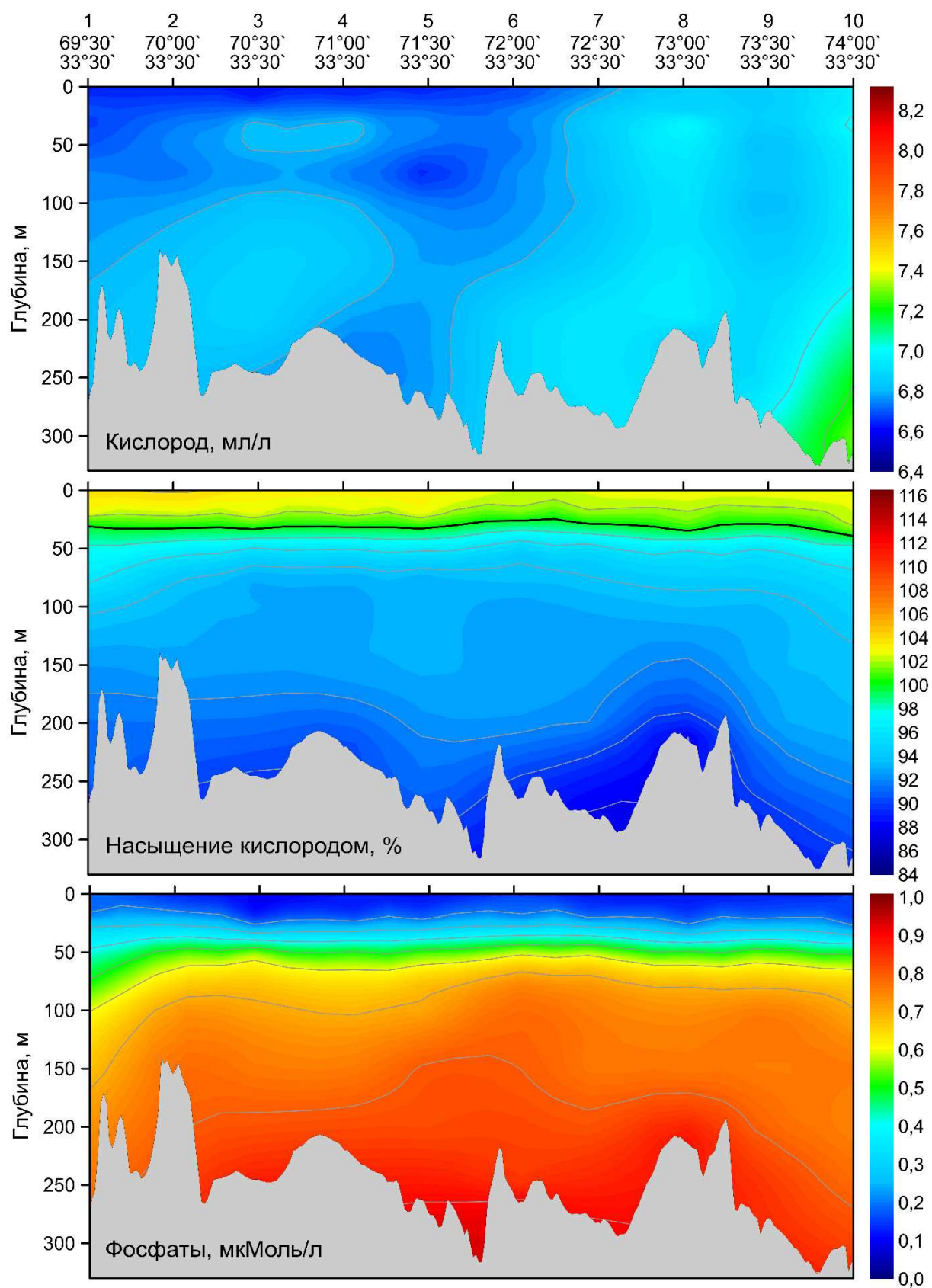


Рис. 2.2.8. Среднегодовое распределение кислорода и фосфатов на разрезе «Кольский меридиан» в августе

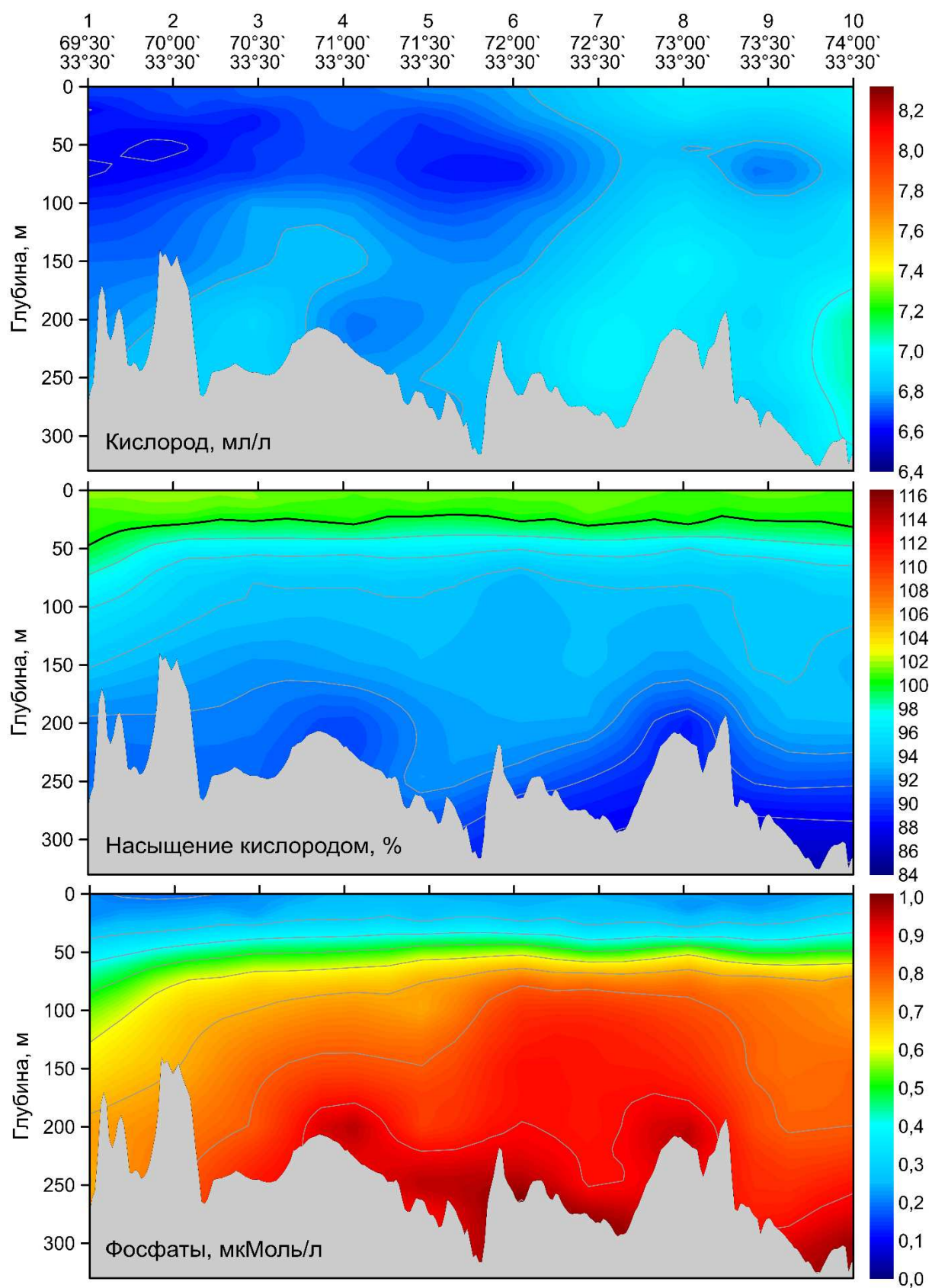


Рис. 2.2.9. Среднегодовое распределение кислорода и фосфатов на разрезе «Кольский меридиан» в сентябре

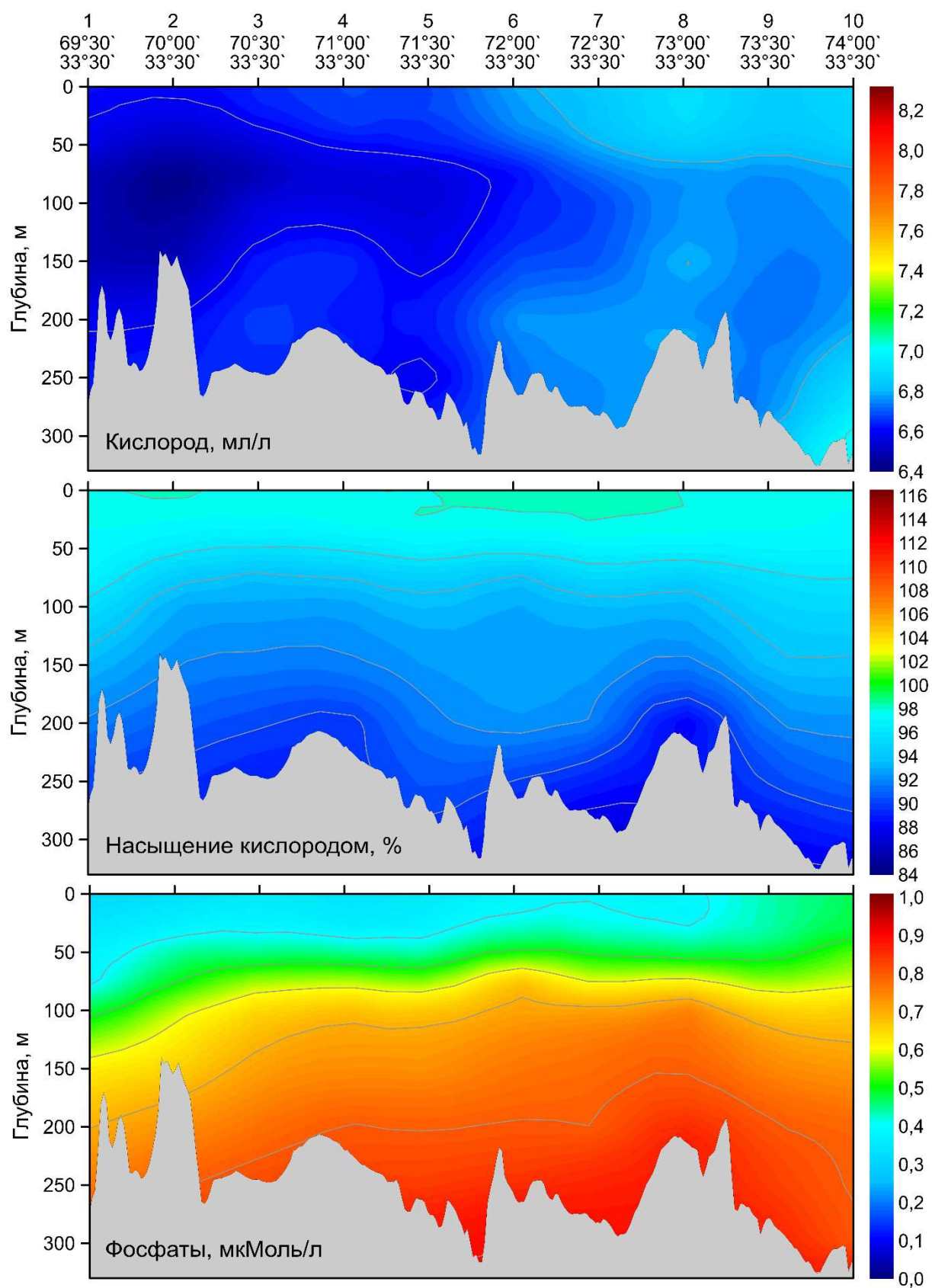


Рис. 2.2.10. Среднегодовое распределение кислорода и фосфатов на разрезе «Кольский меридиан» в октябре

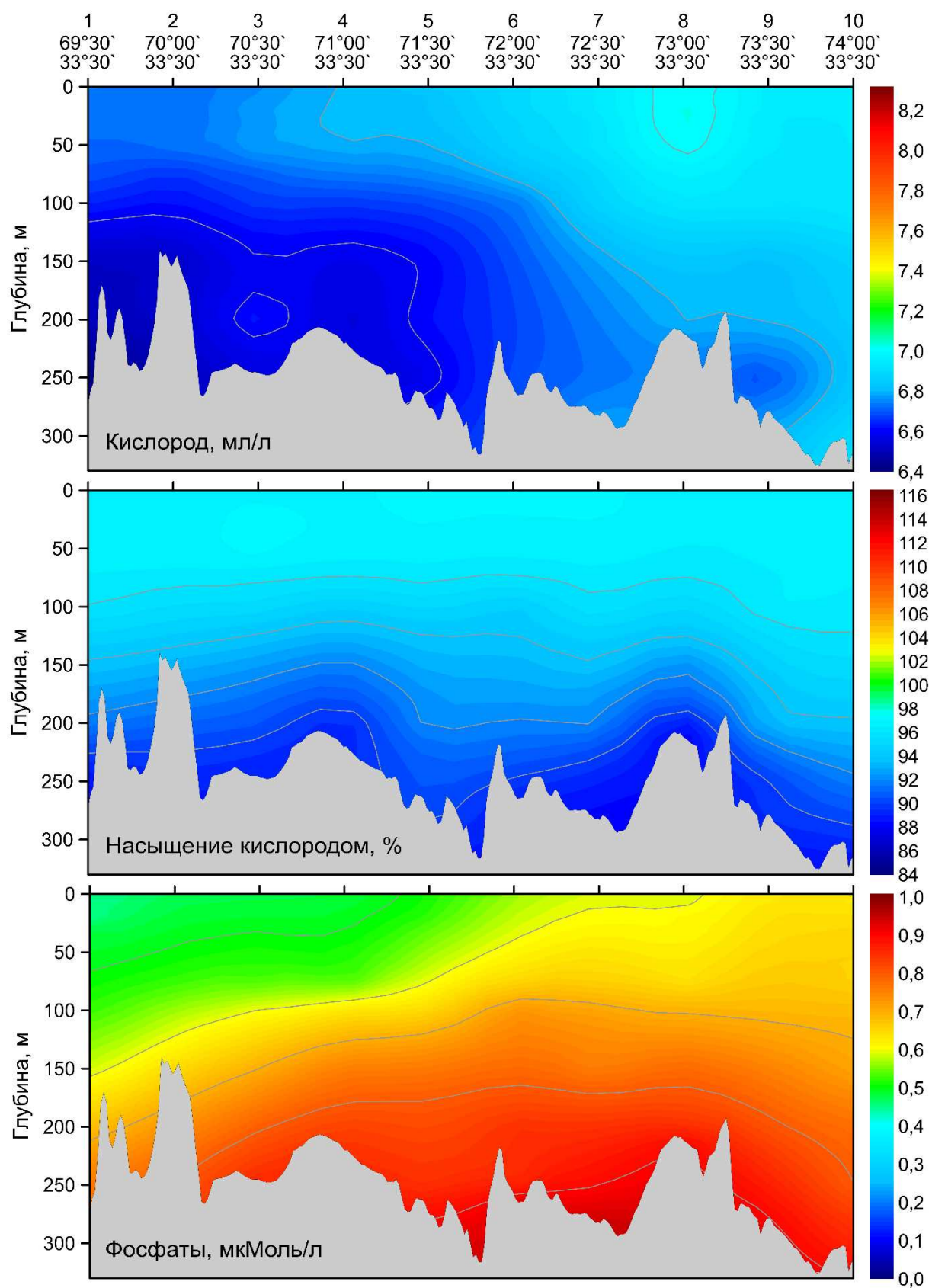


Рис. 2.2.11. Среднемноголетнее распределение кислорода и фосфатов на разрезе «Кольский меридиан» в ноябре

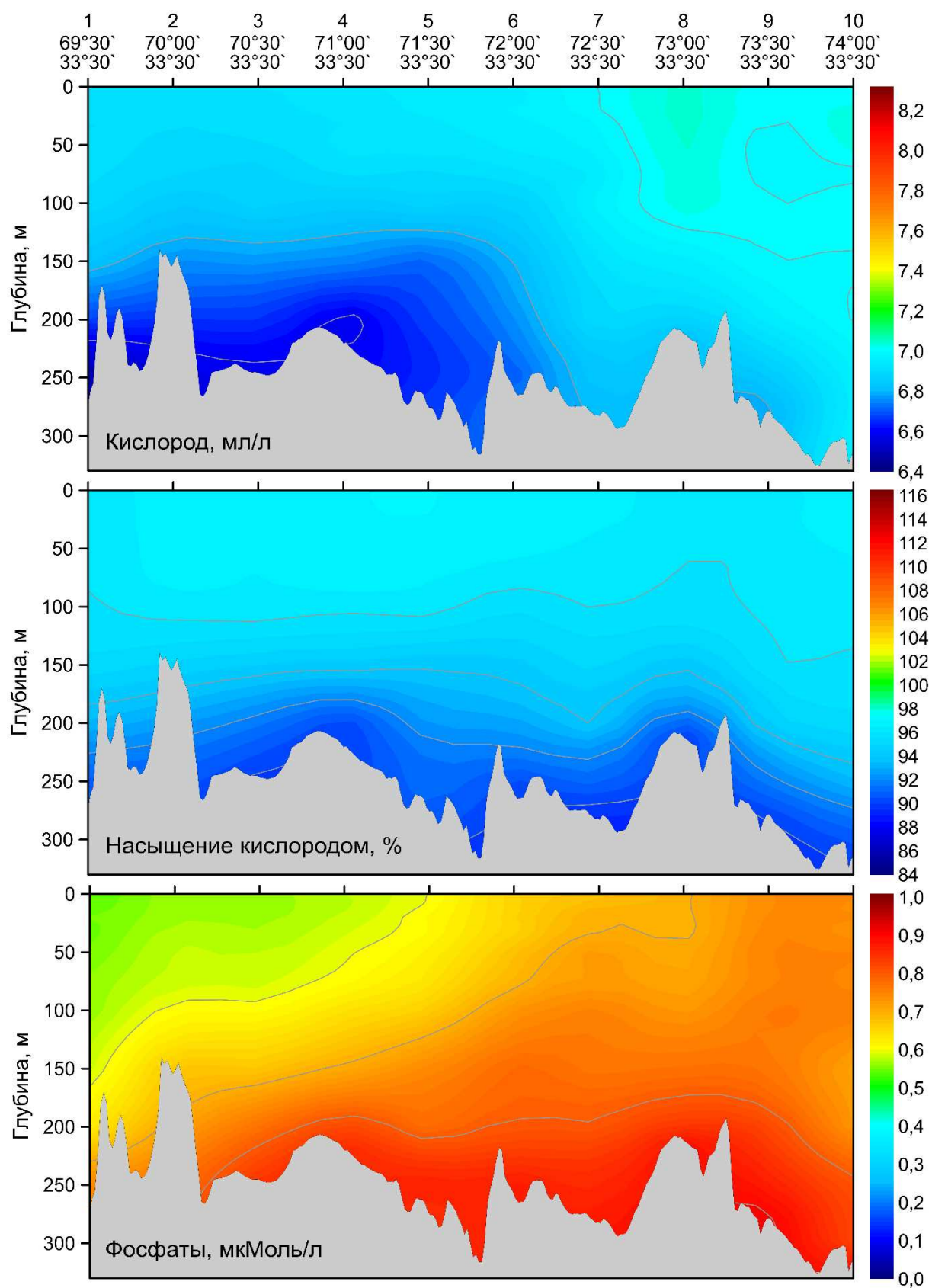


Рис. 2.2.12. Среднегодовое распределение кислорода и фосфатов на разрезе «Кольский меридиан» в декабре

Летом по мере прогрева вод температура повышается, а растворимость кислорода, соответственно, уменьшается, что сказывается на его содержании: чем теплее вода, тем меньше кислорода способно в ней раствориться. В июне развитие окислительных процессов и снижение интенсивности вегетации из-за дефицита биогенных веществ снижают содержание кислорода в поверхностном слое до 7,6–7,8 мл/л (107–110 %). Глубже 100 м оно тоже уменьшается (на 0,1–0,3 мл/л, или 1–2 %) в результате разложения органического вещества, поступающего из верхних слоев, и у дна составляет 6,9–7,2 мл/л (93–95 %). На трех северных станциях разреза из-за запаздывания процессов вегетации при смещении в более высокие широты максимум насыщения поверхностных вод кислородом (110–113 %) наступает в июне, а не в мае, как на остальных станциях.

В июле фотосинтез ограничен доступностью биогенных веществ, и за счет равновесия продукционных и окислительных процессов насыщенность поверхностных вод кислородом сохраняется на уровне 106–109 %, а у дна – понижается до 91–93 %. В годовом ходе содержания фосфатов их минимум в верхнем 20-метровом слое достигается в июле–августе, когда концентрация этого биогенного элемента на всем разрезе не превышает 0,2 μM , составляя 0,11–0,19 μM , тогда как в придонных водах она постепенно растет.

В августе из-за проявляющегося недостатка питательных веществ вегетация начинает затухать: насыщенность поверхностных вод кислородом уменьшается до 102–104 %, а его содержание становится ниже 7,0 мл/л, достигая сезонного минимума (6,6–6,9 мл/л). Глубже фотического слоя происходят накопление и активное разложение органического вещества, идет регенерация биогенных элементов, сопровождаемая потреблением кислорода, содержание которого во всей толще становится меньше 7,0 мл/л. Насыщенность придонных вод кислородом понижается до 88–90 % (6,8–6,9 мл/л), а концентрация фосфатов в них составляет 0,78–0,91 μM , приближаясь к годовому максимуму. Следует отметить, что летом фитопланктон потребляет в том числе и регенерированный фосфор [69]. Однако биогенных веществ, поступающих в фотический слой в ходе регенерации, хватает лишь на поддержание интенсивности фотосинтеза на уровне, несколько превышающем затраты кислорода на окислительные процессы [14].

Осенью в результате выхолаживания поверхностных вод развивается конвективное перемешивание, которое постепенно выравнивает содержание кислорода и фосфатов по вертикали. В сентябре с уменьшением светового дня фотосинтез продолжает затухать, а процессы разложения органического вещества, наоборот, усиливаются и начинают преобладать над по-

треблением фосфатов первичными продуцентами, что приводит к уменьшению насыщения поверхностных вод кислородом до 100–102 % и повышению содержания в них минерального фосфора до 0,21–0,27 μM . В придонном слое концентрация фосфатов достигает на большей части разреза максимальных за год значений (0,89–1,01 μM). Начинается постепенный переход от летнего распределения гидрохимических параметров к зимнему.

В октябре период вегетации завершается, практически прекращаются продукционные процессы, игравшие летом основную роль в распределении кислорода. Насыщенность им поверхностных вод становится ниже 100 % и составляет на всем разрезе 98 %. Конвективное перемешивание совместно с интенсивным разложением органического вещества увеличивают концентрацию фосфатов в поверхностном слое до 0,32–0,40 μM (на северных станциях до 0,44–0,48 μM), у дна она сохраняется на достаточно высоком уровне (0,80–0,88 μM).

В ноябре распределение кислорода становится близким к зимнему. Насыщенность им поверхностного слоя уменьшается до 97 %, а глубже 50–75 м показывает небольшой рост (в среднем на 1–2 %), что может быть обусловлено как выравниванием содержания кислорода по вертикали в ходе конвективного перемешивания, так и тем фактом, что в это время в более глубоких слоях наступает сезонный максимум температуры, что приводит к уменьшению растворимости кислорода и, при прочих равных условиях, увеличению его относительного содержания. Концентрация минерального фосфора в поверхностных водах в ноябре увеличивается на 0,1–0,2 μM по сравнению с октябрем, составляя на южной части разреза 0,45–0,52 μM , а на северной – 0,57–0,64 μM . У дна содержание фосфатов почти повсеместно равняется 0,85–0,95 μM (на самой южной станции – 0,75 μM , на самой мелководной – 0,64 μM).

В течение осени, с сентября по ноябрь, концентрация кислорода на всем разрезе и во всей толще воды остается на минимальном уровне (6,6–6,9 мл/л), достигнутом к концу лета, при этом в октябре она в целом самая низкая. Именно на осенний сезон приходится годовой минимум насыщения вод кислородом у дна (88–90 %). Процессы минерализации органического вещества и конвективное перемешивание поддерживают в осенне-зимний период тенденцию к увеличению концентрации фосфатов во всей толще воды с одновременным ростом их содержания ко дну.

Зимой вследствие интенсивного выхолаживания поверхностных вод конвективное перемешивание охватывает практически всю толщу воды от поверхности до дна, что приводит к выравниванию вертикальных профилей гидрохимических параметров и почти однородному их распределению на разрезе. Поскольку в этот сезон фотосинтез затухает, основным источником кислорода для вод становится их газообмен с атмосферой, а его содержание

определяется в первую очередь степенью его растворимости, зависящей от температуры и солености. С декабря по март благодаря ослаблению окислительных процессов в основной толще воды, потреблению кислорода из атмосферы и переносу его в результате конвективного перемешивания в более глубокие слои, насыщение кислородом верхнего 100-метрового слоя стабилизируется на уровне 96–97 %, а в придонном – увеличивается от 90–91 % в декабре до 93–96 % в январе–марте. Содержание кислорода на всем разрезе и во всей толще воды постепенно увеличивается от 6,7–7,0 мл/л в декабре до 7,1–7,4 мл/л в марте за счет улучшения его растворимости по мере остывания вод, с одной стороны, и их «вентиляции» в результате интенсивного конвективного перемешивания – с другой. В зимний период распределение фосфатов на разрезе достаточно однородное с повышением их содержания в северном направлении (в среднем за сезон от 0,6–0,7 μM на самой южной станции до 0,8–0,9 μM – на самой северной) и с глубиной (в среднем за сезон на 0,1–0,2 μM от поверхности до дна). Продолжающиеся в придонных водах процессы разложения созданного за вегетационный период органического вещества обогащают их биогенными элементами (поддерживая в придонном слое максимальные концентрации фосфатов), а вслед за ними за счет конвекции и поверхностные воды. В результате к марту содержание минерального фосфора в поверхностном слое достигает максимальных значений, которые вместе с тем увеличиваются в северном направлении от 0,64–0,66 μM на самой южной станции до 0,76–0,79 μM – на самой северной. Таким образом, за зиму благодаря отсутствию потребления биогенных веществ фитопланктоном, с одной стороны, и их регенерации – с другой, происходит восстановление запаса минерального фосфора, который с началом вегетационного сезона в весенние месяцы обеспечивает создание нового органического вещества.

Сезонные колебания содержания растворенного в воде кислорода и фосфатов на разрезе «Кольский меридиан» достигают наибольшего размаха в фотической зоне, где изменчивость этих гидрохимических параметров максимальная за счет ярко выраженной сезонности процессов фотосинтеза (рис. 2.2.13). С глубиной размах колебаний как кислорода, так и минерального фосфора уменьшается. Так, в верхнем 30-метровом слое он составляет 1,1–1,7 мл/л для содержания кислорода, 10–16 % для насыщенности вод кислородом и 0,5–0,7 μM для концентрации фосфатов (с максимальными значениями на поверхности), а глубже 75 м сохраняется в целом на уровне 0,6–0,8 мл/л, 5–8 % и 0,1–0,2 μM соответственно. При этом в прибрежных водах (первые две станции разреза) высокая сезонная изменчивость содержания кислорода прослеживается во всей толще, составляя 1,5–1,7 мл/л на поверхности и 0,9–1,0 мл/л – у дна.

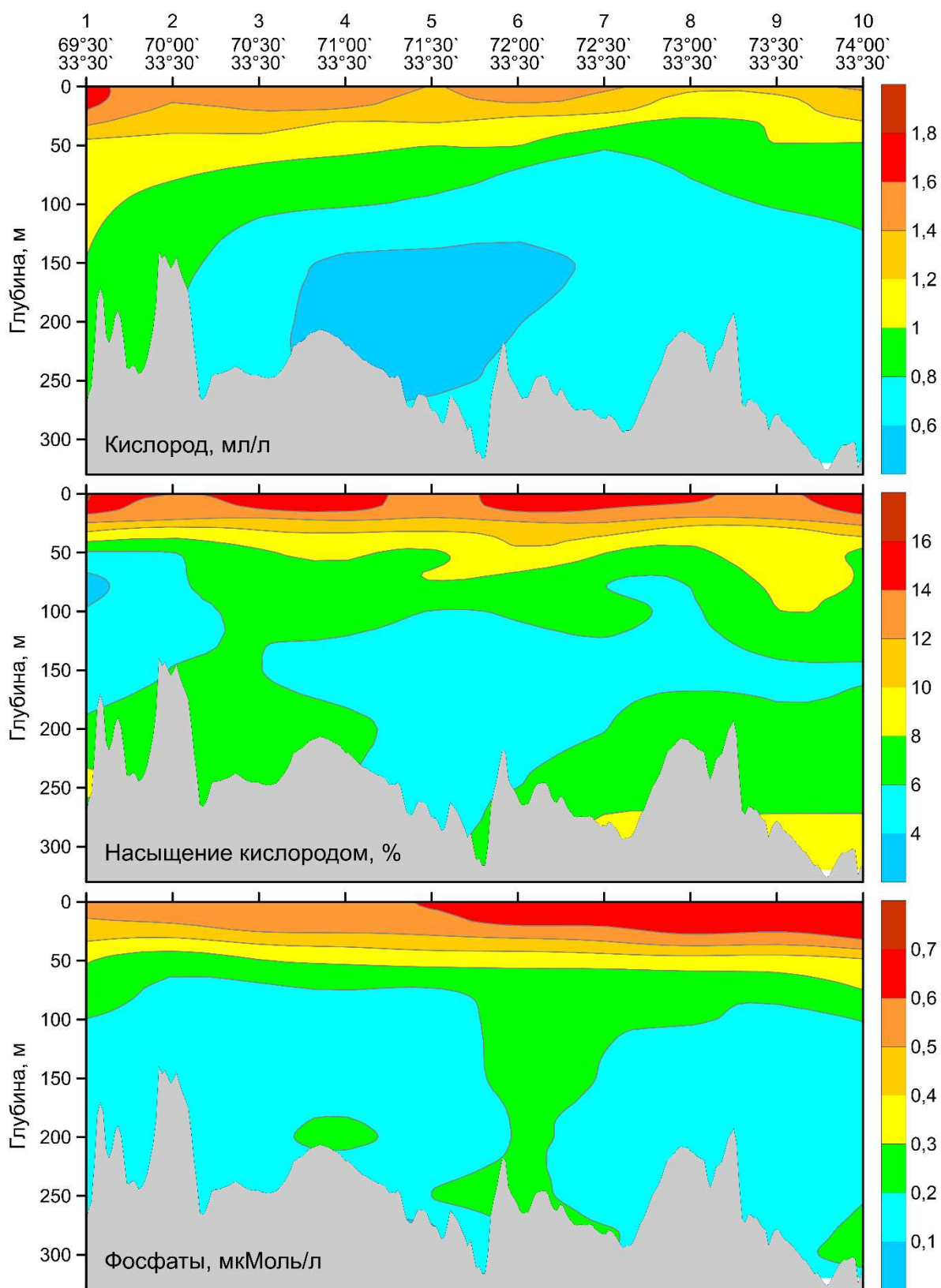


Рис. 2.2.13. Размах среднеголетних сезонных колебаний кислорода и фосфатов на разрезе «Кольский меридиан»

Для более полной картины сезонных изменений концентраций кислорода и фосфора дополнительно приведен годовой ход их вертикальных профилей отдельно для каждой станции разреза (рис. 2.2.14–2.2.23). Основной акцент сделан на поверхностных и придонных водах (слои толщиной около 20 м), так как на всех станциях во все месяцы содержание кислорода и насыщенность им вод монотонно убывают с глубиной, а концентрация фосфатов, наоборот, растет или все три параметра слабо изменяются по вертикали (зимой).

При равных условиях вегетации (количество солнечной радиации и биогенных веществ) особенности распределения кислорода вдоль разреза во многом зависят от температуры, влияющей на его растворимость. В летне-осенние месяцы (июль–ноябрь), когда температура заметно убывает в северном направлении, содержание кислорода увеличивается с юга на север. В его изменениях вдоль разреза отмечается статистически значимый тренд как в поверхностных водах (0,03–0,04 мл/л за 30 мор. миль, $p\text{-value} = 0,000...0,011$), так и в придонных (0,04 мл/л за 30 мор. миль, $p\text{-value} = 0,000...0,021$). Поскольку у дна неоднородность температуры сохраняется дольше, значимый тренд здесь наблюдается и в декабре–январе (0,04 мл/л за 30 мор. миль, $p\text{-value} = 0,002...0,031$). В зимне-весенний период, когда температура на разрезе распределена практически однородно, для кислорода значимые тренды отсутствуют.

В изменениях насыщенности вод кислородом вдоль разреза значимых трендов фактически нет. В поверхностном слое размах ее значений в сентябре–марте не превышает 1 %, а в апреле–июне, во время активной вегетации, достигает 4–5 %. У дна размах практически во все месяцы составляет 2–3 % (без учета самой мелководной станции с глубиной 148 м), достигая 5 % лишь в сентябре за счет слабого насыщения кислородом придонных вод на самой глубокой станции (318 м).

Содержание фосфатов в поверхностных водах увеличивается с юга на север почти во все месяцы. В октябре–мае, когда минерального фосфора в воде достаточно ($> 0,3 \mu\text{M}$), значимый тренд составляет $0,02 \mu\text{M}$ за 30 мор. миль ($p\text{-value} = 0,000...0,015$). В период низкого содержания фосфатов тренд менее выражен ($0,01 \mu\text{M}$ за 30 мор. миль в июне–июле, концентрации убывают до минимума) или отсутствует (в августе–сентябре, запас фосфатов находится на минимальном уровне и только начинает восстанавливаться). В придонном слое содержание минерального фосфора увеличивается в северном направлении со значимым трендом $0,01\text{--}0,02 \mu\text{M}$ за 30 мор. миль ($p\text{-value} = 0,000...0,046$) во все месяцы, кроме августа, когда тренд отсутствует, а концентрация фосфатов достигает годового максимума за счет активных процессов их регенерации у дна.

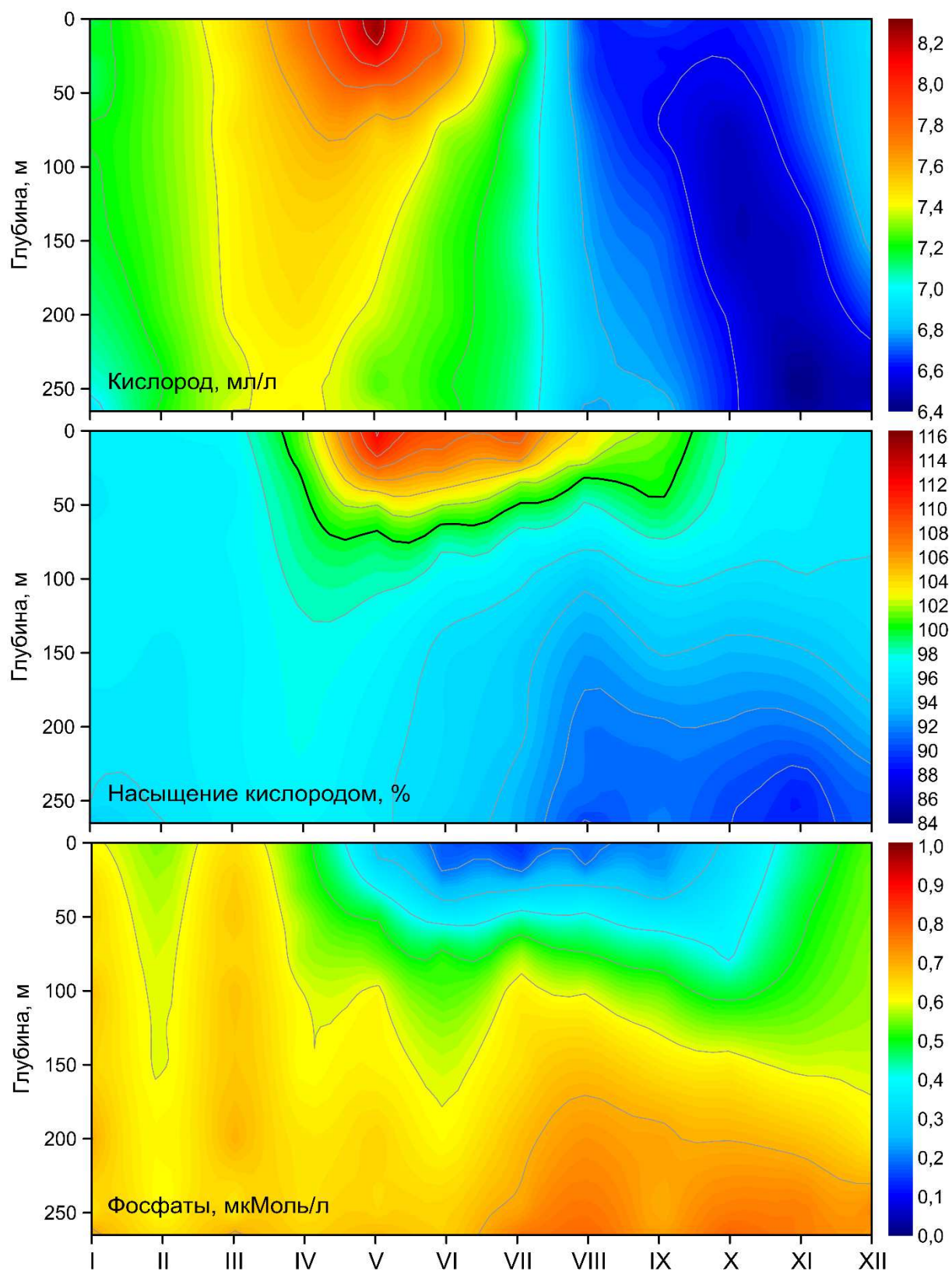


Рис. 2.2.14. Сезонная динамика среднееголетнего распределения кислорода и фосфатов на ст. 1 разреза «Кольский меридиан»

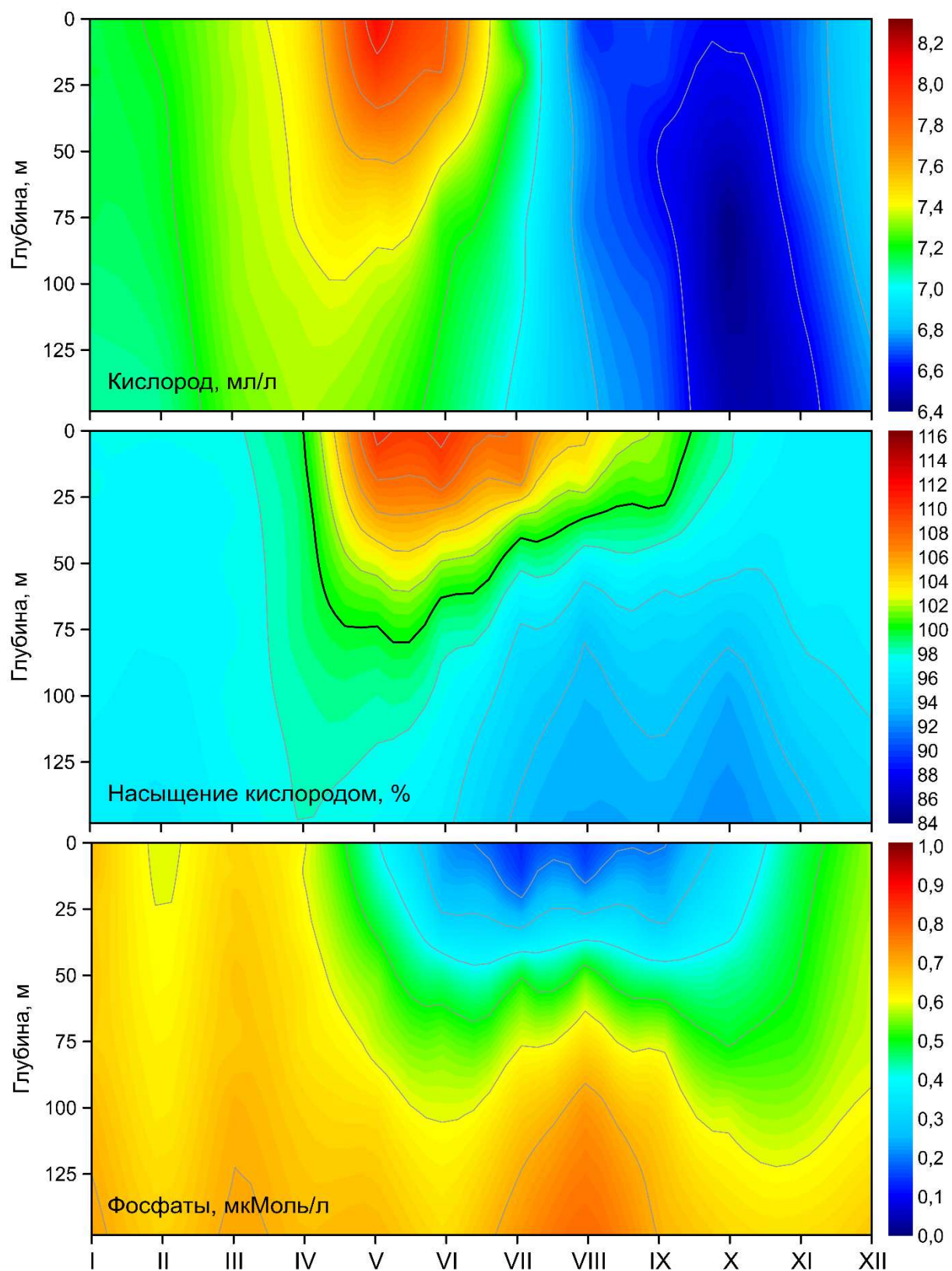


Рис. 2.2.15. Сезонная динамика среднееголетнего распределения кислорода и фосфатов на ст. 2 разреза «Кольский меридиан»

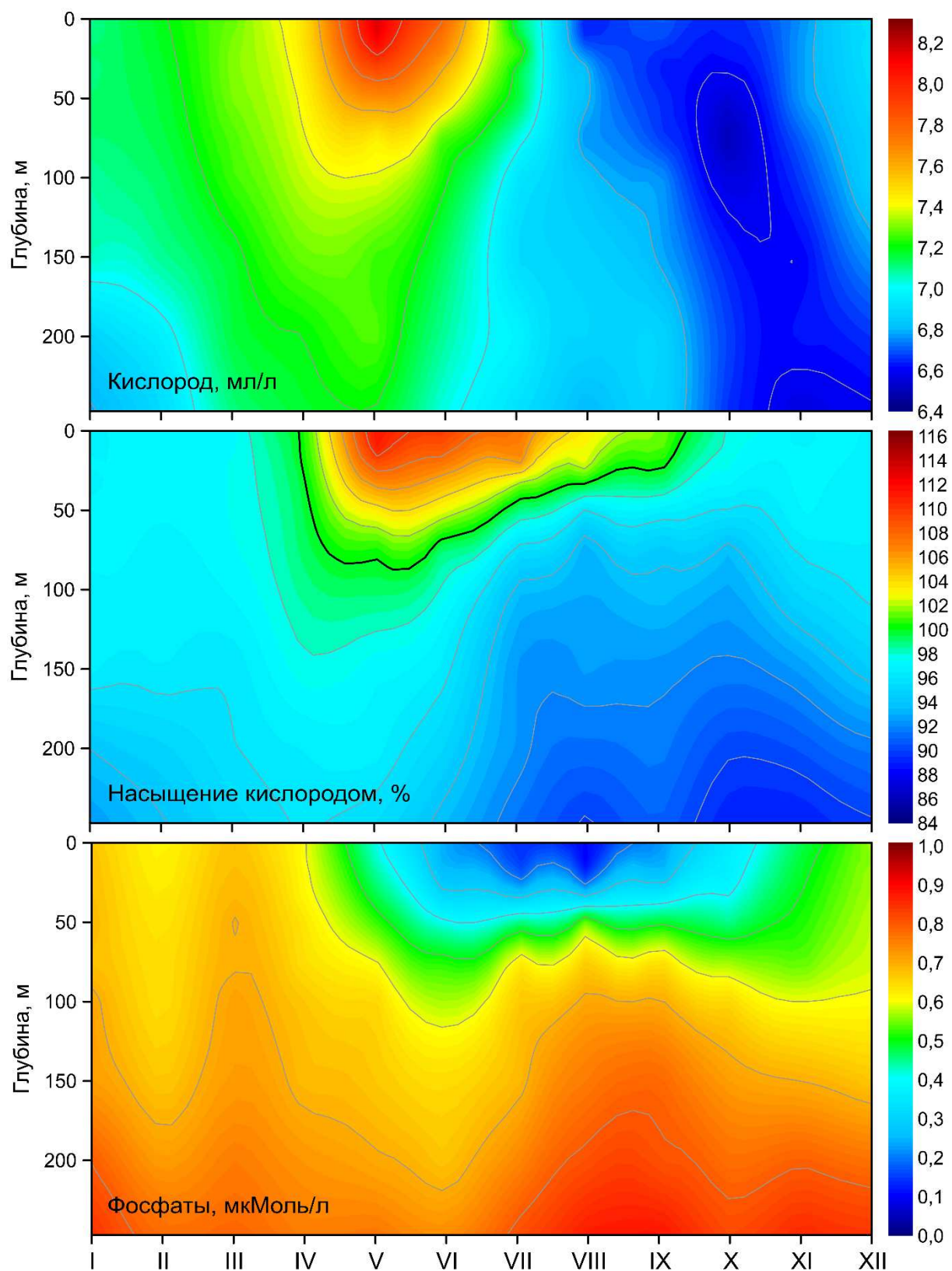


Рис. 2.2.16. Сезонная динамика среднееголетнего распределения кислорода и фосфатов на ст. 3 разреза «Кольский меридиан»

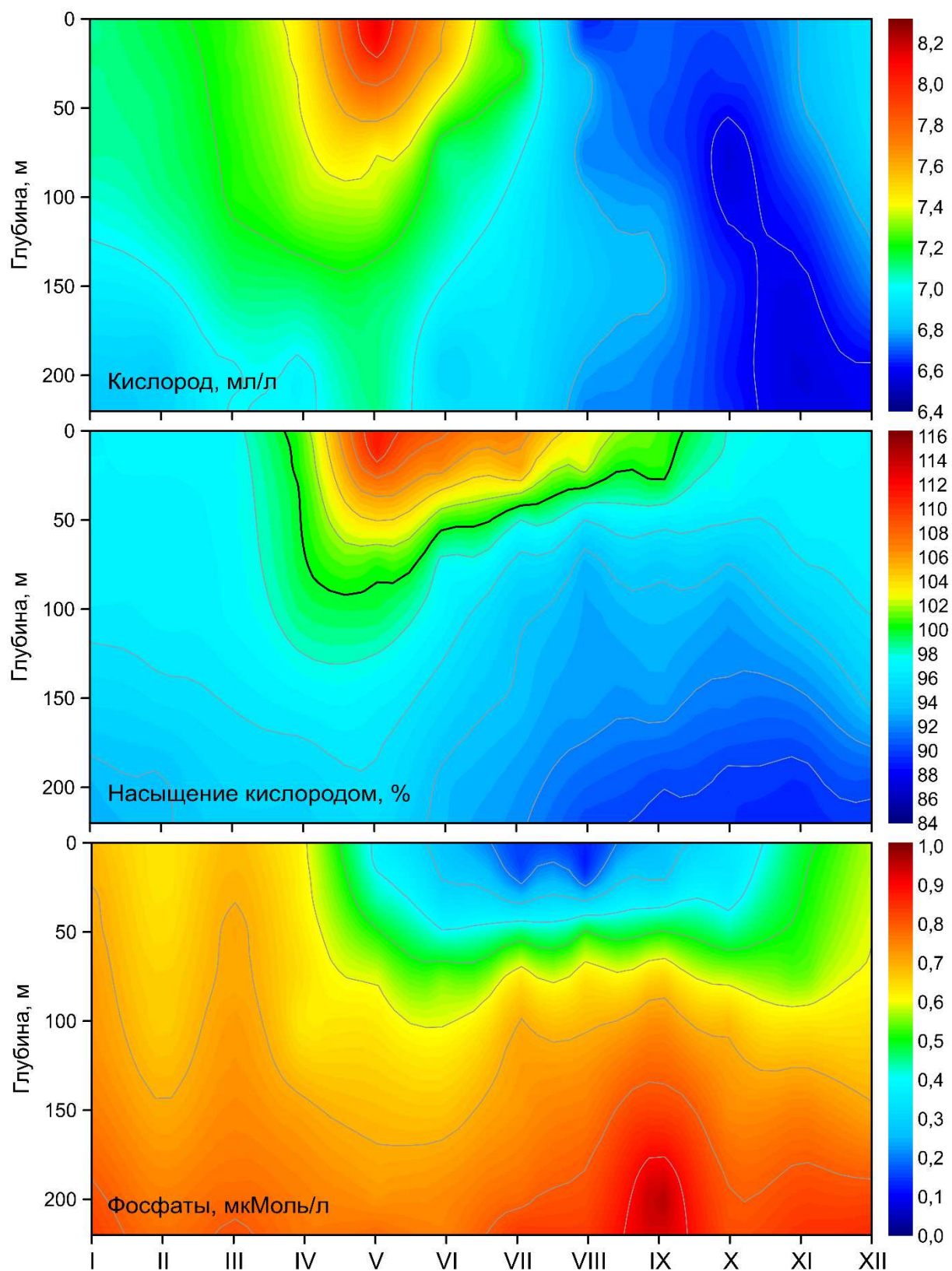


Рис. 2.2.17. Сезонная динамика среднееголетнего распределения кислорода и фосфатов на ст. 4 разреза «Кольский меридиан»

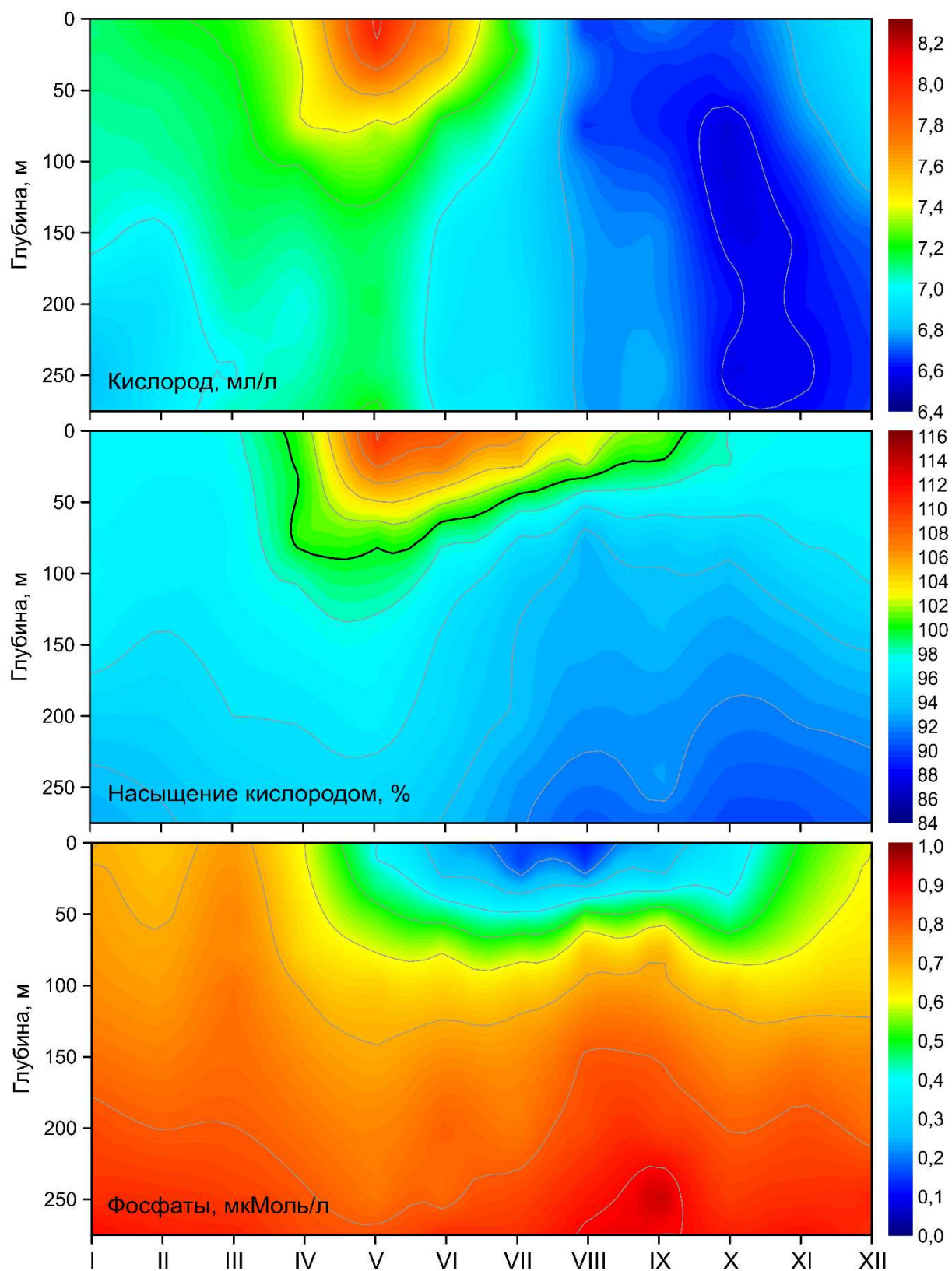


Рис. 2.2.18. Сезонная динамика среднееголетнего распределения кислорода и фосфатов на ст. 5 разреза «Кольский меридиан»

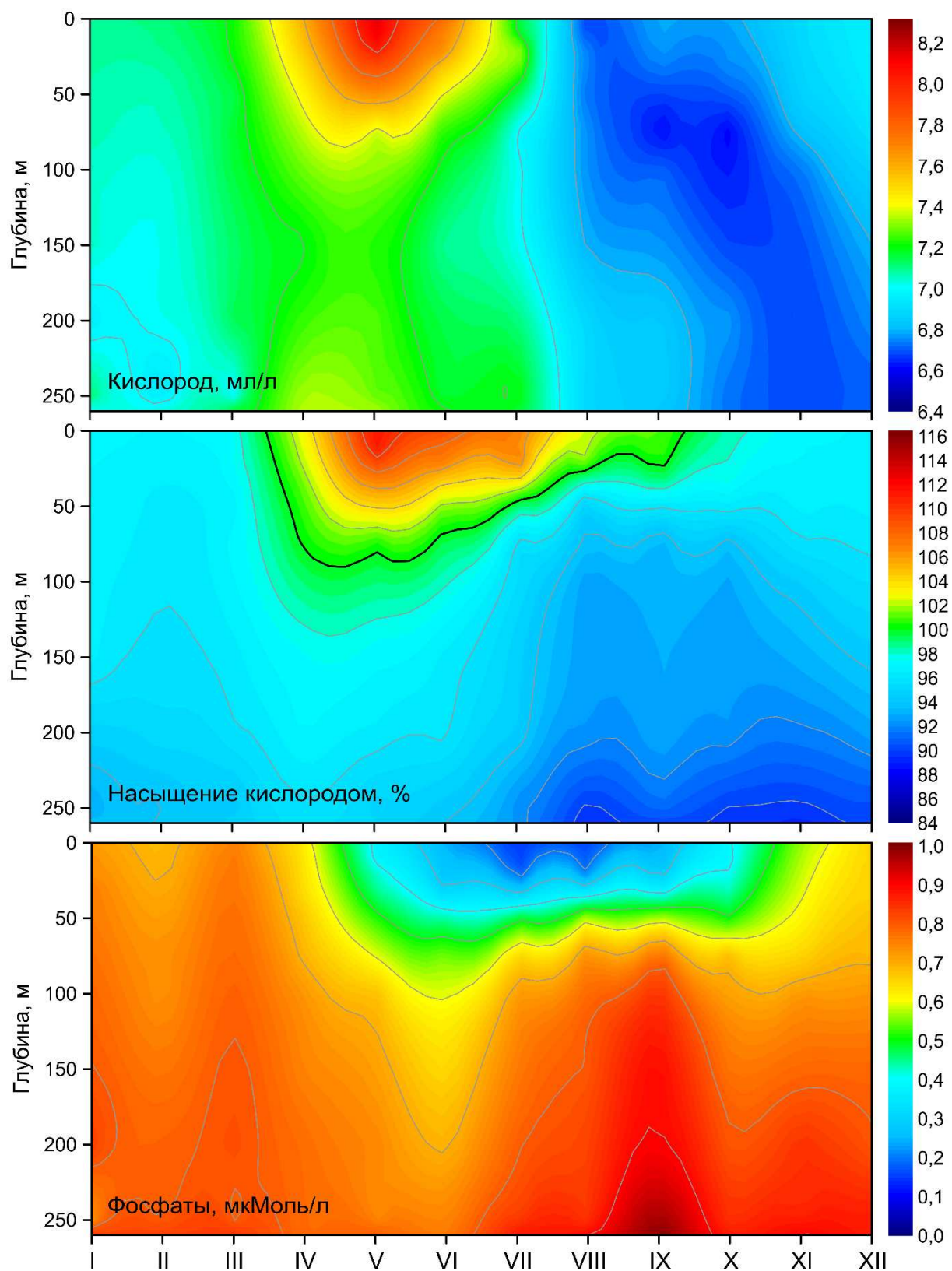


Рис. 2.2.19. Сезонная динамика среднееголетнего распределения кислорода и фосфатов на ст. 6 разреза «Кольский меридиан»

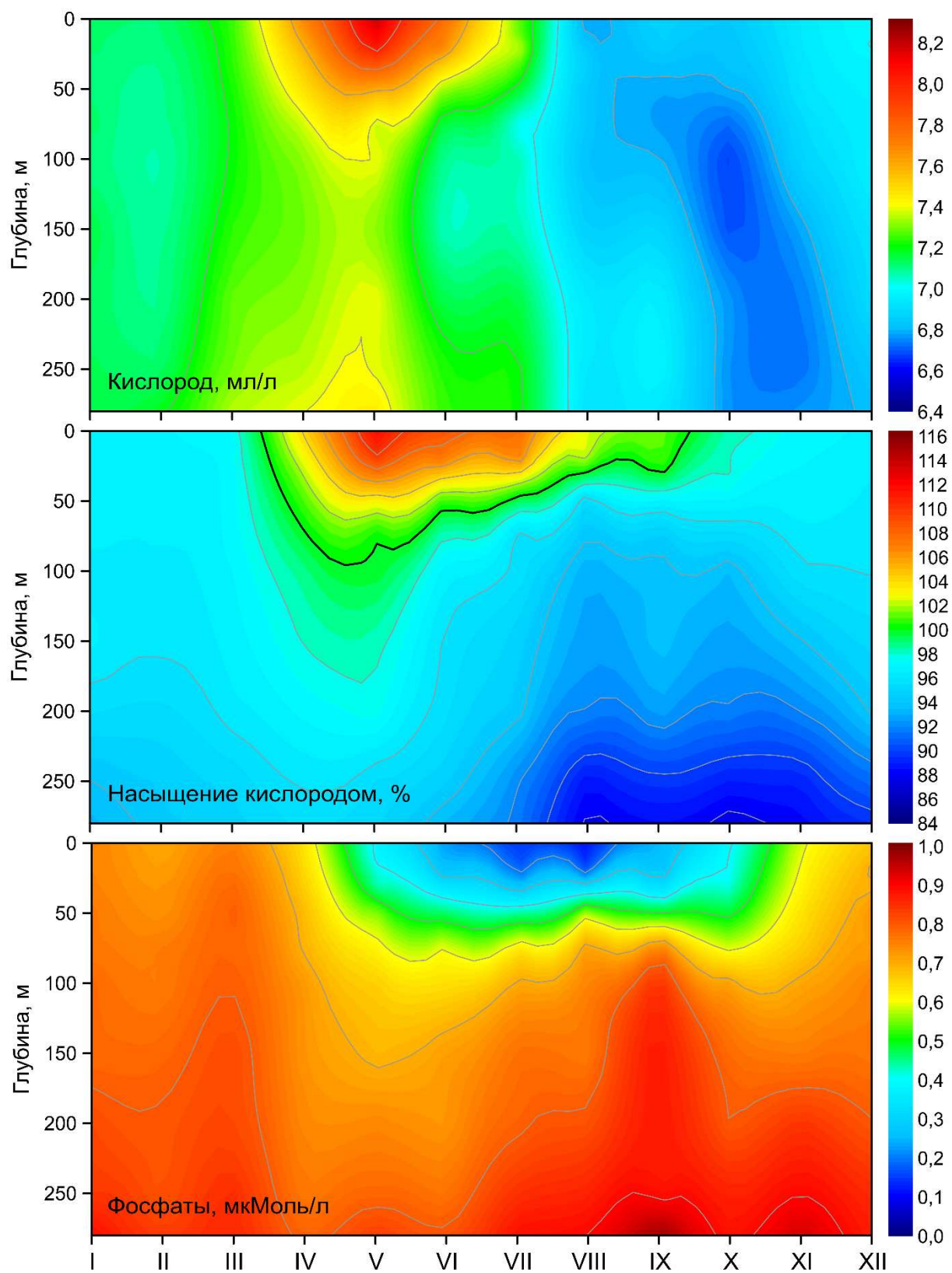


Рис. 2.2.20. Сезонная динамика среднееголетнего распределения кислорода и фосфатов на ст. 7 разреза «Кольский меридиан»

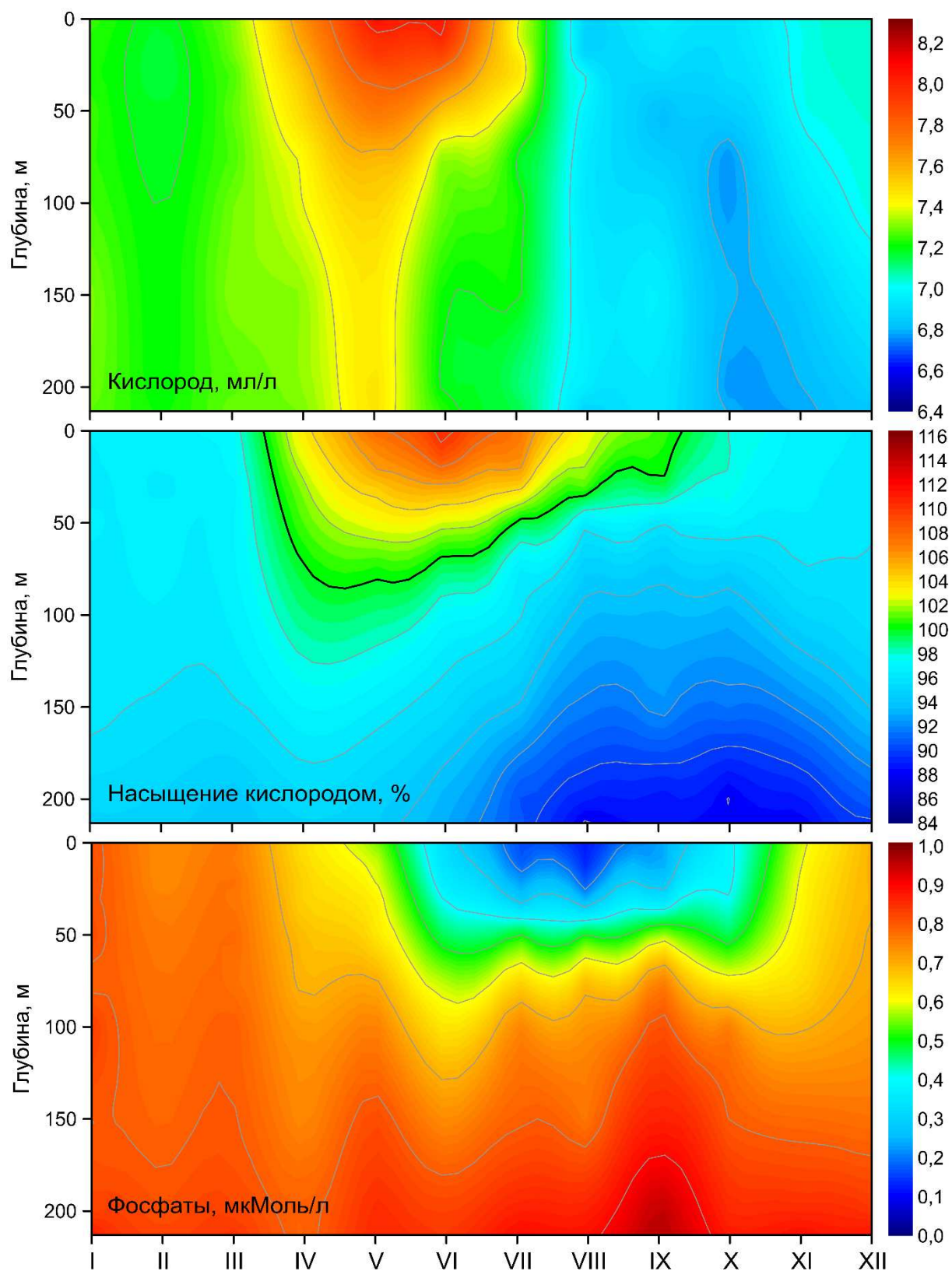


Рис. 2.2.21. Сезонная динамика среднееголетнего распределения кислорода и фосфатов на ст. 8 разреза «Кольский меридиан»

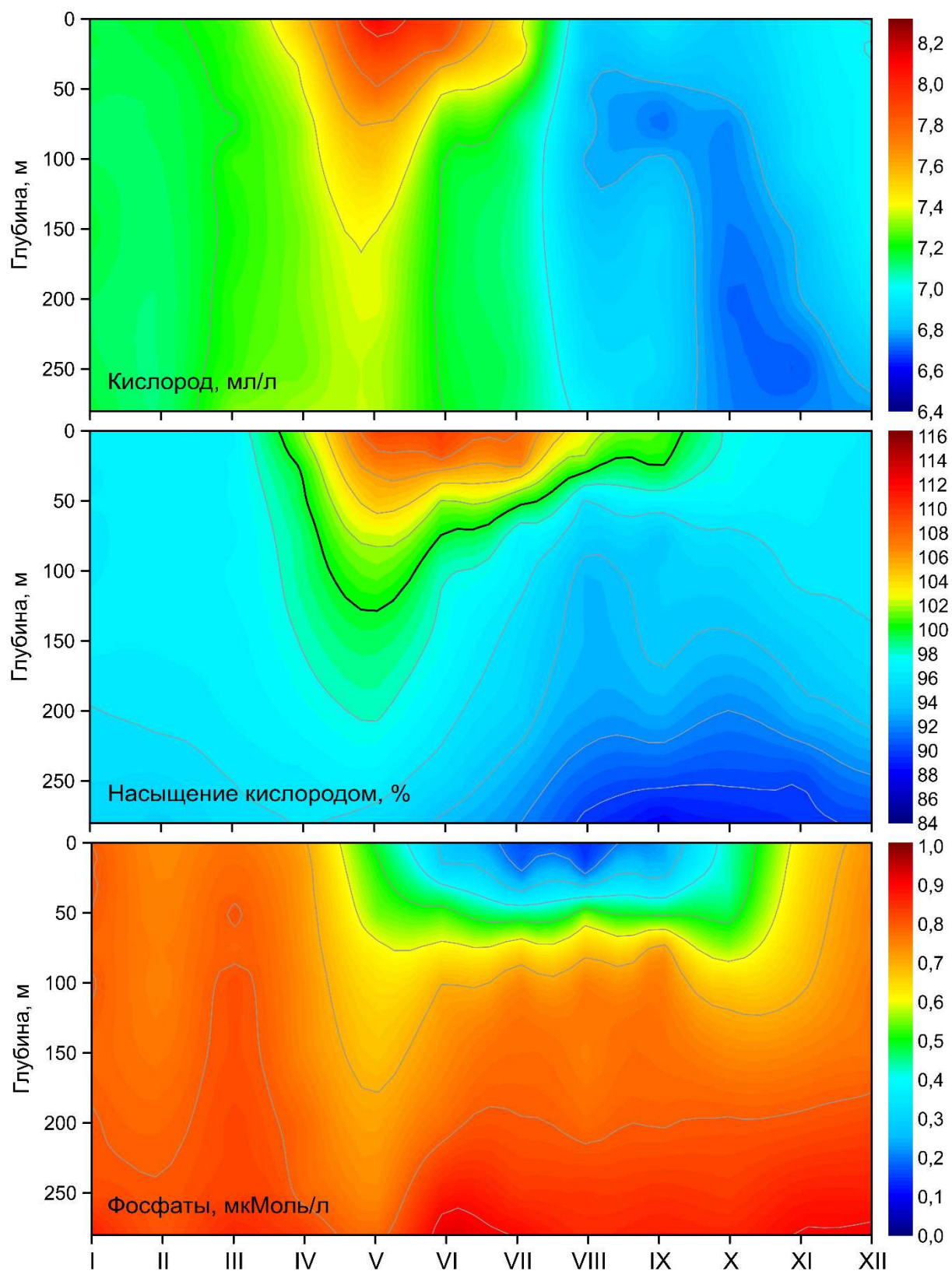


Рис. 2.2.22. Сезонная динамика среднееголетнего распределения кислорода и фосфатов на ст. 9 разреза «Кольский меридиан»

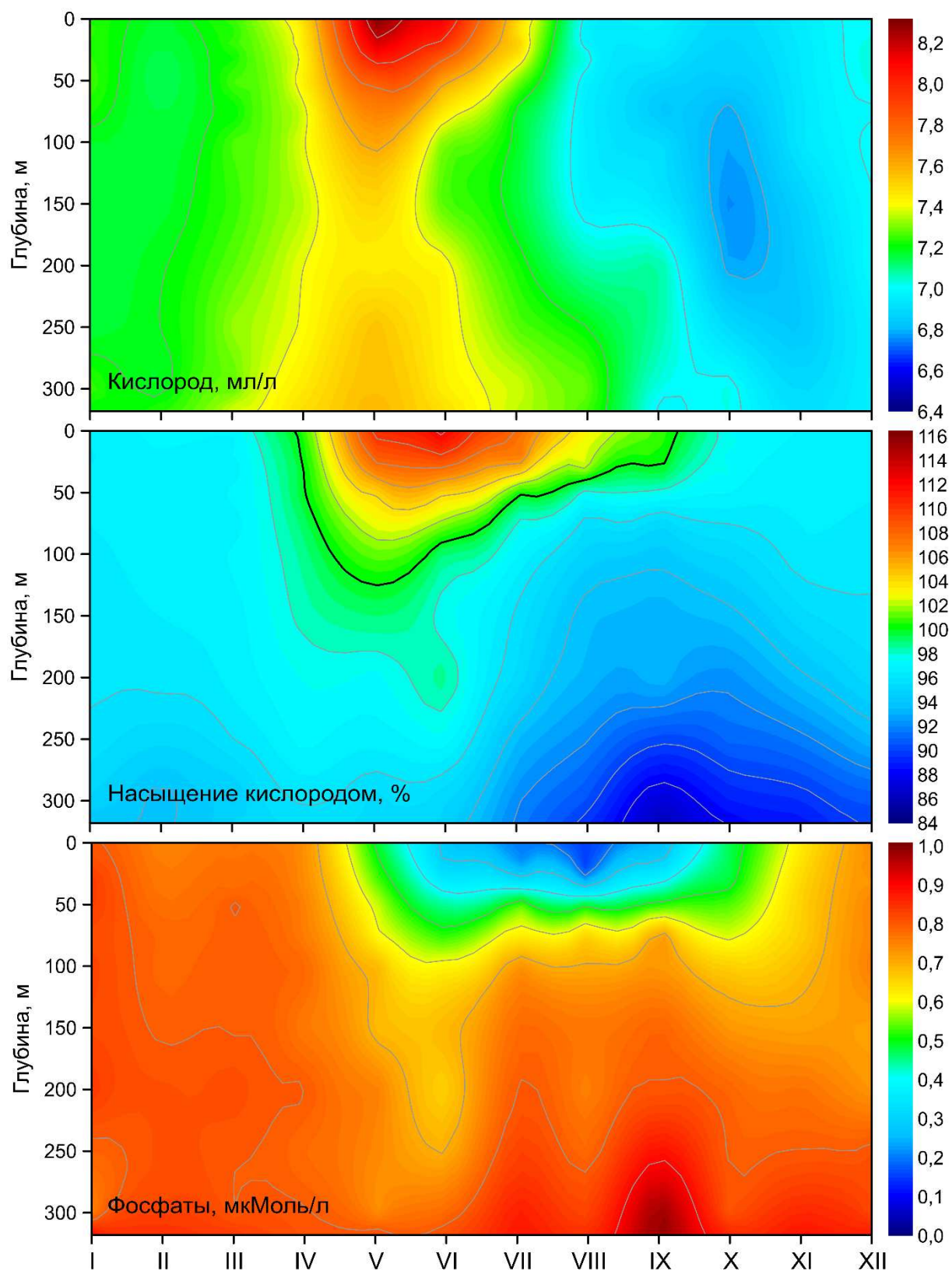


Рис. 2.2.23. Сезонная динамика среднееголетнего распределения кислорода и фосфатов на ст. 10 разреза «Кольский меридиан»

Далее рассмотрены сезонные изменения среднегодовое среднего взвешенного содержания кислорода и фосфатов в двух слоях (0–30 м и 100 м – дно) на трех участках разреза «Кольский меридиан»: Прибрежная и Основная ветви Мурманского и Центральная ветвь Нордкапского течений. Эти интегральные характеристики в целом отражают гидрохимические условия соответствующих водных масс.

Поскольку изменчивость гидрохимических параметров в глубинных и придонных водах существенно меньше, чем в фотическом слое, а в зимний период она в общем мала, сезонные экстремумы (минимум и максимум) могут длиться в течение 2 мес. и более, незначительно отличаясь по величине, что затрудняет их определение. Поэтому в целях более объективного выявления сроков наступления экстремумов растворенного кислорода и фосфатов в качестве минимальных (максимальных) значений принимались абсолютный минимум (максимум) и величины, которые отличались от него не более чем на 8 % (1/12) от размаха годового хода.

Сезонный ход среднегодовой концентрации кислорода в верхнем 30-метровом слое и глубже 100 м на трех участках разреза имеет по одному минимуму и максимуму. Размах ее сезонных колебаний в слое 0–30 м на разных станциях составляет 1,1–1,6 мл/л, что существенно выше, чем в слое 100 м – дно (0,6–1,0 мл/л), с наибольшими значениями в прибрежных водах для обоих слоев (табл. 2.2.1).

Таблица 2.2.1

Сроки наступления (месяц, над чертой) среднегодовых сезонных минимумов и максимумов (жирный шрифт) концентрации кислорода и их значения (мл/л, под чертой) на разрезе «Кольский меридиан»

Слой, м	Номер станции									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0–30	<u>VIII–XI</u> 6,61–6,73	<u>VIII–X</u> 6,59–6,68	<u>VIII–X</u> 6,63–6,69	<u>VIII–X</u> 6,68–6,71	<u>VIII–X</u> 6,67–6,71	<u>VIII–X</u> 6,71–6,77	<u>VIII–X</u> 6,81–6,86	<u>VIII–X</u> 6,88–6,93	<u>VIII–X</u> 6,85–6,90	<u>VIII–XI</u> 6,88–6,97
	<u>V</u> 8,22	<u>V</u> 7,98	<u>V</u> 8,08	<u>V</u> 8,07	<u>V</u> 7,99	<u>V</u> 8,07	<u>V</u> 8,08	<u>V–VI</u> 7,93–7,95	<u>V</u> 7,99	<u>V</u> 8,20
	<u>X–XI</u> 6,51–6,56	<u>X</u> 6,46	<u>X–XI</u> 6,62–6,64	<u>X–XI</u> 6,59–6,63	<u>X–XI</u> 6,59–6,62	<u>X–XI</u> 6,69–6,71	<u>X–XI</u> 6,73–6,77	<u>X</u> 6,79	<u>X</u> 6,73	<u>X–XI</u> 6,85–6,87
100–дно	<u>III–IV</u> 7,41–7,48	<u>III–V</u> 7,30–7,36	<u>IV–V</u> 7,26–7,28	<u>V</u> 7,18	<u>V</u> 7,17	<u>IV–V</u> 7,26–7,27	<u>V</u> 7,39	<u>V</u> 7,48	<u>V</u> 7,41	<u>V</u> 7,53

В верхнем 30-метровом слое максимум содержания кислорода (8,0–8,2 мл/л) на всем разрезе наступает в мае, когда интенсивность вегетации наивысшая (рис. 2.2.24, см. табл. 2.2.1, табл. 2.2.2). По мере летнего прогрева вод, развития процессов минерализации органического вещества и постепенного снижения интенсивности фотосинтеза содержание кислорода уменьшается, достигая минимальных за год значений (6,6–6,9 мл/л) в авгу-

сте–октябре. Причем в Центральной ветви Нордкапского течения концентрация заметно выше (6,9 мл/л), чем в Основной ветви Мурманского течения (6,7 мл/л) и прибрежных водах (6,6–6,7 мл/л). В последующие месяцы содержание кислорода медленно повышается за счет снижения интенсивности окислительных процессов, с одной стороны, и увеличения растворимости кислорода в результате понижения температуры поверхностных вод – с другой, а также благодаря аэрации вод в процессе осенне-зимнего конвективного перемешивания.

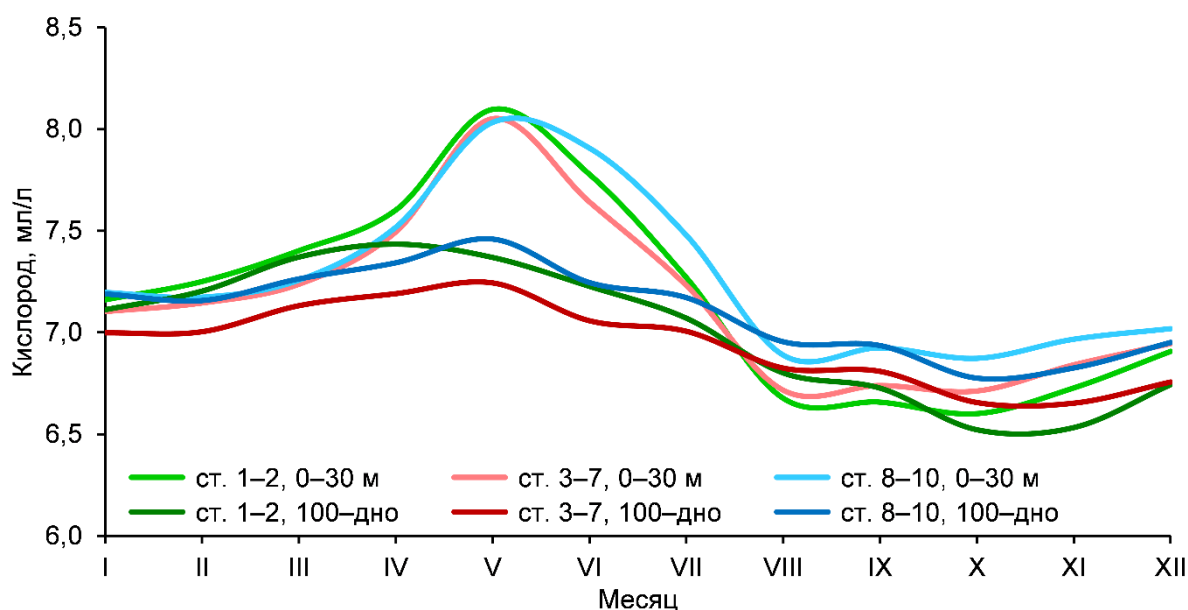


Рис. 2.2.24. Сезонный ход среднего многолетнего содержания растворенного в воде кислорода в слоях 0–30 м и 100 м – дно на разрезе «Кольский меридиан»

Таблица 2.2.2

Сроки наступления среднего многолетних сезонных максимумов и минимумов концентрации кислорода и их значения в слоях 0–30 м и 100 м – дно на разрезе «Кольский меридиан»

Слой, м	Сезонный максимум		Сезонный минимум	
	Месяц	O ₂ , мл/л	Месяц	O ₂ , мл/л
<i>Прибрежные воды (ст. 1–2)</i>				
0–30	Май	8,10	Август–октябрь	6,60–6,68
100–дно	Март–май	7,37–7,43	Октябрь–ноябрь	6,52–6,53
<i>Основная ветвь Мурманского течения (ст. 3–7)</i>				
0–30	Май	8,05	Август–октябрь	6,71–6,74
100–дно	То же	7,24	Октябрь–ноябрь	6,65–6,66
<i>Центральная ветвь Нордкапского течения (ст. 8–10)</i>				
0–30	Май	8,03	Август–октябрь	6,87–6,92
100–дно	То же	7,46	Октябрь–ноябрь	6,78–6,83

Сезонный максимум концентрации кислорода глубже 100 м наступает в мае, а в прибрежных водах – в марте–мае и составляет в среднем по всему слою 7,2–7,5 мл/л (см. рис. 2.2.24, см. табл. 2.2.1; 2.2.2). Затем она убывает, достигая сезонного минимума (6,5–6,8 мл/л) в октябре–ноябре, а после постепенно увеличивается вплоть до начала вегетации. В Центральной ветви Нордкапского течения минимум содержания кислорода (6,8 мл/л) выше, чем в Основной ветви Мурманского течения (6,6–6,7 мл/л) и прибрежных водах (6,5 мл/л). Запаздывание сезонного минимума в этом слое относительно верхнего связано с тем, что в осенний период в глубинных и придонных водах все еще продолжают активные окислительные процессы и происходит снижение растворимости кислорода за счет прогрева этих вод по причине запаздывания с глубиной сезонного максимума температуры [105].

Сезонный ход среднемноголетнего насыщения кислородом верхнего 30-метрового слоя и вод глубже 100 м на трех участках разреза имеет также по одному минимуму и максимуму. Размах его сезонных колебаний в слое 0–30 м на разных станциях составляет 12–14 %, что существенно выше, чем в слое 100 м – дно (5–6 %), без явно выраженной тенденции в изменениях значений вдоль разреза (табл. 2.2.3).

Таблица 2.2.3

Сроки наступления (месяц, над чертой) среднемноголетних сезонных минимумов и максимумов (жирный шрифт) насыщенности воды кислородом и их значения (% , под чертой) на разрезе «Кольский меридиан»

Слой, м	Номер станции									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0–30	XI–III	XI–III	X–III	X–III	XI–III	XI–III	XI–III	XI–III	XI–III	X–III
	96,1–97,1	96,7–97,6	96,9–97,6	96,9–97,8	97,0–97,5	96,7–97,4	96,7–97,4	96,2–97,2	96,4–97,0	96,5–97,5
	V 110,2	V–VI 108,4–109,6	V 109,8	V 110,1	V 109,2	V 110,1	V 110,1	VI 108,7	V–VI 107,9–108,6	VI 110,5
100–дно	VIII, X–XI	X	X	X–XI	X	VIII, X–XI	VIII, X	VIII, X	VIII, X	IX
	92,1–92,5	92,5	91,0	91,2–91,4	91,9	92,0–92,3	91,3–91,4	90,8–91,3	92,3–92,4	91,6
	IV 97,7	IV–V 98,0–98,2	IV–V 97,1–97,3	IV–V 96,7–97,0	V 96,9	IV 97,2	IV–V 97,3–97,5	IV–V 96,5–96,9	V 98,5	IV–VI 97,5–97,7

В верхнем 30-метровом слое максимум насыщения воды кислородом (108–111 %) наступает в основном в мае и только в Центральной ветви Нордкапского течения, где процессы вегетации немного запаздывают, – в июне (рис. 2.2.25, см. табл. 2.2.3, табл. 2.2.4). В летне-осенний период относительное содержание кислорода постепенно снижается. Его сезонный минимум (96–97 %) приходится на ноябрь–март, наступая позже и продолжаясь дольше, вплоть до начала вегетации, по сравнению с абсолютным содержанием кислорода.

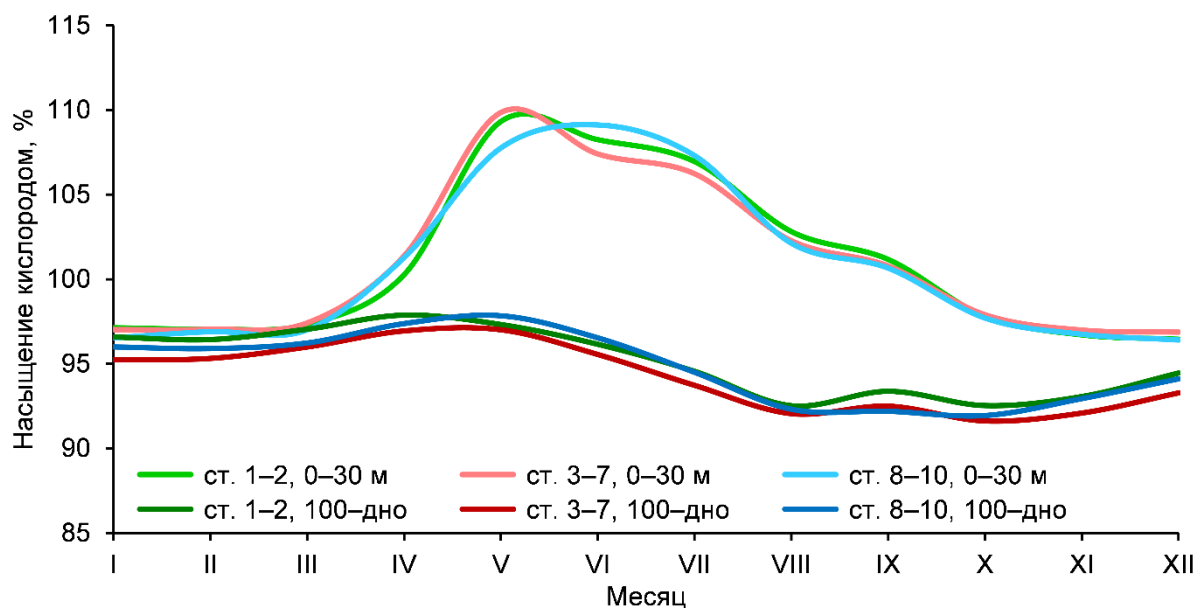


Рис. 2.2.25. Сезонный ход среднегодовой насыщенности воды кислородом в слоях 0–30 м и 100 м – дно на разрезе «Кольский меридиан»

Таблица 2.2.4

Сроки наступления среднегодовых сезонных максимумов и минимумов насыщенности воды кислородом и их значения в слоях 0–30 м и 100 м – дно на разрезе «Кольский меридиан»

Слой, м	Сезонный максимум		Сезонный минимум	
	Месяц	O ₂ , %	Месяц	O ₂ , %
<i>Прибрежные воды (ст. 1–2)</i>				
0–30	Май	109,3	Ноябрь–март	96,5–97,3
100–дно	Апрель	97,9	Август, октябрь	92,5
<i>Основная ветвь Мурманского течения (ст. 3–7)</i>				
0–30	Май	109,8	Ноябрь–март	96,9–97,4
100–дно	Апрель–май	96,9–97,0	Октябрь	91,6
<i>Центральная ветвь Нордкапского течения (ст. 8–10)</i>				
0–30	Июнь	109,1	Ноябрь–март	96,4–97,0
100–дно	Апрель–май	97,4–97,8	Август–октябрь	91,9–92,3

В слое 100 м – дно сезонный максимум насыщения воды кислородом наступает в апреле–мае, в прибрежных водах – преимущественно в апреле, составляя в среднем по всему слою 97–98 % (см. рис. 2.2.25, см. табл. 2.2.3; 2.2.4). Потом насыщение убывает, достигая сезонного минимума (91–92 %) в основном с августа по октябрь, а после медленно увеличивается в направлении сезонного максимума. В силу того, что насыщение кислородом вод глубже 100 м слабо изменяется в течение года, его экстремумы, особенно минимум, менее выражены по сравнению с верхним слоем.

Сезонный ход среднемноголетней концентрации фосфатов в верхнем 30-метровом слое и глубже 100 м на трех участках разреза имеет по одному минимуму и максимуму. Размах ее сезонных колебаний в слое 0–30 м на разных станциях составляет 0,5–0,7 μM (с увеличением значений с юга на север), что гораздо выше, чем в слое 100 м – дно (0,1–0,2 μM) (табл. 2.2.5). Сезонная динамика фосфатов отчетливо выражена лишь в верхнем 30-метровом слое, глубже 100 м она значительно слабее, что делает выделение годового хода мало результативным и нецелесообразным, так как межгодовая изменчивость в глубинных и придонных водах оказывается сопоставимой с внутригодовой или даже превосходит ее.

Таблица 2.2.5

Сроки наступления (месяц, над чертой) среднемноголетних сезонных минимумов и максимумов (жирный шрифт) концентрации фосфатов и их значения (μM , под чертой) на разрезе «Кольский меридиан»

Слой, м	Номер станции									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0–30	<u>VI–VIII</u>	<u>VII–VIII</u>	<u>VII–VIII</u>	<u>VII–VIII</u>	<u>VII–VIII</u>	<u>VII–VIII</u>	<u>VII–VIII</u>	<u>VII–VIII</u>	<u>VII–VIII</u>	<u>VIII</u>
	0,18–0,21	0,17–0,21	0,13–0,16	0,15–0,17	0,17	0,17–0,20	0,17–0,18	0,15–0,20	0,17–0,19	0,16
	I, III	I, III	I, III	I, III	I, III	I, III	I, III	I, III	I, III	I, III
100–дно	<u>0,63–0,65</u>	<u>0,66–0,67</u>	<u>0,68</u>	<u>0,69–0,70</u>	<u>0,71–0,73</u>	<u>0,74–0,76</u>	<u>0,75–0,77</u>	<u>0,77–0,81</u>	<u>0,78–0,80</u>	<u>0,77–0,82</u>
	<u>II, VI</u>	<u>VI, XI</u>	<u>VI</u>	<u>V–VI</u>	<u>V</u>	<u>VI</u>	<u>V–VI</u>	<u>VI</u>	<u>V</u>	<u>VI</u>
	0,60	0,61–0,62	0,65	0,68–0,69	0,73	0,67	0,73	0,74	0,70	0,69
	<u>VIII</u>	<u>VIII</u>	<u>VIII–IX</u>	<u>IX</u>	<u>IX</u>	<u>IX</u>	<u>IX</u>	<u>IX</u>	<u>III, XII</u>	<u>IX</u>
	0,70	0,76	0,79	0,86	0,83	0,91	0,88	0,88	0,82	0,84

В верхнем 30-метровом слое максимум концентрации минерального фосфора (0,7–0,8 μM) на всем разрезе наступает в январе и марте (с увеличением значений с юга на север), когда данный слой становится максимально насыщенным фосфатами за счет осенне-зимней конвекции, доставляющей фосфаты из богатых ими глубинных и особенно придонных вод в поверхностные, а также за счет регенерации биогенных веществ (рис. 2.2.26, см. табл. 2.2.5, табл. 2.2.6). Следует отметить, что отсутствие максимума в феврале – исключительно методологический артефакт, в действительности в этот месяц наблюдается третий максимум после января и марта, но он отличается от абсолютного более чем на 8 % от размаха годового хода и поэтому не упоминается в качестве экстремума. В весенне-летний период по мере потребления фосфатов в процессе фотосинтетической деятельности фитопланктона их содержание постепенно уменьшается, достигая минимальных за год значений (0,2 μM) в июле–августе. В осенне-зимний период (наиболее заметно осенью) концентрация минерального фосфора увеличивается в результате развития процессов минерализации органического вещества, затухания (а несколько позже и отсутствия) фотосинтеза, а также за

счет поступления биогенных веществ из более глубоких слоев в верхние по мере развития конвективного перемешивания.

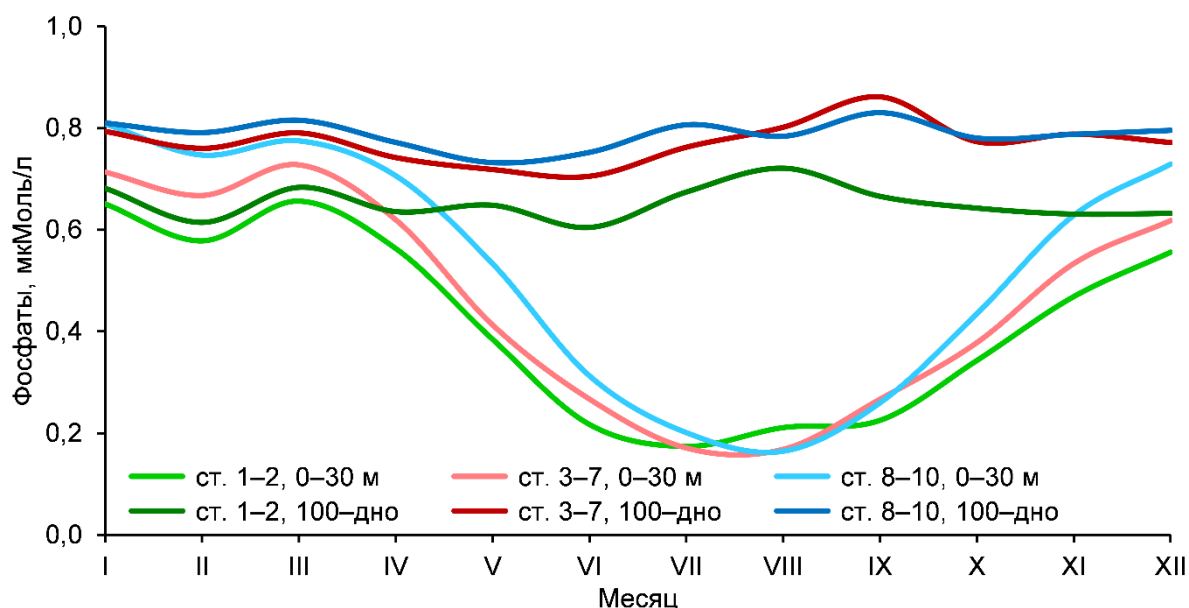


Рис. 2.2.26. Сезонный ход среднегодового содержания фосфатов в слоях 0–30 м и 100 м – дно на разрезе «Кольский меридиан»

Таблица 2.2.6

Сроки наступления среднегодовых сезонных максимумов и минимумов концентрации фосфатов и их значения в слоях 0–30 м и 100 м – дно на разрезе «Кольский меридиан»

Слой, м	Сезонный максимум		Сезонный минимум	
	Месяц	PO ₄ , μM	Месяц	PO ₄ , μM
<i>Прибрежные воды (ст. 1–2)</i>				
0–30	Январь, март	0,65–0,66	Июль–август	0,17–0,21
100–дно	Август	0,72	Июнь	0,60
<i>Основная ветвь Мурманского течения (ст. 3–7)</i>				
0–30	Январь, март	0,71–0,73	Июль–август	0,17
100–дно	Сентябрь	0,86	Июнь	0,71
<i>Центральная ветвь Нордкапского течения (ст. 8–10)</i>				
0–30	Январь, март	0,78–0,81	Июль–август	0,16–0,20
100–дно	Сентябрь	0,83	Май	0,73

Глубже 100 м сезонный ход концентрации фосфатов выражен гораздо слабее по сравнению с поверхностным слоем. Максимальные значения концентрации отмечаются в августе в прибрежных водах (в среднем по слою 0,7–0,8 μM) и сентябре на остальной части разреза (0,8–0,9 μM), когда активно идут процессы разложения органического вещества (см. рис. 2.2.26, см. табл. 2.2.5; 2.2.6). Затем содержание минерального фосфора убывает и с

середины осени до начала весны изменяется слабо, достигая наименьших значений ($0,6 \mu\text{M}$ в прибрежных водах и $0,7 \mu\text{M}$ на остальной части разреза) преимущественно в мае–июне. Малая изменчивость содержания фосфатов в холодный сезон, скорее всего, обусловлена действием двух разнонаправленных факторов: с одной стороны, регенерацией минерального фосфора, продолжающейся в глубинных и придонных водах, а с другой – его перераспределением по вертикали (перенос в верхние слои) за счет конвективного перемешивания. Летом из-за устойчивой стратификации вод конвекция отсутствует, поэтому прекращается поступление фосфатов из глубинных слоев в фотический, что совместно с активизирующимися процессами минерализации оседающего из верхнего слоя новообразованного органического вещества способствует постепенному восстановлению запаса минерального фосфора глубже 100 м.

Рис. 2.2.27–2.2.29 дополняют уже отмеченные особенности сезонной изменчивости растворенного кислорода и минерального фосфора на разрезе «Кольский меридиан», наглядно показывая изменения величин их сезонных максимумов и минимумов не только с глубиной, но и в направлении с юга на север. В поверхностных водах на всем разрезе отчетливо виден, с ярко выраженными экстремумами, годовой ход этих параметров. С глубиной их сезонная изменчивость заметно уменьшается, и в придонных водах становится крайне мала, особенно в отношении минерального фосфора. В направлении от поверхности до дна также происходит монотонное убывание содержания кислорода и степени насыщения им вод, тогда как концентрация фосфатов, наоборот, постепенно растет, достигая у дна наибольших значений.

Максимум содержания кислорода происходит почти на всем разрезе и во всей толще воды в мае и только в глубинных слоях прибрежных вод на 1–2 мес. раньше, тогда как минимум запаздывает с глубиной, наступая на поверхности в августе–октябре, а у дна – в октябре–декабре (см. рис. 2.2.27).

Максимум насыщенности воды кислородом также отмечается на всем разрезе и во всей толще практически одновременно, преимущественно в мае, лишь в придонных водах на 1 мес. раньше, а в верхнем слое Центральной ветви Нордкапского течения – на 1 мес. позже (см. рис. 2.2.28). Тогда как ее минимум в поверхностном слое отмечается в холодный период года (ноябрь–март), а глубже фотической зоны – в конце лета и осенью, становясь с глубиной все более выраженным.

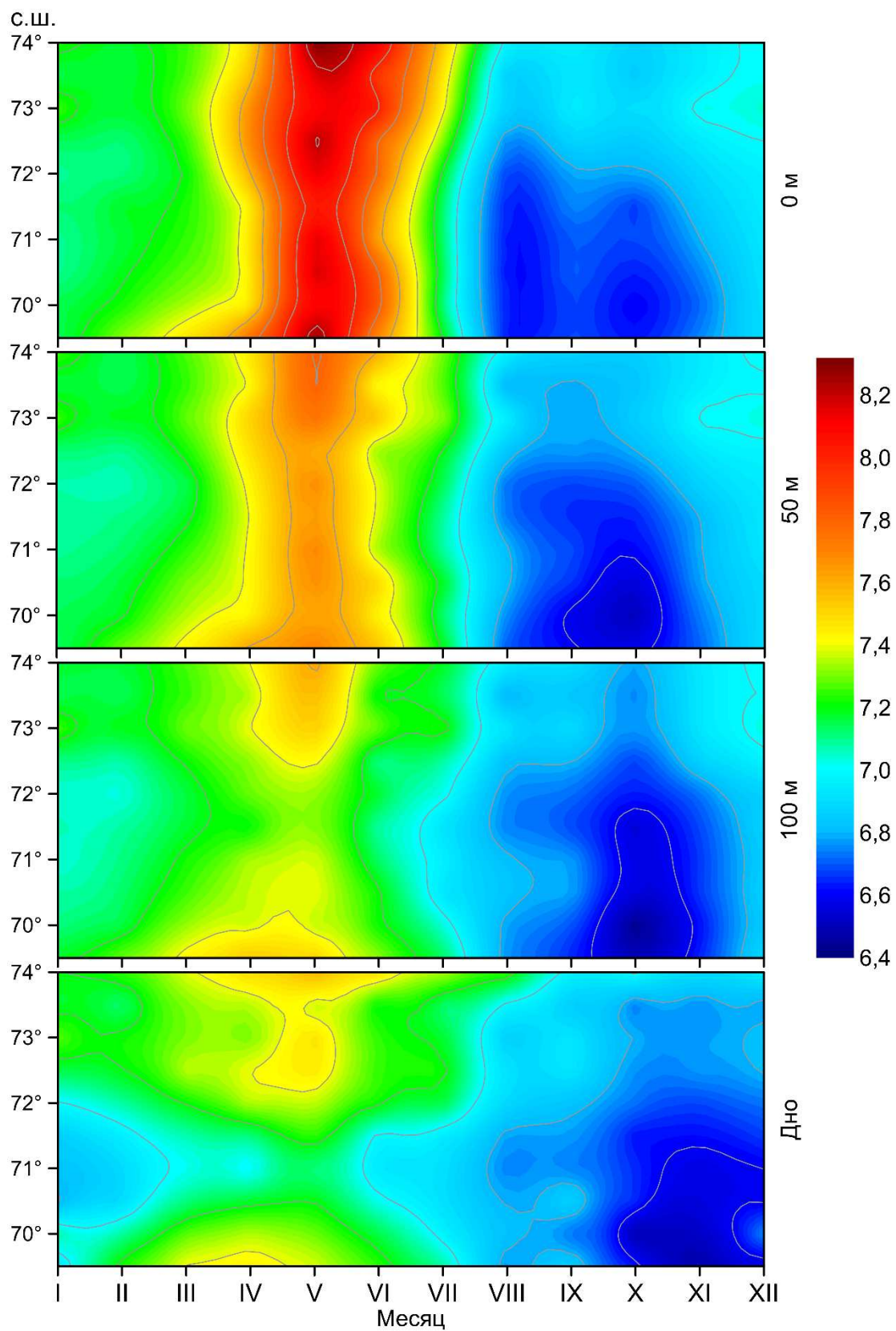


Рис. 2.2.27. Сезонная динамика среднееголетнего распределения кислорода (мл/л) на разрезе «Кольский меридиан» на горизонтах 0, 50, 100 м и у дна

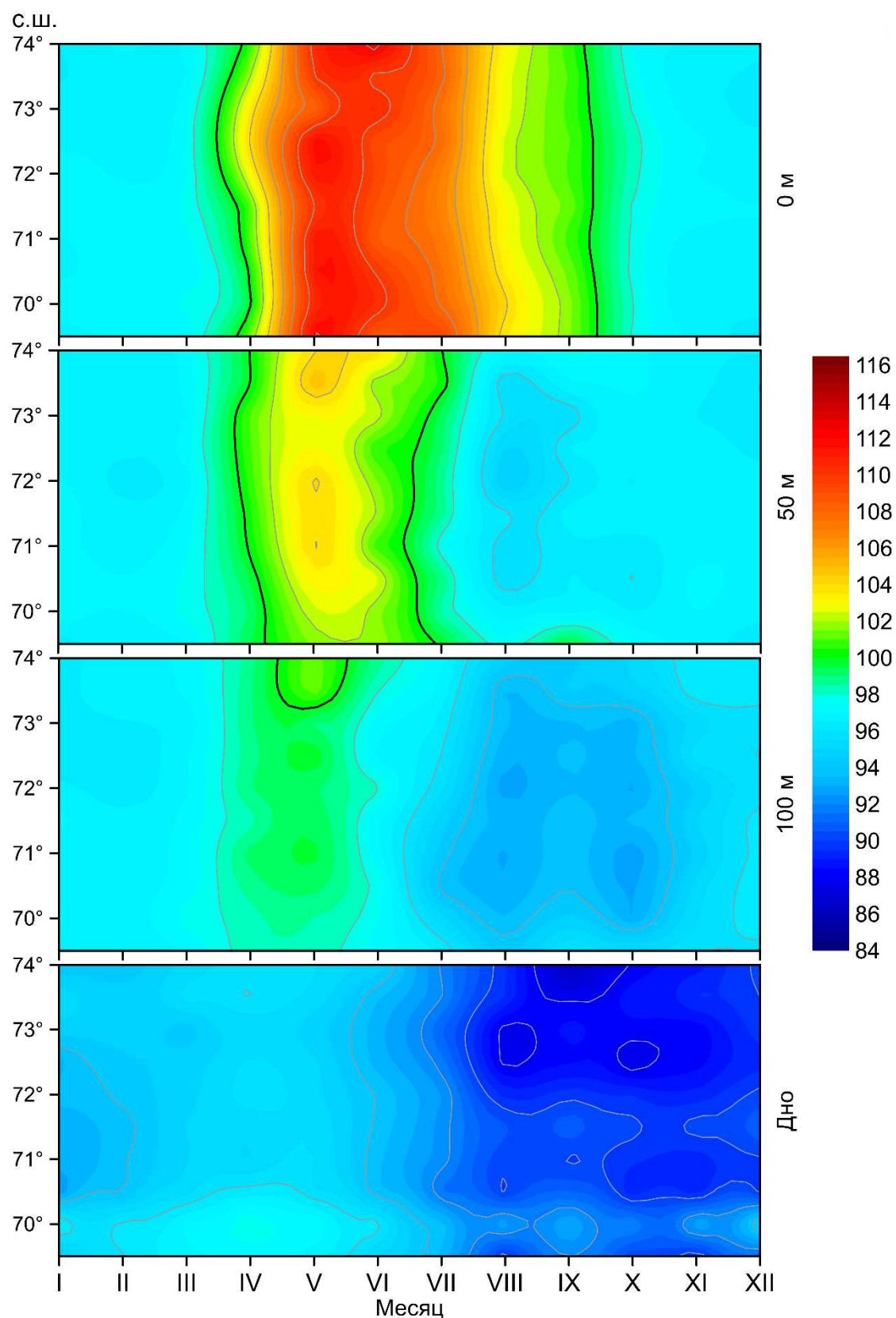


Рис. 2.2.28. Сезонная динамика среднееголетнего распределения насыщенности воды кислородом (%) на разрезе «Кольский меридиан» на горизонтах 0, 50, 100 м и у дна

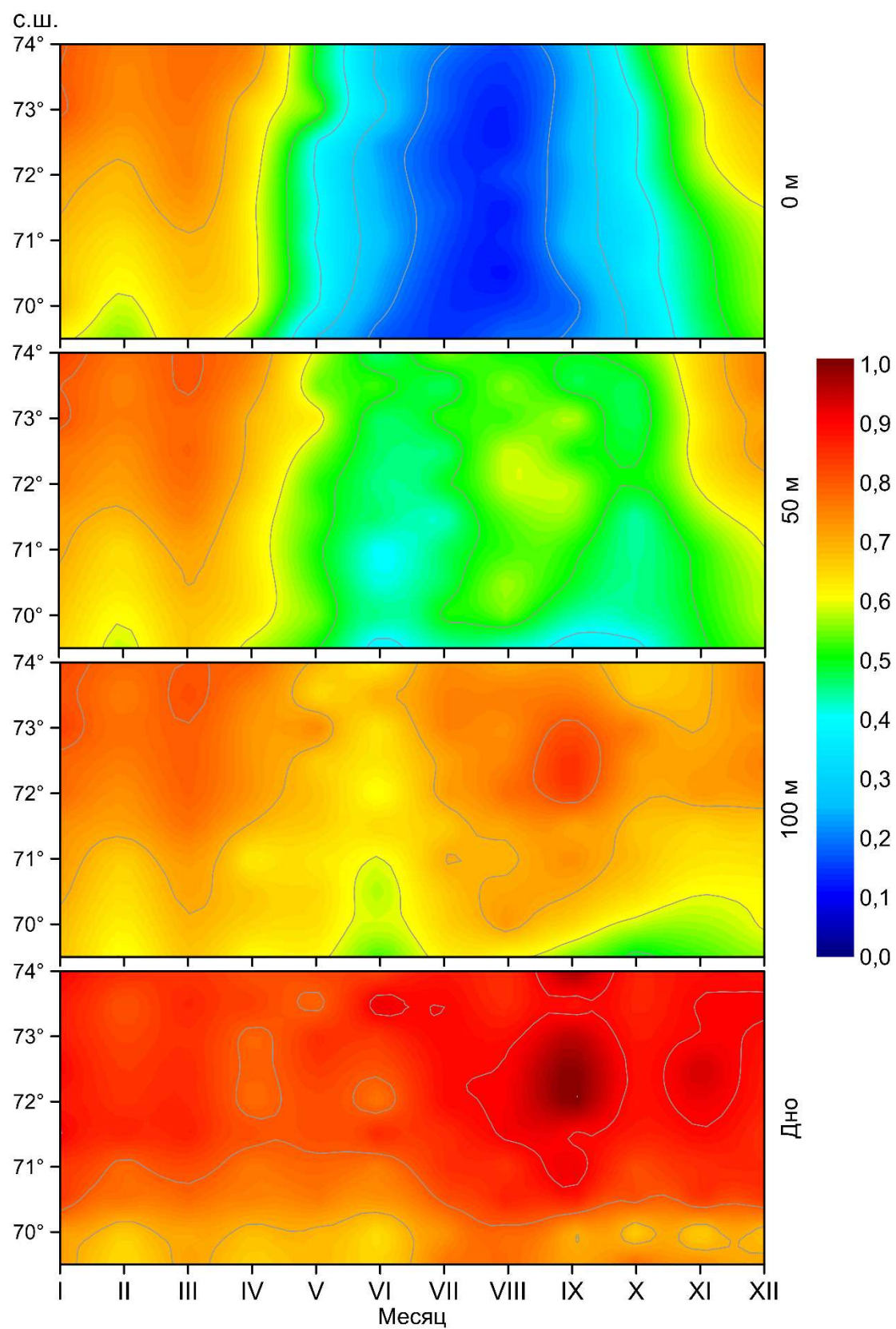


Рис. 2.2.29. Сезонная динамика среднееголетнего распределения фосфатов (μM) на разрезе «Кольский меридиан» на горизонтах 0, 50, 100 м и у дна

Для фосфатов на всех горизонтах хорошо заметна тенденция к росту концентрации в северном направлении (см. рис. 2.2.29), при этом ее сезонная изменчивость в глубинных и особенно придонных водах крайне мала, что затрудняет выделение там сезонных экстремумов. В поверхностных водах максимум содержания минерального фосфора наступает одновременно на всем разрезе – в январе и марте, как и минимум – в июле–августе.

Важным параметром гидрохимического режима моря является толщина (глубина нижней границы) слоя фотосинтеза (фотической зоны), поскольку она тесно связана с объемом первичной продукции, создаваемой фитопланктоном, и следовательно, с биологической продуктивностью моря [69]. Фотическая зона – освещаемая солнцем верхняя толща воды, в которой протекает фотосинтез, простирающаяся до глубины, где продукция кислорода за счет фотосинтеза равна его затратам на дыхание фитопланктона [162]. Эта глубина называется компенсационной, количество проникающей сюда солнечной радиации составляет 0,1, или 1 % от наблюдаемой на поверхности [167]. Компенсационная глубина (нижняя граница слоя фотосинтеза) часто идентифицируется по нулевому дефициту кислорода, т.е. по 100 %-ному насыщению им вод [69].

Толщина слоя, пересыщенного кислородом, подвержена значительной сезонной динамике (рис. 2.2.30, табл. 2.2.7). С октября по март на всем разрезе отмечается дефицит кислорода, насыщенность им вод не превышает 100 %. В апреле, в начале вегетации, вертикальная протяженность фотической зоны варьирует от 23 до 29 м в Прибрежной ветви Мурманского (ст. 1, 3, на ст. 2 в это время еще сохраняется незначительный дефицит кислорода) и Центральной ветви Нордкапского (ст. 9, 10) течений, до 65–86 м в Основной ветви Мурманского течения. В мае 100 %-ная изооксигена почти на всем разрезе максимально заглубляется до 67–87 м, а в северной части (Центральная ветвь Нордкапского течения) – до 128–132 м. С сокращением интенсивности вегетации уменьшается толщина слоя, в котором продукционные процессы преобладают над окислительными. В июне почти на всех станциях глубина залегания 100 %-ной изооксигены уменьшается до 54–68 м, а на двух самых северных станциях – до 72–89 м. В июле она поднимается до 40–53 м (толщина слоя фотосинтеза составляет в среднем по разрезу 46 м), в августе и сентябре – еще выше и залегает на минимальных за сезон глубинах около 30 м.

Считается [69], что содержание минерального фосфора надежнее отражает уровень и направленность процессов продуцирования первичного органического вещества, чем насыщенность воды кислородом. Стартовые концентрации фосфатов (сезонный максимум) в поверхностных водах формируются на разрезе в марте – в конце гидрологической зимы, их средне-многолетние значения варьируют от 0,65 до 0,78 μM , монотонно возрастают

с юга на север (табл. 2.2.8). Если рассматривать конкретные годы, то разброс будет больше: от 0,48 до 0,96 μM , при этом формирование зимнего запаса биогенных веществ во многом определяется суровостью минувшей зимы [69], которая прямо влияет на интенсивность и глубину проникновения конвективного перемешивания, обеспечивающего доставку питательных солей из придонных вод, богатых ими, в поверхностные.

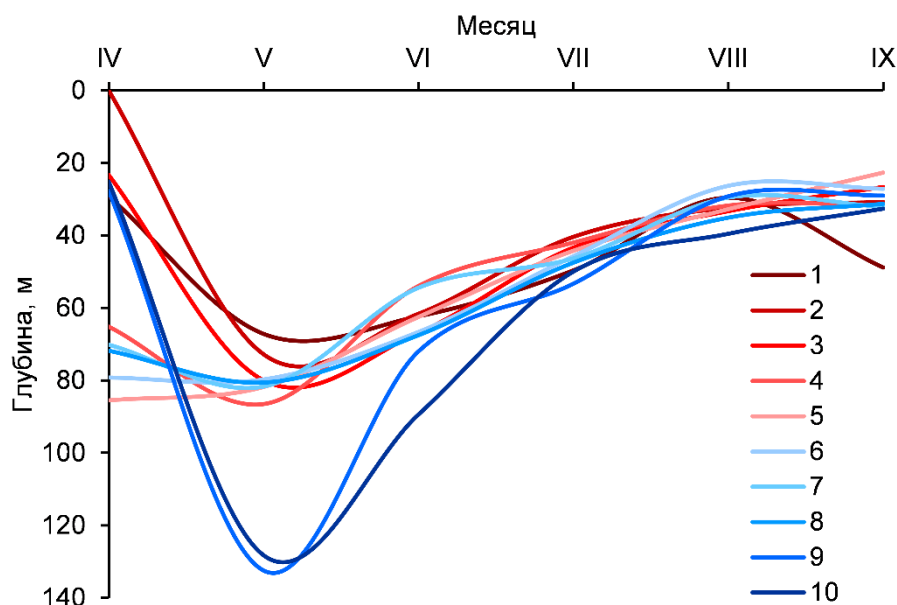


Рис. 2.2.30. Среднемноголетний годовое ход глубины залегания 100 %-ной изоксигены на ст. 1–10 разреза «Кольский меридиан»

Таблица 2.2.7

Среднемноголетняя глубина (м) залегания 100 %-ной изоксигены на разрезе «Кольский меридиан»

Номер станции	Месяц											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1	–	–	–	29	67	62	50	30	49	–	–	–
2	–	–	–	–	73	62	40	32	31	–	–	–
3	–	–	–	23	80	67	43	33	27	–	–	–
4	–	–	–	65	87	54	42	32	32	–	–	–
5	–	–	–	86	82	63	44	33	23	–	–	–
6	–	–	–	79	80	67	46	26	27	–	–	–
7	–	–	–	70	82	54	46	30	32	–	–	–
8	–	–	–	72	81	68	48	35	31	–	–	–
9	–	–	–	28	132	72	53	29	29	–	–	–
10	–	–	–	25	128	89	50	40	33	–	–	–

Цветение фитопланктона почти везде начинается в апреле и лишь на ст. 2 и 10 запаздывает на месяц, при этом средняя по разрезу скорость изъятия фосфатов составляет 0,09 $\mu\text{M}/\text{мес.}$ (см. табл. 2.2.8). В мае, в период

наиболее активной вегетации, скорость потребления минерального фосфора достигает максимальных значений (в среднем 0,21 $\mu\text{M}/\text{мес.}$). Впоследствии, по мере уменьшения интенсивности фотосинтетической деятельности, она постепенно понижается до 0,17, 0,09 и 0,04 $\mu\text{M}/\text{мес.}$ в июне, июле и августе соответственно. Уже в августе на некоторых станциях разреза поступление минерального фосфора в поверхностные воды в результате его регенерации становится сопоставимым с его потреблением фитопланктоном или даже начинает преобладать над ним. В целом за вегетационный период скорость изъятия фосфатов варьирует на разных станциях от 0,11 до 0,15 $\mu\text{M}/\text{мес.}$, составляя в среднем по разрезу 0,13 $\mu\text{M}/\text{мес.}$, а их убыль за сезон – от 0,51 до 0,64 μM с тенденцией к увеличению объема потребления от южных станций к северным.

Таблица 2.2.8

Сроки формирования стартовых концентраций фосфатов и скорость их изъятия из поверхностных вод на разрезе «Кольский меридиан»

Номер станции	Формирование стартовой концентрации фосфатов		Скорость потребления фосфатов по месяцам, * $\mu\text{M}/\text{мес.}$					Месяц начала цветения фитопланктона	Общее изъятие фосфатов, μM^{**}
	Месяц	μM	IV	V	VI	VII	VIII		
1	III	0,65	0,12	0,24	0,12	0,03	–	IV	0,51 (4)
2	III	0,66	0,04	0,21	0,19	0,08	–	V	0,52 (4)
3	III	0,68	0,07	0,20	0,17	0,09	0,03	IV	0,57 (5)
4	III	0,69	0,08	0,23	0,12	0,11	0,02	IV	0,56 (5)
5	III	0,73	0,12	0,20	0,16	0,07	0,06	IV	0,61 (5)
6	III	0,76	0,13	0,24	0,14	0,09	–	IV	0,60 (4)
7	III	0,76	0,12	0,24	0,17	0,08	0,03	IV	0,63 (5)
8	III	0,77	0,13	0,09	0,23	0,15	0,05	IV	0,64 (5)
9	III	0,78	0,06	0,23	0,21	0,10	0,03	IV	0,63 (5)
10	III	0,78	0,03	0,26	0,21	0,08	0,05	V	0,62 (5)

*Месяц, в котором наблюдается убыль фосфатов по сравнению с предыдущим.

**В скобках дана продолжительность периода изъятия фосфатов, мес.

Межгодовая изменчивость содержания кислорода и фосфатов.

При анализе гидрохимических условий, помимо сезонных изменений, следует также рассматривать и межгодовые, которые способны приводить к различиям в сезонном ходе гидрохимических параметров от года к году. При этом иногда межгодовые колебания могут вносить более существенный вклад в итоговую изменчивость, чем внутригодовые. Например, в верхнем (фотическом) слое размах сезонных колебаний среднегодовых значений содержания растворенного в воде кислорода и фосфатов превышает размах межгодовых колебаний их среднегодовых значений. Глубже 100 м для кислорода эти показатели сопоставимы друг с другом, а для фосфатов межгодовой размах значительно превышает сезонный, что свидетельствует

о доминирующем вкладе межгодовых колебаний в общую изменчивость содержания минерального фосфора в глубинных слоях.

Как уже отмечалось выше, на практике обычно более востребованы и удобны в использовании интегральные характеристики, а именно средние по слоям и участкам разреза величины. Поэтому для анализа межгодовой изменчивости гидрохимических условий на разрезе «Кольский меридиан» далее будут использованы среднегодовые средневзвешенные концентрации кислорода и фосфатов, а также их аномалии в слоях 0–30 м и 100 м – дно Основной ветви Мурманского течения (ст. 3–7) за 1961–2020 гг. Этот участок разреза выбран из-за того, что через него проходит основной поток атлантических вод, следующих из Норвежского моря в Баренцево.

Поскольку многолетние изменения содержания кислорода и биогенных веществ тесно связаны с изменениями температуры воды [69, 82], далее эти параметры мы будем рассматривать совместно.

В изменениях температуры Основной ветви Мурманского течения на разрезе «Кольский меридиан» в 1961–2020 гг. можно выделить два крупных периода: холодный с 1961 по 1988 г. и теплый с 2000 по 2020 г., а также переходное десятилетие с 1989 по 1999 г., когда после холодного периода следовали теплые годы (1989–1992), а затем снова холодные (1994 и 1996–1998) или близкие к нормальным (рис. 2.2.31). Самая низкая температура (ниже нормы на 0,8 °C и более) наблюдалась в 1963, 1966, 1978, 1979, 1981 и 1987 гг., а самая высокая (выше нормы на 0,8 °C и более) – в 2006, 2007, 2012, 2013 и 2015–2018 гг. В ее изменениях также присутствует значимый положительный тренд, величина которого растет от 0,02 °C/год во всей толще воды до 0,04 °C/год в верхнем слое и 0,05 °C/год в глубинном при уменьшении длины ряда от 60 (1961–2020 гг.) до 24–28 лет (1993–2020 и 1997–2020 гг.) (рис. 2.2.32). Затем тренд резко уменьшается и начиная с 2012 г. в обоих слоях намечается тенденция к снижению температуры.

По содержанию растворенного кислорода также можно выделить два крупных периода: 1961–1988 гг. с преобладанием положительных аномалий (в среднем 0,1 мл/л) и 2000–2020 гг. – отрицательных (–0,1 мл/л) (см. рис. 2.2.31), тогда как в переходный период с 1989 по 1999 г. отмечалось чередование концентраций кислорода выше/ниже нормы и близких к ней с преобладанием в слое 0–30 м отрицательных аномалий. С 1960–80-х годов по 2000–10-е годы содержание кислорода снизилось в среднем с 7,3 до 7,1 мл/л в поверхностных водах и с 7,0 до 6,8 мл/л глубже 100 м. Аномально высокие концентрации в верхнем 30-метровом слое отмечены в 1966, 1969 и 1971 гг. (7,5–7,6 мл/л), а в слое 100 м – дно – в 1966, 1978 и 1979 гг. (7,2–7,3 мл/л). Аномально низкие концентрации в этих слоях наблюдались в 2015, 2016, 2019 гг. (6,8–6,9 мл/л) и 2012, 2016, 2019 гг. (6,6–6,7 мл/л). В изменениях содержания кислорода также выявлен статистически значимый тренд,

только отрицательный, при этом его величина слабо меняется при сокращении длины ряда, составляя $-0,006 \dots -0,008$ мл/л за год (рис. 2.2.33).

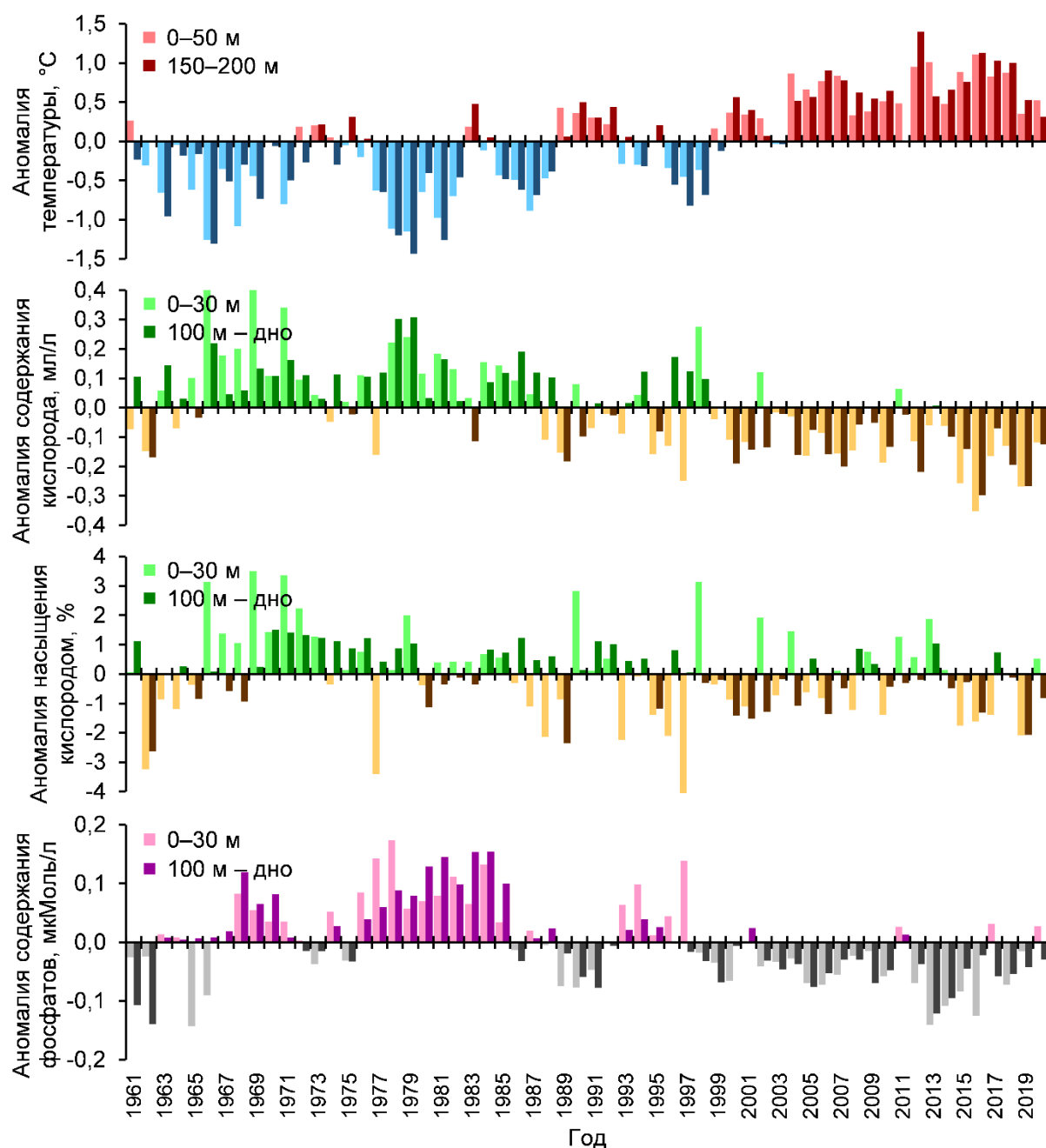


Рис. 2.2.31. Среднегодовые аномалии температуры воды, содержания растворенного кислорода и фосфатов в верхнем и нижнем слоях на разрезе «Кольский меридиан» (ст. 3–7) в 1961–2020 гг.

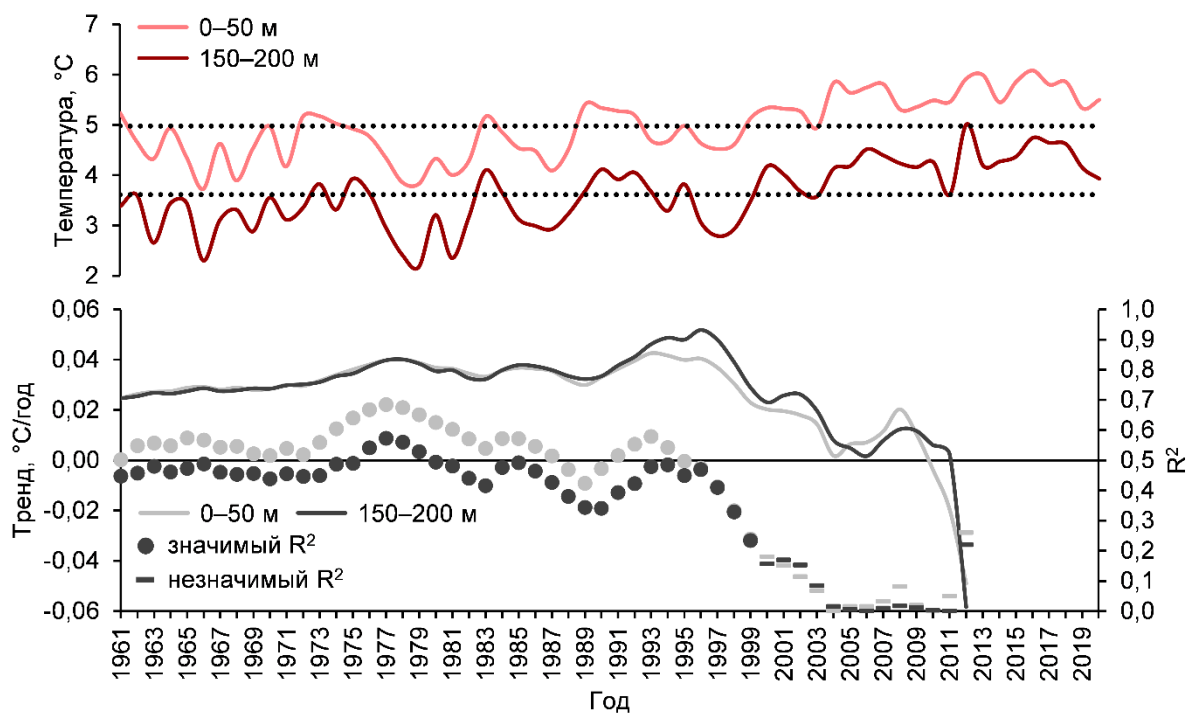


Рис. 2.2.32. Среднегодовая температура воды, величина тренда и его коэффициент детерминации (R^2) в слоях 0–50 м и 150–200 м на разрезе «Кольский меридиан» (ст. 3–7) в 1961–2020 гг. Для графика трендов год на оси абсцисс соответствует началу ряда, для которого рассчитывался тренд

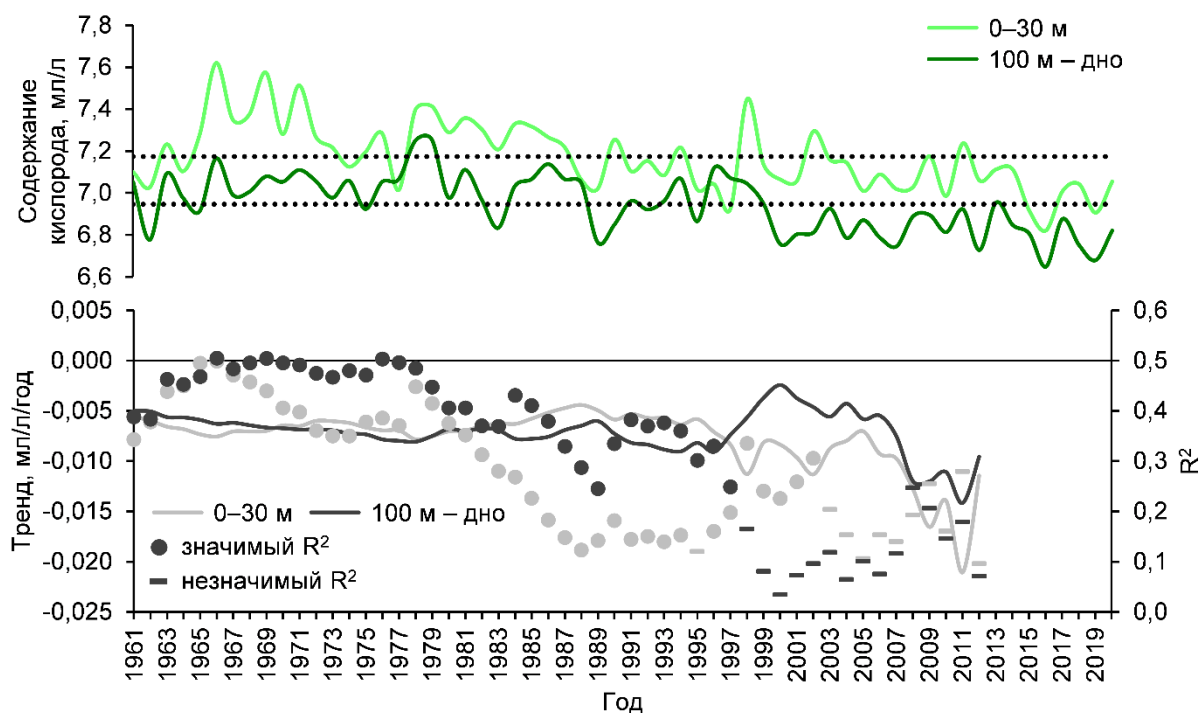


Рис. 2.2.33. Среднегодовое содержание растворенного в воде кислорода, величина тренда и его коэффициент детерминации (R^2) в слоях 0–30 м и 100 м – дно на разрезе «Кольский меридиан» (ст. 3–7) в 1961–2020 гг. Для графика трендов год на оси абсцисс соответствует началу ряда, для которого рассчитывался тренд

Размах межгодовых колебаний содержания кислорода в верхнем слое составляет 0,8 мл/л, что в 1,7 раза меньше размаха сезонных колебаний (1,4 мл/л). Глубже 100 м эти два параметра равны (0,6 мл/л), что свидетельствует о соизмеримости вкладов межгодовых и внутригодовых изменений в общую изменчивость концентрации кислорода в глубинных слоях.

Как упоминалось выше, содержание в воде кислорода тесно связано с температурой, что обусловлено ее влиянием на растворимость кислорода: чем теплее вода, тем меньше кислорода способно в ней раствориться. Поэтому его содержание в теплые 2000–2020 гг. было пониженным. В слое 0–30 м коэффициент корреляции (r) между концентрацией кислорода и температурой воды составил $-0,66$ при уровне значимости (p -value) менее 0,001, а глубже 100 м связь между ними оказалась еще более тесной ($r = -0,87$, p -value < 0,001).

Представленные на рис. 2.2.31 среднегодовые аномалии насыщения вод кислородом значительно изменяются от года к году в 1961–2020 гг., что затрудняет выделение продолжительных периодов, для которых характерны только положительные или отрицательные аномалии. Можно лишь отметить, что повышенная аэрация вод верхнего слоя чаще наблюдалась в 1966–1985 гг., а глубже 100 м – в 1969–1996 гг., тогда как в остальные годы она в основном была пониженной. Аномально высокая насыщенность воды кислородом в верхнем 30-метровом слое отмечена в 1966, 1969, 1971, 1990 и 1998 гг. (104–105 %), а в слое 100 м – дно – в 1970–1973, 1976 и 1986 гг. (96 %). Аномально низкая насыщенность в этих слоях наблюдалась в 1962, 1977, 1997 гг. (97–98 %) и 1962, 1989, 2019 гг. (92 %). Статистически значимый, но небольшой по величине ($-0,02 \dots -0,03$ %/год) отрицательный тренд в изменениях насыщения вод кислородом отмечается лишь при длине ряда от 58 (1963–2020 гг.) до 44 лет (1977–2020 гг.). Для периода 1978–2020 гг. и более коротких тренд отсутствует (рис. 2.2.34).

Размах межгодовых колебаний насыщенности кислородом верхнего слоя составляет 8 %, что в 1,7 раза меньше размаха ее сезонных колебаний (13 %). Глубже 100 м эти два параметра сопоставимы (4 и 5 %), что свидетельствует о соизмеримости вкладов межгодовых и внутригодовых изменений в общую изменчивость насыщения кислородом глубинных слоев.

Тесной значимой связи между насыщенностью вод кислородом и их температурой не выявлено ни в слое 0–30 м ($r = -0,10$, p -value = 0,458), ни глубже 100 м ($r = -0,26$, p -value = 0,047), что, вероятно, указывает на более сложный механизм формирования ее межгодовой изменчивости, где температура не выступает в роли единственного или главного влияющего фактора.

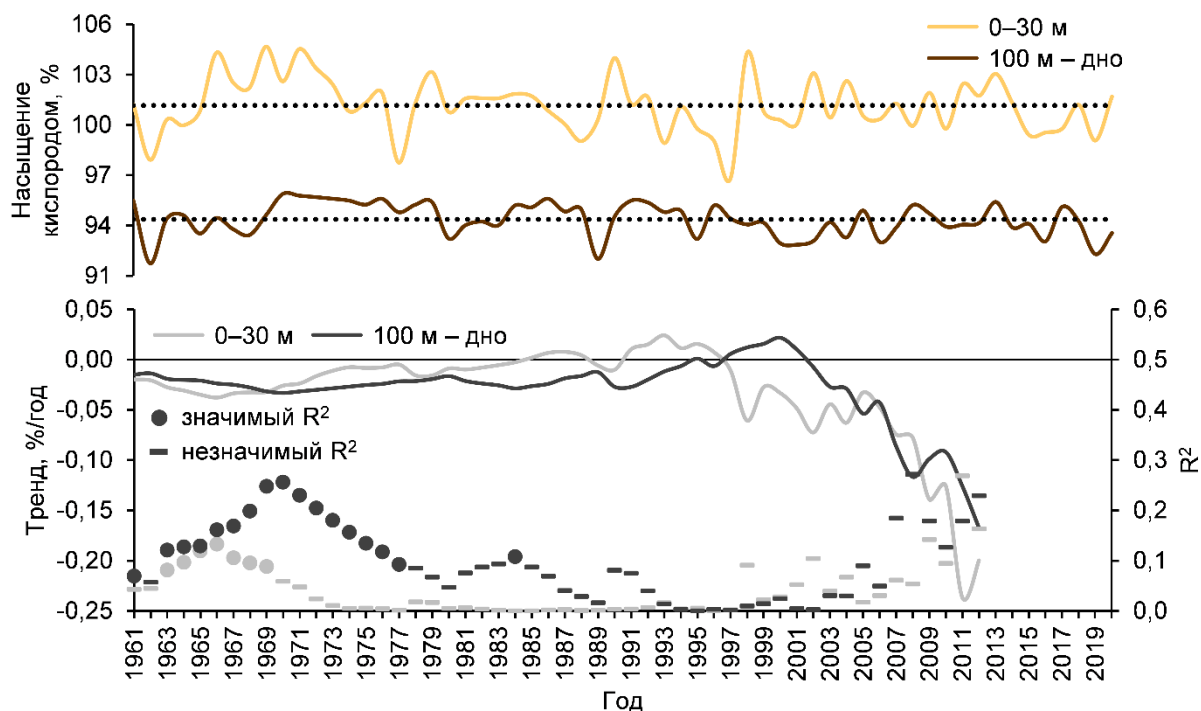


Рис. 2.2.34. Среднегодовое насыщение вод кислородом, величина тренда и его коэффициент детерминации (R^2) в слоях 0–30 м и 100 м – дно на разрезе «Кольский меридиан» (ст. 3–7) в 1961–2020 гг. Для графика трендов год на оси абсцисс соответствует началу ряда, для которого рассчитывался тренд

По содержанию минерального фосфора можно выделить два крупных периода: 1967–1988 гг. с преобладанием положительных аномалий ($0,06 \mu\text{M}$ в среднем за период) и 1998–2020 гг. – отрицательных ($-0,04 \mu\text{M}$) (см. рис. 2.2.31). В остальные годы наблюдалось чередование концентраций фосфатов выше или ниже нормы и близких к ней с преобладанием в 1961–1966 гг. отрицательных аномалий. С 1967 по 1988 г. и с 1998 по 2020 г. произошло снижение содержания фосфатов с $0,52$ до $0,42 \mu\text{M}$ (в среднем за период) в поверхностных водах и с $0,83$ до $0,73 \mu\text{M}$ глубже 100 м. Аномально высокие концентрации в верхнем 30-метровом слое отмечены в 1977, 1978, 1982, 1984 и 1997 гг. ($0,58$ – $0,64 \mu\text{M}$), а в слое 100 м – дно – в 1968, 1978 и 1980–1985 гг. ($0,86$ – $0,92 \mu\text{M}$). Аномально низкие концентрации в этих слоях наблюдались в 1965, 1966, 2013–2016 гг. ($0,32$ – $0,38 \mu\text{M}$) и 1961, 1962, 1991, 2005, 2013, 2014 гг. ($0,63$ – $0,69 \mu\text{M}$). В изменениях фосфатов также есть хорошо выраженный отрицательный тренд. Его величина слабо меняется при сокращении длины ряда и составляет $-0,002 \dots -0,004 \mu\text{M}$ за год (рис. 2.2.35). Для 1996–2020 гг. и более коротких периодов тренды уже незначимы, а с 2012 г. в обоих слоях отмечается явная тенденция к росту концентрации минерального фосфора, при этом в верхнем 30-метровом слое положительный тренд для 2012–2020 гг. оказался статистически значимым ($p\text{-value} = 0,041$).

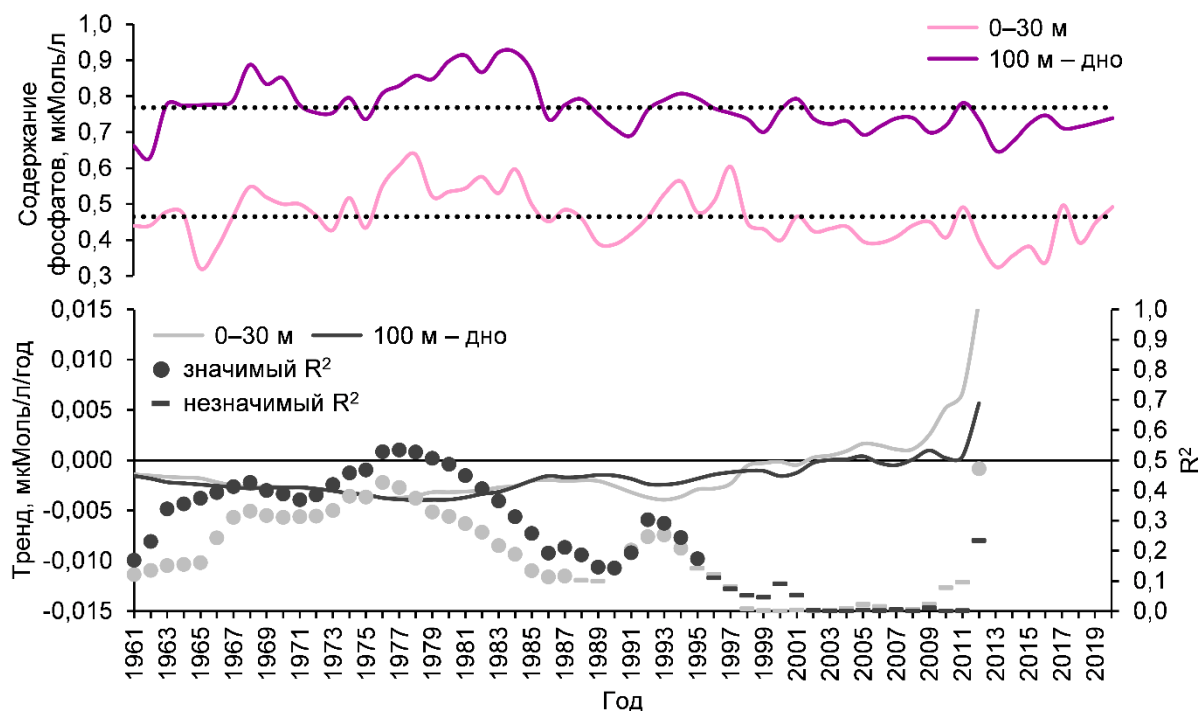


Рис. 2.2.35. Среднегодовое содержание фосфатов, величина тренда и его коэффициент детерминации (R^2) в слоях 0–30 м и 100 м – дно на разрезе «Кольский меридиан» (ст. 3–7) в 1961–2020 гг. Для графика трендов год на оси абсцисс соответствует началу ряда, для которого рассчитывался тренд

Размах межгодовых колебаний содержания фосфатов в верхнем слое составляет $0,32 \mu\text{M}$, что в 1,7 раза меньше размаха сезонных колебаний ($0,55 \mu\text{M}$). Глубже 100 м межгодовой размах ($0,29 \mu\text{M}$) в 3 раза превышает сезонный ($0,10 \mu\text{M}$), что свидетельствует о ведущей роли межгодовых изменений в общей изменчивости концентрации минерального фосфора в глубинных слоях.

Содержание в воде фосфатов имеет хорошую связь с температурой, что может быть объяснено особенностями развития фито- и зоопланктона в теплые и холодные годы [69]. В холодные годы цветение фитопланктона начинается раньше, проходит активнее и менее продолжительно, чем в теплые. Развитие зоопланктона (первичных консументов) запаздывает, в результате у него нет возможности эффективно освоить первичное органическое вещество, большая часть которого к началу активного развития зоопланктона уходит из эвфотической зоны, опускаясь в более глубокие слои, где происходят его минерализация и потребление представителями мезопелагической и бентической пищевой цепи. В итоге значительный объем биогенных веществ, извлеченных из поверхностных вод первичными продуцентами и превращенных ими в биомассу, возвращается обратно в воду в ходе регенерации биогенных элементов из тканей отмерших микроводорослей. В теплые годы, наоборот, цветение фитопланктона происходит дольше,

а задержка в развитии зоопланктона невелика, поэтому значительная часть новообразованного органического вещества остается в пищевой цепи (биогенные элементы задерживаются в тканях растительных и животных организмов). Как следствие, питательных веществ, регенерированных в глубинных слоях, оказывается меньше. Дополнительно, в холодные годы за счет меньшей глубины залегания пикноклина и более мощной стратификации быстрее происходит «выедание» фитопланктоном биогенных веществ, в отличие от теплых лет, когда благодаря бóльшей толщине верхнего квазиоднородного слоя объем доступных для изъятия первичными продуцентами питательных солей также оказывается бóльшим. Возможно, именно поэтому содержание фосфатов в теплые 2000–2020 гг. было ниже по сравнению с холодными годами. Для 1961–2020 гг. отмечена значимая обратная связь между минеральным фосфором и температурой. В верхнем 30-метровом слое коэффициент корреляции составил $-0,58$ ($p\text{-value} < 0,001$), глубже 100 м связь оказалась слабее, но незначительно ($r = -0,49$, $p\text{-value} < 0,001$), причем температура верхнего слоя достаточно хорошо коррелирует с содержанием фосфатов не только в поверхностных водах, но и глубже 100 м ($r = -0,59$, $p\text{-value} < 0,001$).

2.3. Выводы

Гидрохимический режим водных масс на разрезе «Кольский меридиан» характеризуется большой сезонной и межгодовой изменчивостью, которая является следствием расположения Баренцева моря в высоких широтах, что обуславливает ярко выраженную сезонность процессов фотосинтеза за счет неравномерного распределения в течение года солнечной радиации благодаря чередованию продолжительных полярного дня и полярной ночи. Суровые климатические условия и относительная мелководность моря обеспечивают в осенне-зимний период конвективное перемешивание практически всей толщи воды, которое способствует выравниванию вертикальных профилей всех гидрохимических параметров.

В монографии представлены в качестве справочного материала нормы (среднегодовые значения за 1961–2020 гг.) содержания растворенного кислорода, насыщения вод кислородом и концентрации минерального фосфора на каждом стандартном горизонте каждой станции разреза по месяцам.

Анализ сезонной изменчивости гидрохимических условий на разрезе «Кольский меридиан» показал, что сезонный ход кислорода и фосфатов лучше выражен в фотической зоне, чем в глубинных и придонных водах. Наибольший размах сезонных колебаний гидрохимических параметров (на основе среднегодовых значений) наблюдается в верхнем 30-метровом слое (1,1–1,7 мл/л для содержания кислорода, 10–16 % для насыщения вод

кислородом и 0,5–0,7 μM для концентрации фосфатов). С глубиной размах внутригодовых колебаний уменьшается, оставаясь глубже 75 м на уровне 0,6–0,8 мл/л, 5–8 % и 0,1–0,2 μM . При этом на всех станциях и во все месяцы содержание кислорода и насыщенность им вод монотонно убывают с глубиной, а концентрация фосфатов, наоборот, растет, или все три параметра слабо изменяются по вертикали (в зимний период).

Сезонный максимум концентрации кислорода в поверхностных водах приходится на май (8,0–8,3 мл/л), в придонных – на апрель–май (7,1–7,5 мл/л), минимум в обоих слоях – в августе–декабре (6,6–6,9 мл/л).

Максимальное насыщение кислородом поверхностных вод наступает в мае–июне (110–113 %), минимальное – в ноябре–марте (96–97 %). Глубинные и придонные слои достаточно хорошо аэрированы в течение года: насыщение придонных вод кислородом достигает сезонного максимума в апреле–мае (95–97 %), а минимума (88–90 %) – в августе–ноябре.

Сезонная динамика фосфатов хорошо выражена лишь в верхнем слое, глубже 100 м она значительно слабее. Сезонный максимум их содержания в поверхностных водах наступает в январе и марте (0,7–0,8 μM), а минимум (0,1–0,2 μM) – в июле–августе. В придонном слое концентрация фосфатов на протяжении всего года остается на уровне 0,8–0,9 μM в атлантических водах и 0,7 μM – в прибрежных. При этом во всей толще хорошо заметен рост содержания минерального фосфора в северном направлении. В течение периода вегетации скорость изъятия фосфатов первичными продуцентами составляет в среднем по разрезу 0,13 $\mu\text{M}/\text{мес.}$, а убыль их концентрации в целом за сезон – от 0,51 до 0,64 μM с тенденцией к увеличению потребляемых объемов в направлении с юга на север.

Анализ межгодовой изменчивости гидрохимических условий на разрезе «Кольский меридиан» показал, что в слое фотосинтеза размах межгодовых колебаний среднегодовых концентраций фосфатов (0,32 μM), кислорода (0,8 мл/л) и насыщения им вод (8 %) в 1,7 раза меньше размаха сезонных колебаний их среднееголетних значений. Глубже 100 м для кислорода эти показатели сопоставимы друг с другом (0,6 мл/л и 4–5 %), а для фосфатов межгодовой размах (0,29 μM) в 3 раза превышает сезонный, что свидетельствует о ведущей роли межгодовых колебаний в общей изменчивости содержания минерального фосфора в глубинных слоях.

Отмечена тесная значимая ($p\text{-value} < 0,001$) обратная связь содержания растворенного кислорода и фосфатов с температурой воды. В теплые 2000–2020 гг. концентрация кислорода и минерального фосфора была заметно меньше, чем в холодные годы второй половины прошлого века, что объясняется не только зависимостью растворимости кислорода в воде от температуры, но и особенностями развития фито- и зоопланктона в разные по тепловому состоянию вод годы.

3. ИССЛЕДОВАНИЯ ЗООПЛАНКТОНА

Существование зоопланктона неразрывно связано с условиями окружающей среды. В юго-западной части Баренцева моря, где располагается разрез «Кольский меридиан», структура сообществ зоопланктона в значительной мере определяется влиянием теплых атлантических вод, приносимых Нордкапским течением из Норвежского моря. Начало вегетации фитопланктона и последующее размножение и развитие зоопланктона определяются темпом прогрева водных масс и особенностями их гидродинамики.

Исследования зоопланктона на разрезе «Кольский меридиан» позволяют оценить состояние сообществ зоопланктона в южной части Баренцева моря, а также определить величину приноса зоопланктона из Норвежского моря в Баренцево, и прежде всего массового представителя копепод *Calanus finmarchicus*, который формирует биомассу зоопланктона и служит пищей для мойвы и атлантической сельди, а также для личинок и молоди донных рыб [4, 36, 38, 47, 51, 52, 86, 120, 121, 130, 134, 135, 141, 145, 154].

Первые исследования зоопланктона на разрезе «Кольский меридиан» выполнены в 1903 г. «Экспедицией для научно-промысловых исследований у берегов Мурмана» [47]. В 1921 г. изучение зоопланктона продолжили на Мурманской биологической станции, однако затем в течение длительного периода эти работы не проводили. В 1959–1992 гг. ПИНРО осуществлял ежегодный мониторинг зоопланктона в северо-восточной части Норвежского и юго-западной части Баренцева морей в ходе ихтиопланктонной съемки в весенне-летний период. С 2008 г. сбор зоопланктона на разрезе «Кольский меридиан» выполняют в мае–июне в экосистемной съемке в северных морях, эти работы продолжаются по настоящее время. Кроме того, с 2018 г. ПИНРО проводит ежегодный мониторинг состояния зимующего фонда зоопланктона на разрезе «Кольский меридиан» в феврале–марте в ходе зимней экосистемной съемки Баренцева моря. Мурманский морской биологический институт также периодически исследует зоопланктон на разрезе «Кольский меридиан».

Результаты многолетнего мониторинга зоопланктона, проводимого ПИНРО в весенне-летний период 1959–1990 гг., были обобщены В.Н. Нестеровой и опубликованы в брошюре «Биомасса планктона на путях дрейфа личинок трески» [3], где основное внимание уделялось анализу распределения межгодовой биомассы зоопланктона как кормовой базы личинок рыб. В этой работе использовали также материалы о биомассе зоопланктона на разрезе «Кольский меридиан», полученной методом взвешивания. Значения биомассы зоопланктона в различных слоях вод представлены в таблицах и могут использоваться как справочный материал. Сведения о численности и биомассе зоопланктона на разрезе в теплый период 2009–

2017 гг. были проанализированы и опубликованы нами в 2019 г. [155]. Эти исследования подтвердили ведущую роль копепод в формировании биомассы зоопланктона и доминирующее значение *C. finmarchicus* и показали, что высокая биомасса зоопланктона отмечалась в годы с более высокой температурой и усиленным притоком вод из Норвежского моря.

В настоящей главе выполнен анализ таксономического состава, численности и биомассы зоопланктона на разрезе «Кольский меридиан» за многолетний период с различным тепловым содержанием вод и рассмотрена межгодовая и сезонная изменчивость этих количественных параметров.

3.1. Материалы и методы

Пробы зоопланктона были собраны в мае–июле 1960–2017 гг. В качестве орудия лова применяли планктонную сеть Джеди (площадь входного отверстия 0,11 м², размер ячеек сита 180 мкм). Отбор проб выполняли в различных слоях, но в рамках настоящего исследования использовали только данные для слоя 0–50 м, так как в верхнем слое концентрируется большая часть зоопланктона и распределяются его основные потребители – мойва и атлантическая сельдь, а также личинки и молодь донных и пелагических рыб. Кроме того, данные для слоев глубже 50 м за 1960–1992 гг. немногочисленны и недостаточны для полноценного анализа пространственной и межгодовой изменчивости численности и биомассы зоопланктона на разрезе «Кольский меридиан».

Пробы фиксировали 4 %-ным формальдегидом и доставляли в лабораторию института для последующей детальной обработки. При камеральной обработке проб выполняли таксономическую идентификацию организмов зоопланктона по возможности до наименьшей таксономической категории, виды рода *Calanus* и прочие виды класса Copepoda разделяли по стадиям развития или возрастным группам. Крупные неповрежденные организмы (Euphausiacea, Chaetognatha, Hydroidea) измеряли. Всех зоопланктеров просчитывали, некоторых особей взвешивали для установления индивидуальной массы. Биомассу определяли после оцифровки данных с помощью индивидуальной массы планктонных организмов [37, 85], собственные данные. Сбор и обработку материала проводили по принятой методике [32]. Систематическое положение организмов зоопланктона представлено согласно WoRMS-2025 [168]. Всего обработана и проанализирована 921 проба зоопланктона (табл. 1 Приложения Б).

Численность (экз./м³) и биомасса (мг/м³) – основные количественные параметры для оценки состояния зоопланктонных сообществ на разрезе «Кольский меридиан». Сезонную изменчивость этих параметров рассматривали по трем периодам (май, июнь и июль), а для анализа общей картины

межгодовой динамики численности и биомассы зоопланктона данные были усреднены.

Для выявления изменений в численности и биомассе зоопланктона в различных струях теплых течений данные объединяли следующим образом:

- ст. 1–3 относили к Прибрежной ветви Мурманского течения;
- ст. 4–7 – к Основной ветви Мурманского течения;
- ст. 8–10 – к Центральной ветви Нордкапского течения.

В ходе ихтиопланктонной съемки океанографические станции выполнялись не только через 30, но и через 15 мор. миль. Так как обрабатывали не все собранные пробы и иногда отсутствовали данные о какой-либо станции, в анализ включали все имеющиеся материалы.

3.2. Результаты и обсуждение

Таксономический состав зоопланктона. В составе зоопланктона на разрезе «Кольский меридиан» в мае–июле 1960–2017 гг. было идентифицировано 94 различных таксона, относящихся к 14 типам (табл. 2 Приложения Б). В мае и июне количество таксонов было ниже, чем в июле – 77, 76 и 82 соответственно. Наибольшее количество таксонов отмечено для типа Arthropoda – 44, из которых 26 относятся к классу веслоногих ракообразных (Copepoda) (см. табл. 2 Приложения Б, табл. 3.2.1). Второй тип с наибольшим таксономическим разнообразием – Cnidaria – 20 таксонов, из которых 17 гидроидных медуз (см. табл. 2 Приложения Б, см. табл. 3.2.1).

Еще одна группировка организмов различного таксономического положения – меропланктон, в состав которого входят личинки донных беспозвоночных (моллюски, многощетинковые черви, усоногие и десятиногие ракообразные, иглокожие и другие), пополняющие зоопланктон только в период личиночного развития. Меропланктон представлен 13 таксонами (см. табл. 2 Приложения Б).

Наиболее часто в пробах зоопланктона отмечались массовые виды копепод – *Calanus finmarchicus*, *Oithona similis*, *Pseudocalanus* spp., *Triconia borealis*, *Oithona atlantica*, молодь *Metridia* spp., *Microcalanus* sp. (см. табл. 2 Приложения Б). Так как май–июль – месяцы, когда происходят размножение и развитие большинства зоопланктеров, частота встречаемости личинок веслоногих ракообразных и эвфаузиид была существенной и составляла от 50 до 99 % от общего количества проб. В зоопланктоне часто отмечали молодь щетинкочелюстных (78 %), личинок офиур (73 %), личинок многощетинковых червей (52 %) и личинок двустворчатых моллюсков (34 %), ветвистоусых ракообразных *Evadne nordmanni* (50 %) и гидроидных медуз *Aglantha digitale* (47 %) (см. табл. 2 Приложения Б).

Таблица 3.2.1

**Количество таксонов зоопланктона различных типов
на разрезе «Кольский меридиан» в мае–июле в 1960–2017 гг.**

Тип	Количество			Общее
	Май	Июнь	Июль	
Foraminifera	1	1	1	1
Radiozoa	2	2	2	2
Ciliophora	1	1	1	1
Cnidaria	13	13	18	21
Ctenophora	2	2	2	2
Nemertea	1	1	1	1
Annelida	2	2	2	2
Arthropoda	39	36	38	44
Mollusca	5	5	5	5
Bryozoa	1	1	1	1
Chaetognatha	2	2	2	2
Echinodermata	3	4	3	4
Chordata	5	6	6	8
Всего	77	76	82	94

По результатам первых исследований зоопланктона в южной части Баренцева моря в разные месяцы было обнаружено 93 таксона, тогда как на разрезе «Кольский меридиан» в летний период в составе зоопланктона отмечено только 33 таксона [47]. В сентябре–ноябре 2011–2012 гг. идентифицировали 48 таксонов [140], а в январе–марте 2018–2023 гг. – 49 [92]. Различия в таксономическом составе зоопланктона прежде всего определяются сезонностью развития зоопланктеров. Так, в весенне-летние месяцы, когда размножается большинство донных беспозвоночных и их личинки входят в состав зоопланктона (меропланктон), его таксономическое разнообразие увеличивается. Весной и летом возрастает количество таксонов желетелых организмов, прежде всего гидроидных медуз, прекращающих существование в зоопланктоне по завершении медузоидной стадии развития. Свою лепту в пополнение таксономического состава зоопланктона вносят также тепловодные виды, которые транспортируются с теплыми атлантическими водами из Норвежского моря в Баренцево.

Общая численность и биомасса зоопланктона на разрезе «Кольский меридиан» в 1960–2017 гг. существенно варьировали (рис. 3.2.1). Численность в среднем за весь период наблюдений составила 2363 ± 62 экз./м³, а биомасса – $101,5 \pm 3,6$ экз./м³. Экстремальные значения регистрировались редко. Доля станций с численностью менее 10 экз./м³ составляла 0,6 %, а с численностью более 10000 экз./м³ – 2,2 %. Доля станций, где отмечалась очень низкая биомасса (менее 10 мг/м³), равнялась 22 %, а очень высокая биомасса (более 1000 мг/м³) – 0,9 %.

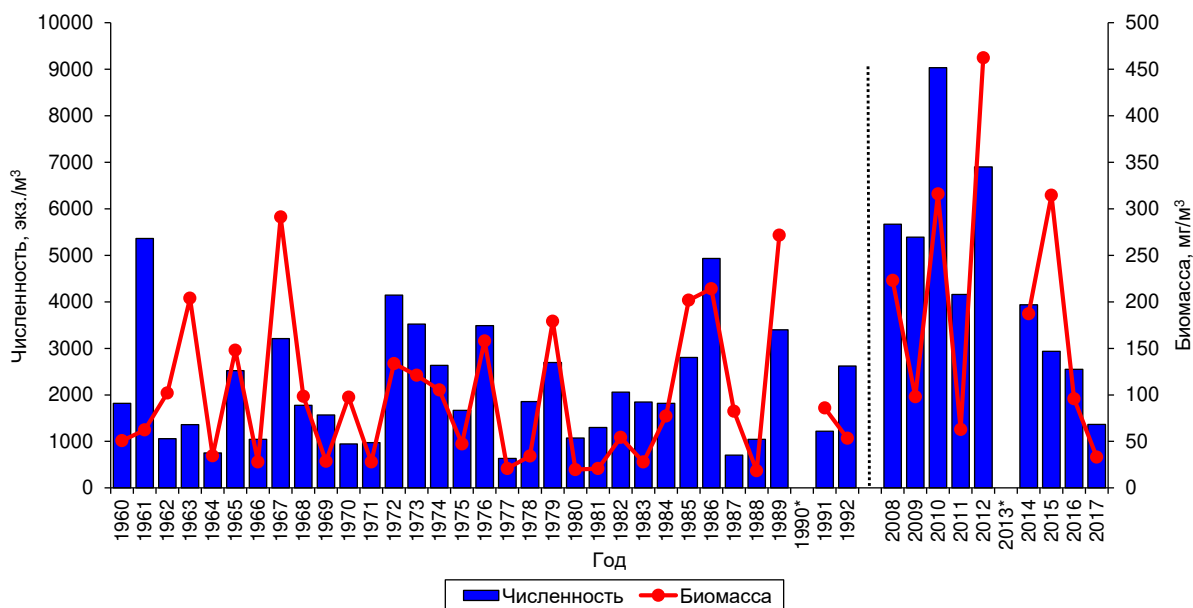


Рис. 3.2.1. Общая численность и биомасса зоопланктона на разрезе «Кольский меридиан» в мае–июле 1960–2017 гг. Вертикальной прерывистой линией отделены два периода исследований. Год со звездочкой – нет данных

В целом весь ряд данных о зоопланктоне на разрезе «Кольский меридиан» можно разделить на два периода – продолжительный, с 1960 по 1992 г., и более короткий, с 2008 по 2017 г. Установлено, что численность зоопланктона в 1960–1992 гг. в среднем была в 2,2 раза ниже, чем в 2008–2017 гг. – 2135 и 4629 экз./м³ соответственно. Такая же картина наблюдалась и в отношении биомассы – 91,7 и 199,4 мг/м³ соответственно.

Численность и биомасса зоопланктона также изменялись в различные месяцы. Так, в мае численность в среднем составляла 1738 ± 71 экз./м³ (рис. 3.2.2), в июне этот показатель был в 2,3 раза выше – 4069 ± 256 экз./м³, в июле – 2427 ± 91 экз./м³ (см. рис. 3.2.2). Самая низкая биомасса зоопланктона была в мае – $42,7 \pm 2,0$ мг/м³, наибольшие ее значения отмечались в июне – $175,8 \pm 14,5$ мг/м³ (см. рис. 3.2.2), а в июле она – в 3,2 раза выше, чем в мае, но в 1,3 раза ниже, чем в июне – $138,6 \pm 2,0$ мг/м³.

В мае численность зоопланктона на разрезе «Кольский меридиан» варьировала от 165 экз./м³ в 1977 г. до 5670 экз./м³ в 2008 г. (рис. 3.2.3А). В этом месяце амплитуда колебаний численности зоопланктона являлась наибольшей по сравнению с июнем и июлем. Очень низкие значения численности (менее 10 экз./м³) отмечали на двух станциях в 1964 г., на одной в 1987 г., на одной станции в 1988 г. Высокая численность (более 10000 экз./м³) наблюдалась в 1972 и 1976 гг., а максимальное значение зарегистрировали в 1986 г. (21179 экз./м³).

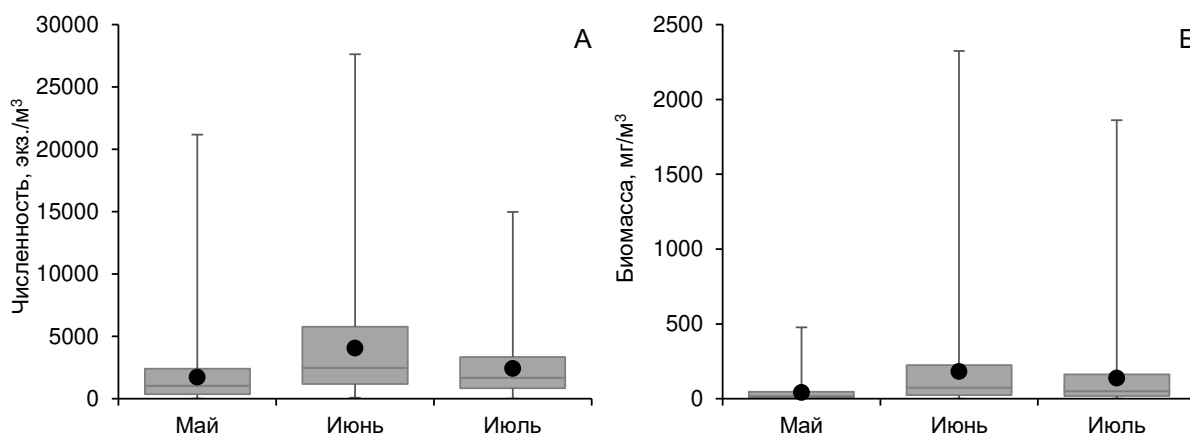


Рис. 3.2.2. Средняя численность (А) и биомасса (Б) зоопланктона на разрезе «Кольский меридиан» в мае, июне и июле в 1960–2017 гг.: серые прямоугольники – 50 %-ный диапазон наблюдений; вертикальные линии – разброс значений; горизонтальная линия – медиана; черная точка – среднее значение

Биомасса зоопланктона в мае изменялась от 7,7 мг/м³ в 1969 г. до 223,1 мг/м³ в 2008 г. (см. рис. 3.2.3А). Крайне низкая биомасса (менее 1,0 мг/м³) отмечалась на некоторых станциях в 1964, 1969, 1970, 1977, 1981 и 1988 гг., а наибольшая (476,1 мг/м³) – в 1976 г.

В июне численность зоопланктона колебалась от 1046 экз./м³ в 1966 г. до 9036 экз./м³ в 2010 г. (см. рис. 3.2.3Б). Минимальное значение этого параметра отмечали в 1991 г. – 71 экз./м³, максимальное в 2009 г. – 27617 экз./м³.

Биомасса зоопланктона в июне варьировала от 12,9 мг/м³ в 1991 г. до 462,2 мг/м³ в 2012 г. (см. рис. 3.2.3Б). Очень низкую биомассу (менее 1,0 мг/м³) отмечали на одной станции в 1991 г., наибольшую (2324,2 мг/м³) – в 2012 г.

Численность зоопланктона в июле варьировала от 402 экз./м³ в 1971 г. до 8343 экз./м³ в 1961 г. (см. рис. 3.2.3В). Ее низкие значения (менее 10 экз./м³) отмечались на двух станциях в 1964 г., а наибольшие (около 15000 экз./м³) регистрировали на двух станциях в 1961 г.

Биомасса зоопланктона в июле изменялась от 26,8 мг/м³ в 1988 г. до 418,6 мг/м³ в 1963 г. (см. рис. 3.2.3В). Очень низкие значения этого параметра (менее 1,0 мг/м³) наблюдались на двух станциях в 1964 г. и на одной в 1970 г., а наибольшая биомасса (1861,6 мг/м³) была отмечена в 1963 г.

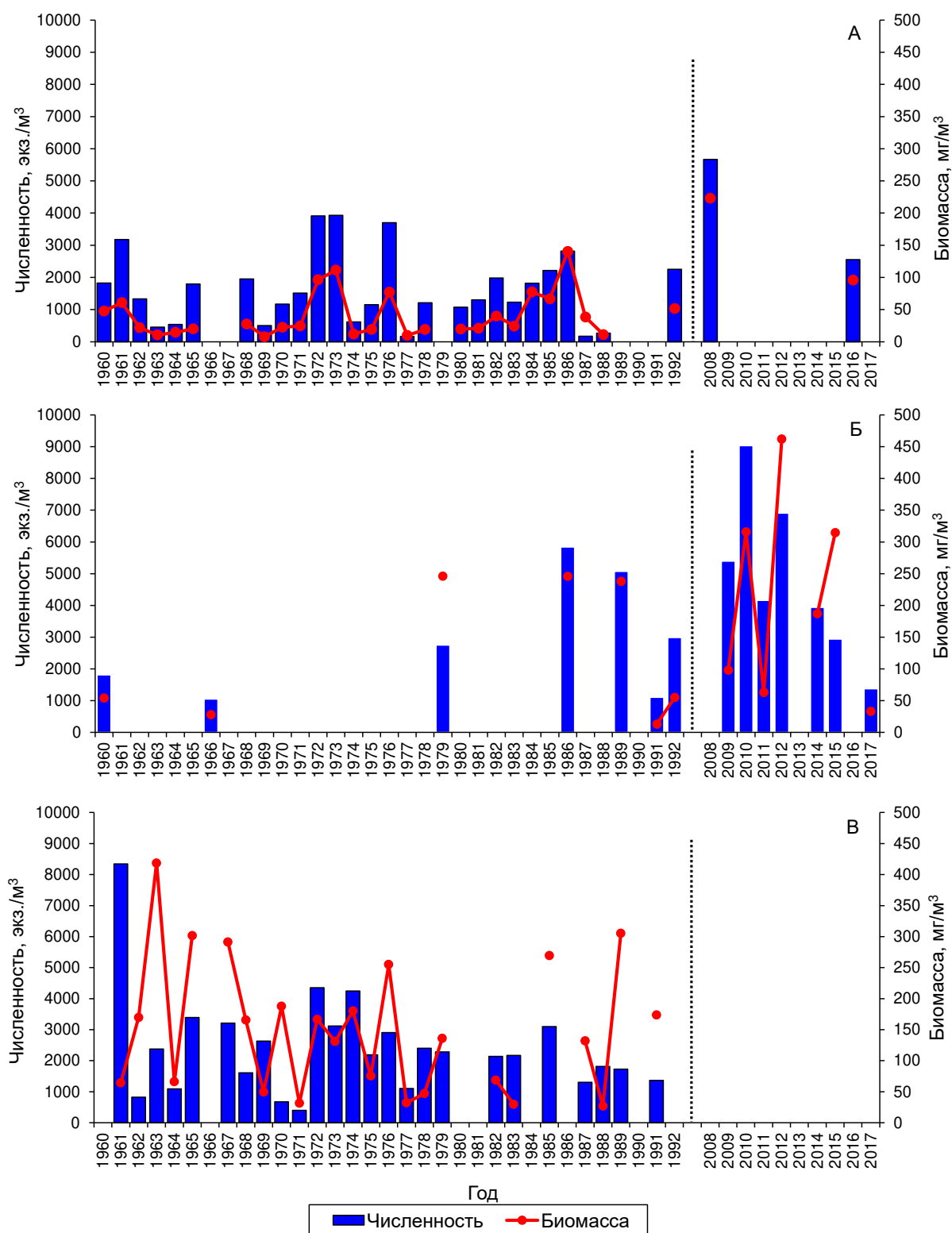


Рис. 3.2.3. Общая численность и биомасса зоопланктона на разрезе «Кольский меридиан» в мае (А), июне (Б) и июле (В) в 1960–2017 гг. Вертикальной прерывистой линией отделены два периода исследований (1990 и 2013 гг. – нет данных)

Численность и биомасса зоопланктона в водах различных ветвей теплых течений распределялись неравномерно и испытывали существенные межгодовые колебания (рис. 3.2.4; 3.2.5). Четкой зависимости в распределении общих численности и биомассы в ветвях течений не обнаружено. Однако в мае выявили слабую тенденцию к увеличению численности ($R^2 = 0,18$) и биомассы ($R^2 = 0,17$) зоопланктона в водах Основной ветви Мурманского течения и его биомассы ($R^2 = 0,17$) в водах Прибрежной ветви Мурманского течения.

В целом в мае более высокая средняя численность отмечалась в водах Прибрежной и Основной ветвей Мурманского течения – 1842 ± 232 и 2065 ± 288 экз./м³ соответственно (рис. 3.2.6А). В водах Центральной ветви Нордкапского течения она в среднем составляла 1477 ± 209 экз./м³ (см. рис. 3.2.6А). Средняя биомасса зоопланктона также была выше в водах Прибрежной и Основной ветвей Мурманского течения – $57,5 \pm 7,9$ и $60,5 \pm 10,1$ мг/м³ соответственно, а в водах Центральной ветви Нордкапского течения в 2 раза ниже – $28,2 \pm 4,0$ мг/м³ (см. рис. 3.2.6Б).

В июне численность и биомасса зоопланктона испытывали существенные колебания, особенно выраженные в водах Прибрежной ветви Мурманского течения (см. рис. 3.2.6А). Численность зоопланктона в июне здесь была в среднем в 2 раза выше, чем в мае и ее более высокие значения отмечались в водах Прибрежной ветви Мурманского и Центральной ветви Нордкапского течений – 4007 ± 909 и 3998 ± 449 экз./м³ соответственно (см. рис. 3.2.6А). В водах Основной ветви Мурманского течения в этом месяце численность зоопланктона снизилась до 3298 ± 521 экз./м³ (см. рис. 3.2.6А), а средняя биомасса увеличилась в 3,7 раз по сравнению с маем. Наибольшие значения биомассы регистрировали в водах Прибрежной ветви Мурманского течения с постепенным уменьшением в водах Основной ветви Мурманского и Центральной ветви Нордкапского течений – $233,9 \pm 55,0$, $140,6 \pm 35,2$ и $115,8 \pm 25,7$ мг/м³ соответственно (см. рис. 3.2.2Б).

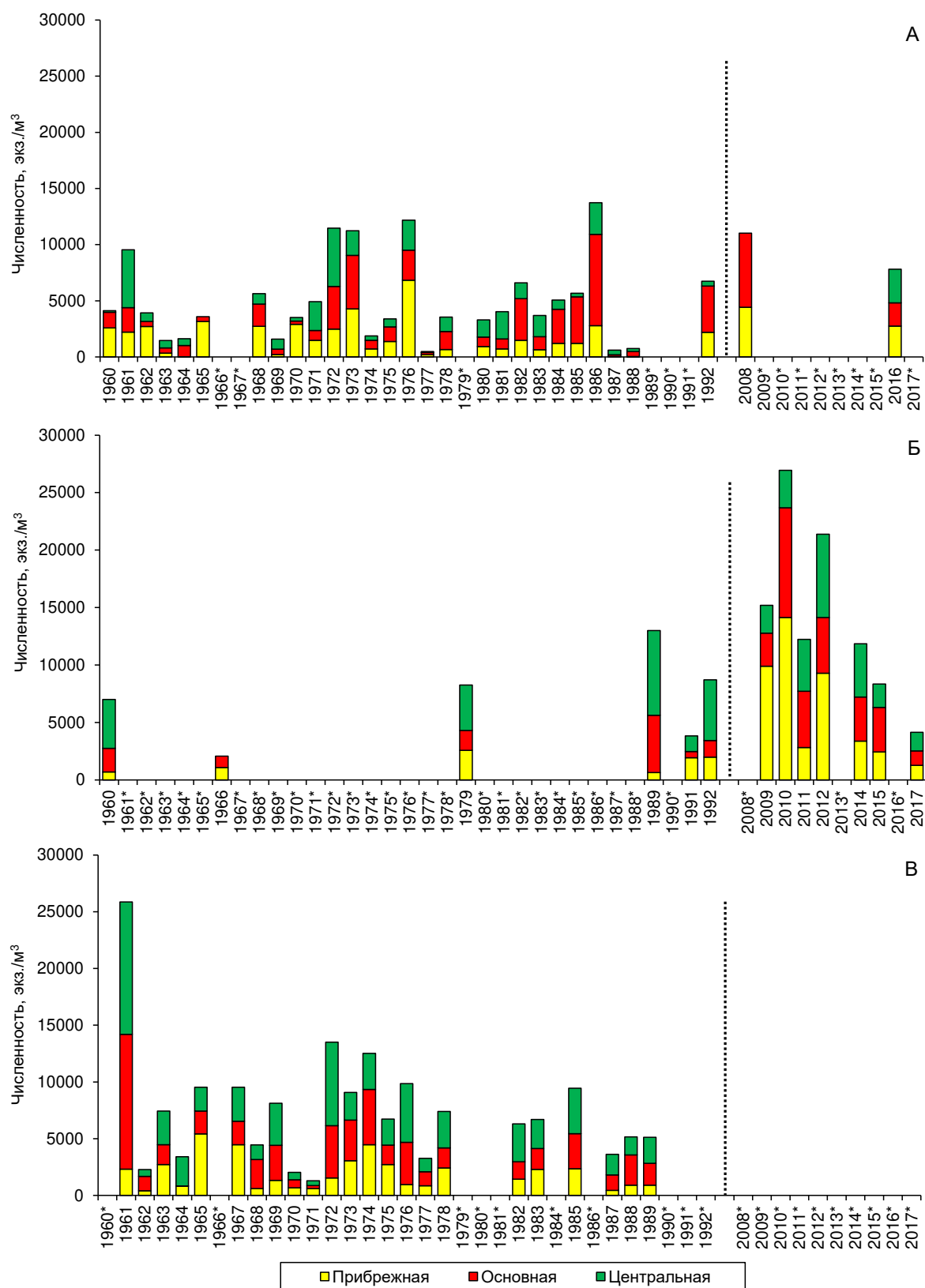


Рис. 3.2.4. Общая численность зоопланктона в водах Прибрежной и Основной ветвей Мурманского и Центральной ветви Нордкапского течений на разрезе «Кольский меридиан» в мае (А), июне (Б) и июле (В) в 1960–2017 гг. Год со звездочкой – нет данных

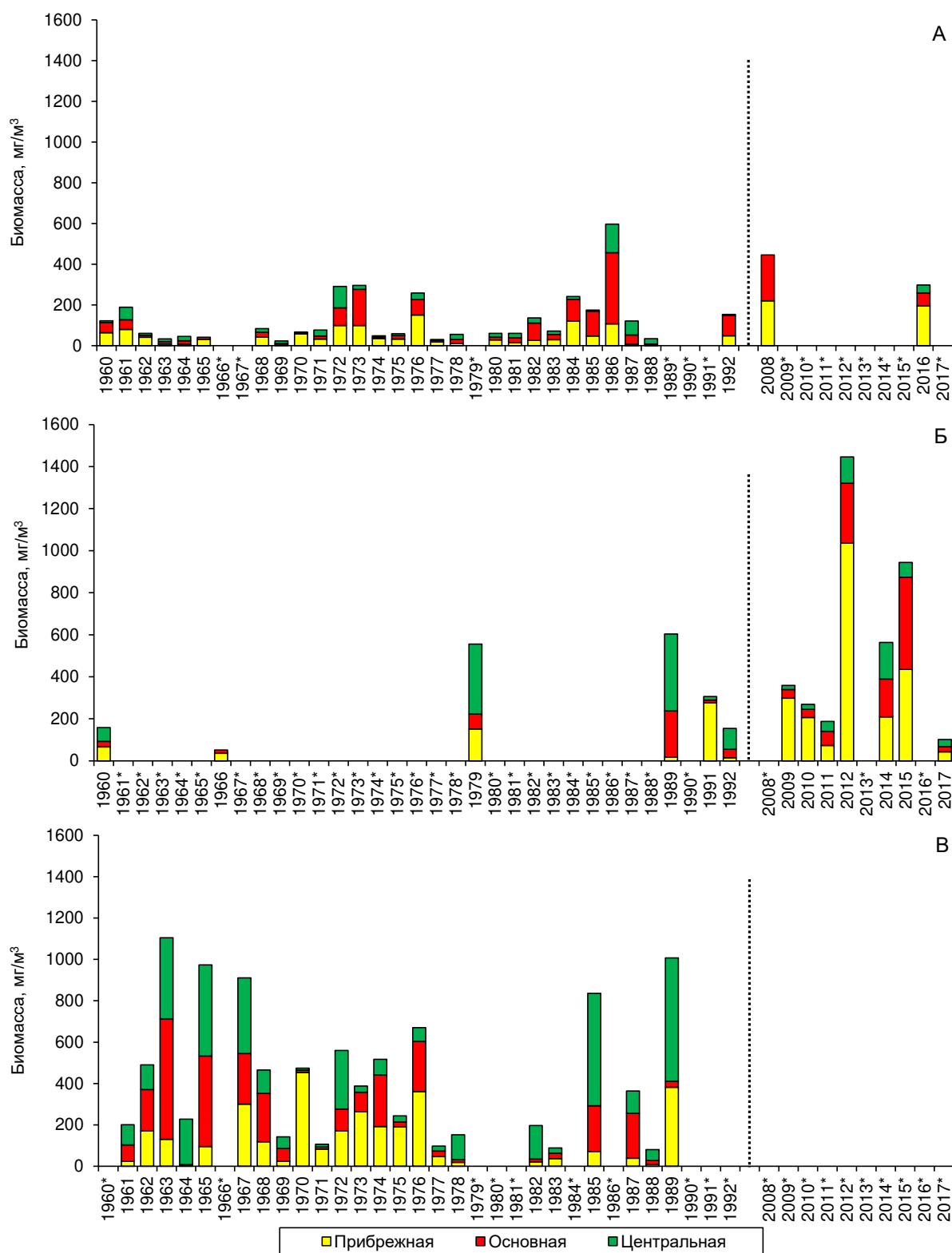


Рис. 3.2.5. Общая биомасса зоопланктона в водах Прибрежной и Основной ветвей Мурманского и Центральной ветви Нордкапского течений на разрезе «Кольский меридиан» в мае (А), июне (Б) и июле (В) в 1960–2017 гг. Год со звездочкой – нет данных

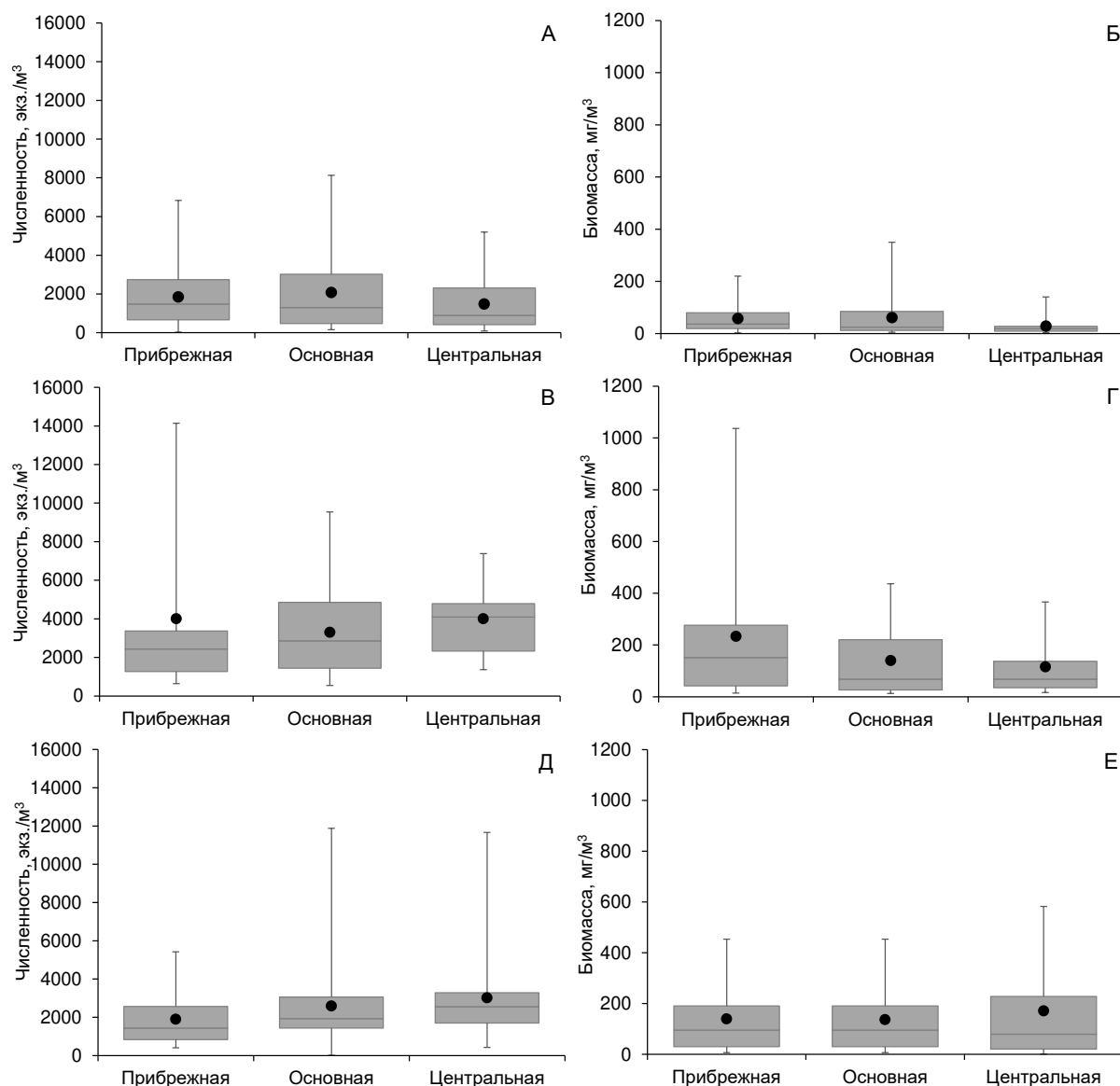


Рис. 3.2.6. Средняя численность (А, В, Д) и биомасса (Б, Г, Е) зоопланктона в водах Прибрежной и Основной ветвей Мурманского и Центральной ветви Нордкапского течений на разрезе «Кольский меридиан» в мае (А, Б), июне (Б, Г) и июле (Д, Е) в 1960–2017 гг. Усл. обозн. см. на рис. 3.2.2

В июле отмечался существенный размах колебаний численности зоопланктона в водах Основной ветви Мурманского и Центральной ветви Нордкапского течений (см. рис. 3.2.3А). Численность в среднем была в 1,5 раза ниже, чем в июне, но в 1,4 раза выше, чем в мае. Отмечалась тенденция к увеличению численности зоопланктона в северном направлении: в водах Прибрежной ветви (1899 ± 240 экз./м³), в водах Основной ветви Мурманского течения ($2585 \pm 3,4$ экз./м³) и в водах Центральной ветви Нордкапского течения (3013 ± 316 экз./м³) (см. рис. 3.2.3А). Средняя биомасса зоопланктона в июле незначительно снизилась по сравнению с июнем, но в

3,1 раза превышала таковую в мае. Значения биомассы в водах Прибрежной и Основной ветвей Мурманского течения были очень близкими – $139,5 \pm 22,3$ и $137,1 \pm 25,4$ мг/м³ соответственно, а в водах Центральной ветви Нордкапского течения она составляла $171,4 \pm 29,8$ мг/м³ (см. рис. 3.2.3Б).

Высокая численность зоопланктона достигается преимущественно за счет многочисленных мелких организмов – мелких копепод, науплиев и молодки более крупных копепод, мелких оболочников, личинок донных беспозвоночных. Однако из-за небольших размеров они не вносят существенный вклад в общую биомассу зоопланктона. Так, несмотря на высокую (8343 экз./м³) численность зоопланктона в 1961 г., его биомасса была низкой ($64,3$ мг/м³). А.А. Дегтярева [21] отмечала, что наибольшие вариации биомассы зоопланктона наблюдаются весной из-за различий в сроках наступления биологической весны. По нашим данным, эти параметры отличались на 2–3 порядка в разные годы и различия обнаружены как в мае, так и в июне. В юго-западной части Баренцева моря уровень биомассы в летние месяцы не зависит от такового весной, а наибольшая биомасса зоопланктона весной и летом отмечалась в водах Прибрежной ветви Мурманского, наименьшая – в водах Центральной ветви Нордкапского течений [21]. По нашим данным, на разрезе «Кольский меридиан» происходило постепенное увеличение биомассы в водах Центральной ветви при ее существенных колебаниях в водах Прибрежной и Основной ветвей, что, вероятно, связано с интенсивностью притока теплых атлантических вод и, соответственно, пополнением сообществ зоопланктона южной части Баренцева моря из Норвежского.

Структура сообществ зоопланктона. Численность зоопланктона формировали веслоногие ракообразные (81,8 %) и оболочники (11,2 %) (рис. 3.2.7А). Доля копепод в разные годы варьировала от 51,6 до 98,3 % от общей численности зоопланктона. В 1991, 2016 и 2017 гг. от 14 до 18 % численности составляли организмы меропланктона (см. рис. 3.2.7А).

Основное значение в формировании общей биомассы зоопланктона имели веслоногие ракообразные (75,5 %), гидроидные (8,6 %) и эвфаузииды (6,5 %) (см. рис. 3.2.7Б). Доля копепод в общей биомассе зоопланктона существенно варьировала в разные годы – от 14,8 до 99,1 % – и составляла 50 % и более на большинстве станций (см. рис. 3.2.7Б). В 1974 г. 60,1 % от общей биомассы зоопланктона формировали оболочники – крупные особи рода *Oikopleura*.

Доля копепод в общей численности и биомассе была высокой во все месяцы. В мае в разные годы она варьировала от 53,3 до 98,1 % (в среднем 80,5 %) по численности. В июне копеподы составляли 86,6 % от общей численности зоопланктона, а их доля в разные годы изменялась от 51,6 до

97,0 %. В июле она колебалась от 44,0 до 98,4 % (в среднем 79,6 %). В биомассе зоопланктона доля копепод в среднем составляла 70,1 % в мае (35,1–93,3 %), июне 84,9 % (30,8–99,1 %) и июле 72,9 % (11,9–97,4 %).

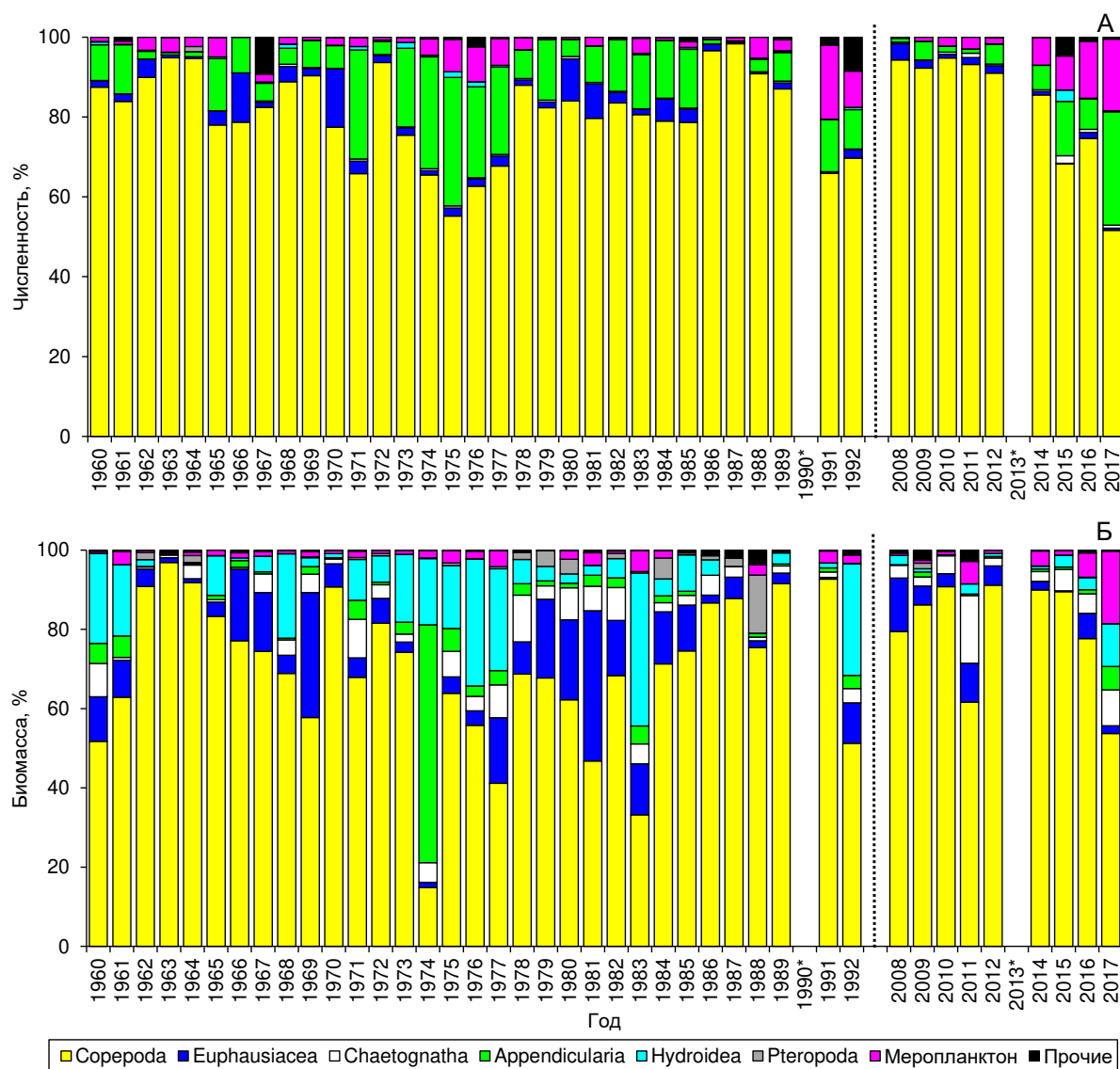


Рис. 3.2.7. Доля зоопланктона различных таксономических групп в общей численности (А) и биомассе (Б) на разрезе «Кольский меридиан» в 1960–2017 гг. (1990 и 2013 гг. – нет данных)

В сообществах копепод наиболее многочисленными были *Calanus finmarchicus* и *Oithona similis*, а также науплии копепод (преимущественно *C. finmarchicus* и *Metridia* sp.) (рис. 3.2.8А). В разные годы доля *C. finmarchicus* варьировала от 5,5 до 83,0 % (в среднем 39,0 %) от общей численности копепод, а доля *O. similis* – от 4,3 до 86,6 % (в среднем 34,4 %). Доля

науплиев копепод в различные годы изменялась очень существенно – от менее 0,1 до 65,1 % (в среднем 20,3 %). Науплии *C. finmarchicus* – основная пища для ранних личинок трески, и численность первых в апреле-мае – один из основных определяющих факторов для выживания вторых [108]. Установлена прямая положительная зависимость численности науплиев каля-нуса от температуры воды в весенний период [21].



Рис. 3.2.8. Доля различных копепод в их общей численности (А) и биомассе (Б) на разрезе «Кольский меридиан» в 1960–2017 гг. (1990 и 2013 гг. – нет данных)

Обнаружена обратная зависимость между соотношением численности *C. finmarchicus* и *O. similis* – при увеличении доли первого вида копепод происходит снижение доли второго ($R^2 = 0,61$). В целом мелкие виды ко-

пепод имели большее значение в их общей численности в 1960–1992 гг., тогда как в более поздний период (с 2008 по 2017 г.) в сообществах копепод увеличилась доля крупных видов, главным образом *C. finmarchicus*. Балази с соавторами [152] также обнаружили отрицательную корреляцию между численностью *C. finmarchicus* и *O. similis* в водах Западного Шпицбергена и установили, что первый вид доминирует в мае-июле, а второй – в сентябре-октябре. Отмечено, что в июне-июле численность *O. similis* ниже, чем в мае [21]. *O. similis* – космополитичный и один из наиболее многочисленных видов копепод, населяющих северные моря. Являясь всеядной, *O. similis* не зависит от сезонного развития фитопланктона и может размножаться круглогодично [153], а широкий диапазон температурной устойчивости (от 4 до 25 °C) позволяет ей выживать в условиях, неблагоприятных для других видов копепод [163, 165].

Биомассу копепод формировал преимущественно *C. finmarchicus*, доля которого варьировала от 17,3 до 98,1 % (в среднем составляя 87,4 %) (см. рис. 3.2.8Б). Доля *O. similis* в общей биомассе копепод была невелика и в среднем составила 2,4 %, изменяясь в разные годы от 0,3 до 35,5 %, а доля науплиев в целом – низкой (в среднем 3,0 %). В некоторые годы существенным компонентом общей биомассы копепод являлись мелкий *Pseudocalanus* sp. (14,9–69,9 %), а также крупный арктический *C. hyperboreus* (4,5–36,4 %) (см. рис. 3.2.8Б). Доля *Metridia* spp. составляла 7,1 % только в 1978 г., но в основном не превышала 1,0 %.

Calanus finmarchicus был основным компонентом сообществ копепод в июне, составляя 61,2 % от их общей численности, а в июле его самая низкая доля – 18,3 %. Его численность в мае составляла 598 ± 32 экз./м³, июне 2164 ± 189 экз./м³ и июле 327 ± 19 экз./м³ (рис. 3.2.9А).

В мае и июне отмечалась существенная численность науплиев копепод, в основном *C. finmarchicus* и *Metridia* sp. – 553 ± 26 и 691 ± 65 экз./м³ соответственно, а в июле она резко снизилась до 36 ± 2 экз./м³ (см. рис. 3.2.9А). Это свидетельствует о массовом нересте *C. finmarchicus* и *Metridia* sp. в мае-июне. Продолжительность развития науплиев, которые последовательно проходят 6 стадий при средней температуре 3,5–5,5 °C в мае-июле [105], составляет около 25–35 дней. В июле численность науплиев резко снижается как в результате того, что в процессе развития после терминальной линьки они превращаются в особей I копеподитной стадии, так и вследствие высокой естественной смертности и выедания их различными хищниками.

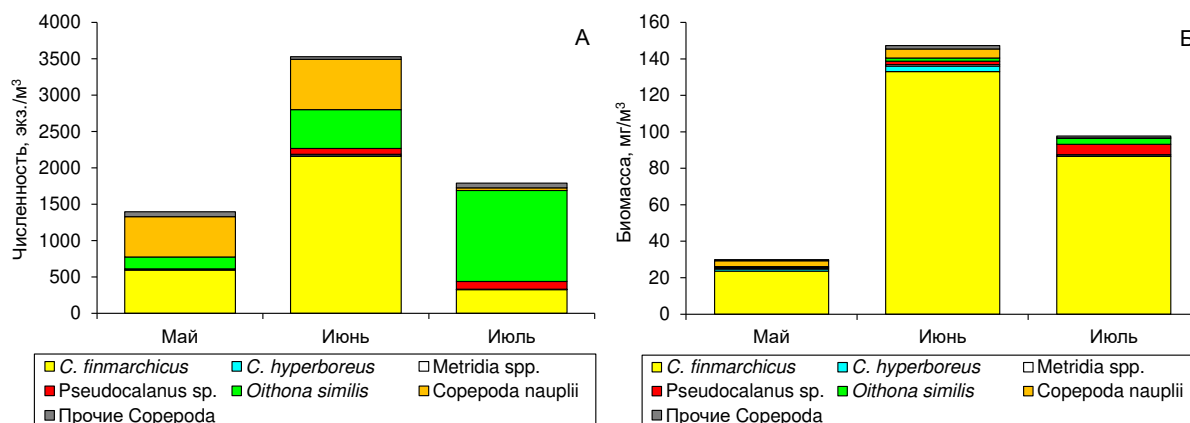


Рис. 3.2.9. Средняя численность (А) и биомасса (Б) зоопланктона на разрезе «Кольский меридиан» в мае, июне и июле 1960–2017 гг.

Численность *O. similis* постепенно увеличивалась и достигла максимума в июле, в мае этот показатель составлял 165 ± 7 экз./м³, июне 534 ± 31 экз./м³, июле 1251 ± 57 экз./м³ (см. рис. 3.9А). Также отмечалось постепенное увеличение численности *Pseudocalanus* sp. от мая к июлю, но в целом она была низкой (см. рис. 3.2.9А).

В общей биомассе копепоид в мае–июле всецело доминировал *C. finmarchicus*, а его наибольшая биомасса наблюдалась в июне (см. рис. 3.2.9Б). Биомасса *C. finmarchicus* составляла $23,6 \pm 1,4$ мг/м³ в мае, $133,0 \pm 12,7$ мг/м³ в июне и $86,5 \pm 6,0$ мг/м³ в июле (см. рис. 3.9Б). Биомасса остальных копепоид не превышала 6 мг/м³ (см. рис. 3.2.9Б). Многочисленная, но мелкая *O. similis* в общей биомассе копепоид значительной роли не играла, а ее максимальная биомасса отмечалась в июле – $3,4 \pm 0,2$ мг/м³ (см. рис. 3.2.9Б).

Возрастная структура популяции *C. finmarchicus*. В популяции *C. finmarchicus* обнаружены особи всех стадий развития. В мае и июне наибольшее значение в общей численности имели особи младших (I–III) копепоидитных стадий, в июле доля младших и старших (IV–V) копепоидитов была одинакова (рис. 3.2.10). Соотношение особей различных копепоидитных стадий изменялось от мая к июлю – доля особей I и II копепоидитных стадий постепенно снижалась, в то время как доля III–IV копепоидитов увеличивалась. Особи V копепоидитной стадии в мае и июне встречались единично, в июле их доля резко увеличилась до 18,5 %. Взрослые особи *C. finmarchicus* (самки и самцы) были крайне немногочисленными – суммарная доля не превышала 0,3 %. Возрастная структура *C. finmarchicus* соответствует периоду размножения и развития. Присутствие в это время в планктоне науплиев копепоид (см. рис. 3.2.10), среди которых основная масса является науплиями *C. finmarchicus*, свидетельствует о его продолжающемся размножении.

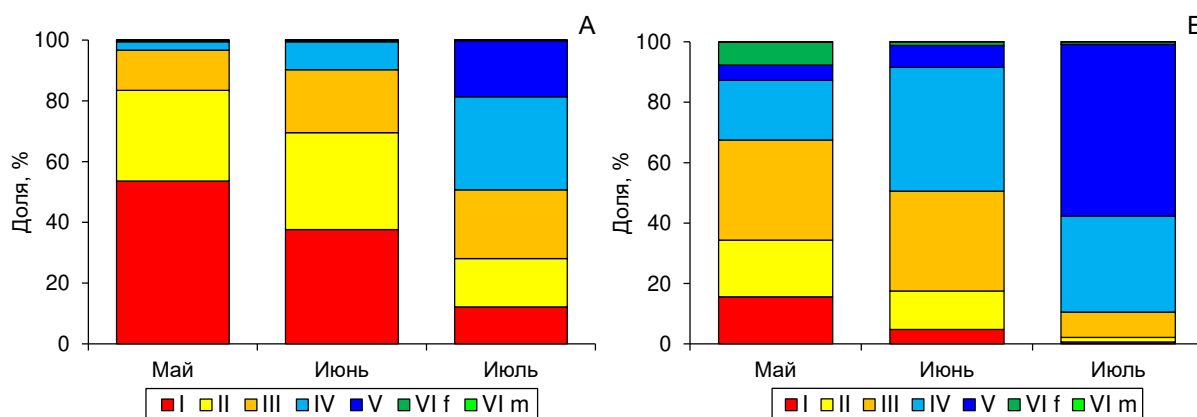


Рис. 3.2.10. Соотношение различных стадий развития *C. finmarchicus* на разрезе «Кольский меридиан» в мае, июне и июле 1960–2017 гг.: А – численность; Б – биомасса

Как установил еще в 1939 г. В.А. Яшнов [120], *Calanus finmarchicus* является доминирующим видом в зоопланктоне юго-западной части Баренцева моря, а на разрезе «Кольский меридиан» он составляет в среднем от 69 до 91 % от общей биомассы зоопланктона в различные сезоны года. В мае–июле отмечается пик развития *C. finmarchicus* [36, 121], а срок его наступления зависит от темпа прогрева водной толщи и интенсивности притока теплых атлантических вод [4, 22]. В южной части Баренцева моря, где располагается разрез «Кольский меридиан», пополнение сообществ зоопланктона, и в частности популяции *C. finmarchicus*, особями, которые приносятся с водами теплого течения из Норвежского моря в Баренцево, варьирует год от года и может быть существенным [145, 146, 159].

Ранее было показано, что биомасса зоопланктона выше в годы с более высокой температурой и интенсивным притоком теплых атлантических вод [155]. В 1960–1992 гг. в основном отмечались отрицательные температурные аномалии, перемежающиеся единичными годами или короткими периодами с положительными аномалиями температуры (см. гл. 1). Численность и биомасса зоопланктона в этот относительно холодный период при существенных межгодовых колебаниях в среднем были невысокими. В 1989 г. наблюдался необычно мощный приток атлантических вод [149], с которым, как предполагается, перенесено большое количество зоопланктона (*C. finmarchicus*) в северо-восточном направлении [146]. По нашим материалам заметного увеличения численности и биомассы зоопланктона в 1989–1992 гг. не отмечалось, а с 1993 по 2007 г. исследования зоопланктона на разрезе «Кольский меридиан» не проводили. В 2008–2012 гг. численность и биомасса зоопланктона были высокими, с 2014 г. общая численность снижалась, с 2015 г. уменьшалась общая биомасса зоопланктона.

Зависимость численности и биомассы зоопланктона от океанографических факторов не всегда очевидна. Есть мнение, что биомасса зоопланктона определяется термическими условиями предшествующего года [20] и это объясняется тем, что повышенный тепловой фон способствует увеличению содержания хлорофилла *a*, то есть активному развитию фитопланктона. Вследствие этого развивающаяся молодь весенней генерации находится в благоприятных условиях и формирует «качественный» зимующий фонд популяции, который следующей весной произведет более «качественное» потомство.

В настоящем исследовании мы анализировали только зоопланктон в слое 0–50 м, но необходимо учитывать факт суточных и сезонных вертикальных миграций зоопланктона, в частности его основного компонента – *C. finmarchicus*. После массового размножения развивающаяся молодь главным образом концентрируется в верхнем 50-метровом слое. По мере развития глубина их обитания увеличивается, и особи старших копеподитных стадий преимущественно отмечаются в слое 50–150 м [166]. Крупные особи старших копеподитных стадий формируют более высокую биомассу, а многочисленные особи младших копеподитов составляют основу численности *C. finmarchicus*. Следовательно, с развитием молоди и перемещением ее в нижние слои, численность и биомасса в верхнем 50-метровом слое уменьшаются. Результаты предыдущих исследований зоопланктона на разрезе «Кольский меридиан» показывают, что в июне 2/3 зоопланктона сосредоточены в верхнем 50-метровом слое воды, а июле–августе начинается его сезонное перемещение в придонные слои, которое завершается в декабре [53, 120].

На примере 4 лет (1961, 1973, 1977 и 2017 гг.) проанализировано соотношение численности и биомассы зоопланктона в слоях 0–50, 50–100 м и 0 м – дно. Выбранные годы относятся к теплым (1961 и 1973 гг.), аномально теплым (2017 г.) и холодным (1977 г.). Наибольшее количество зоопланктона (65–79 %) распределялось в верхнем 50-метровом слое в мае 1973 г. и июле 1961 и 1977 гг., в то время как в июне 2017 г. он (только 33 %) находился в слое 0–50 м (рис. 3.2.11А). В июне 2017 г. общая численность организмов составила 41 % в слое 50–100 м и 26 % глубже 100 м. Около половины биомассы зоопланктона в мае 1973 г. и 32–34 % в июле 1961 и 1977 гг. распределялись в слое 0–50 м (рис. 3.2.11Б). В слое 50–100 м в июле 1961 г., мае 1973 г. и июне 2017 г. биомасса равнялась 29–44 %, а в июле 1977 г. – 20 %. Остальная масса зоопланктеров концентрировалась глубже 100 м, и их доля здесь была наибольшей в июле 1977 г. и июне 2017 г. – 48 и 62 % соответственно (см. рис. 3.2.11Б).

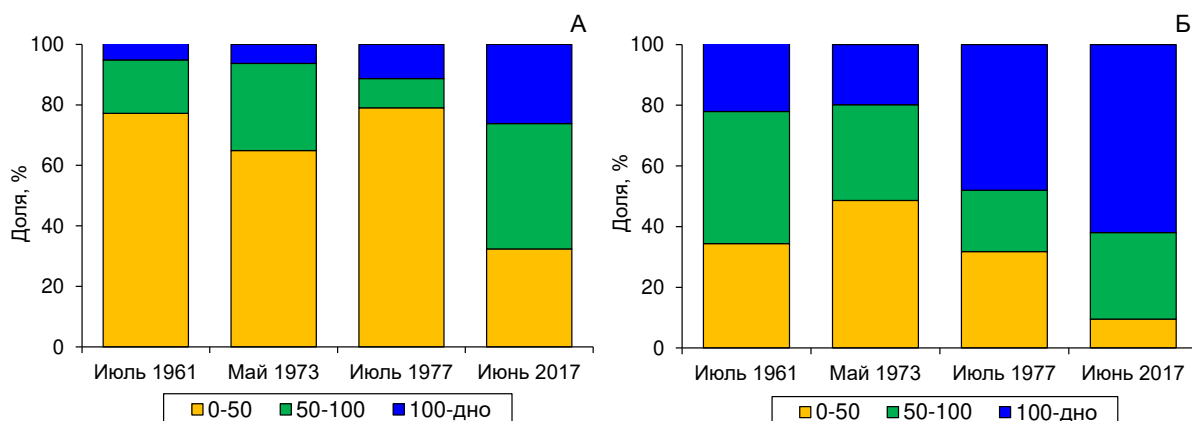


Рис. 3.2.11. Соотношение общей численности (А) и общей биомассы (Б) зоопланктона в различных слоях на разрезе «Кольский меридиан» в июле 1961 г., мае 1973 г. и июне 2017 г.

Несмотря на то что в июле 1961 г. регистрировали высокую общую численность зоопланктона, особенно в верхнем 50-метровом слое, таковая *C. finmarchicus* в этот период была очень низкой (179 экз./м³). В июле 1977 г. она также невысокая (335 экз./м³). Наиболее многочисленным этот вид был в мае 1973 г. (3123 экз./м³), а его наибольшую биомассу зафиксировали в июне 2017 г. (180,4 мг/м³). В популяции *C. finmarchicus* в июле 1961 г. доминировали особи III–IV копеподитных стадий, которые распределялись преимущественно в слое 50–100 м, в мае 1973 г. преобладали I–III копеподиты в слоях 0–50 и 50–100 м, в июле 1977 г. – особи IV–V стадий глубже 50 м, а в июне 2017 г. основная доля I–IV копеподитов концентрировалось в слоях 50–100 м и 100 м – дно.

Очевидно, что сроки начала размножения *C. finmarchicus* и темпы его развития в эти годы различались. Вероятно, в холодный 1977 г. его массовое размножение началось позже, а вследствие слабого прогрева вод скорость развития молоди была низкой. Присутствие науплиев и небольшого количества взрослых особей в этот период указывает на продолжающееся размножение. В теплые 1961 и 1973 гг. отмечалась характерная картина смещения численного доминирования от особей *C. finmarchicus* младших копеподитных стадий в мае к старшим копеподитам в июле и постепенное перемещение большей доли особей в глубокие слои воды. В аномально теплом 2017 г. его развитие происходило быстрее и уже в июне существенная доля подросшей молоди старших копеподитных стадий мигрировала глубже 50 м. В теплые годы *C. finmarchicus* начинает размножаться раньше, чем в холодные. Его численность в летний период в целом существенно ниже в холодные годы, а в популяции присутствуют все возрастные стадии без четкого

доминирования отдельных возрастных группировок, тогда как в нормальные и теплые годы преобладает подростная молодь IV–V копеподитных стадий [21].

Различия в вертикальном распределении зоопланктона, и *C. finmarchicus* в частности, могут быть обусловлены рядом факторов. Одной из предполагаемых причин высокой численности и биомассы зоопланктона в более глубоких слоях в мае–июле может быть слабо выраженный термоклин, например в 2010 г. [160]. В 2012 г. вследствие интенсивного прогрева водной толщи произошло ускорение темпа развития *C. finmarchicus* и увеличение доли особей старших копеподитных стадий, особенно глубже 50 м [155]. В 2017 г. весеннее «цветение» в южной части Баренцева моря было слабо выражено, а концентрация хлорофилла *a* существенно ниже, чем в 2016 г. и ниже среднемноголетнего уровня [148], что, вероятно, и привело к уменьшению как общей численности зоопланктона, так и численности *C. finmarchicus*. Кроме того, зоопланктон потребляют многочисленные организмы различных трофических уровней – гребневики, медузы, щетинко-челюстные, личинки и молодь различных рыб, морские птицы и млекопитающие [5, 6, 21, 52, 137, 141, 154, 157, 161, 169].

3.3. Выводы

В зоопланктоне на разрезе «Кольский меридиан» в мае–июле 1960–2017 гг. было идентифицировано 94 таксона 14 различных типов. Наибольшее количество таксонов отмечено для типов Arthropoda (44 таксона) и Cnidaria (20 таксонов).

Численность и биомасса зоопланктона существенно варьировали в период исследований, однако в целом в 1960–1992 гг. эти показатели в среднем были в 2,2 раза ниже, чем в 2008–2017 гг. Наименьшие численность и биомасса зоопланктона отмечались в мае, наибольшие – в июне. В период исследований эти показатели зоопланктона испытывали существенные межгодовые колебания в водах различных ветвей теплых течений. Несмотря на то что четкой зависимости в распределении численности и биомассы зоопланктона в струях ветвей течения не обнаружено, отмечалась слабая тенденция к увеличению численности и биомассы зоопланктона в водах Основной ветви Мурманского течения и его биомассы в водах Прибрежной ветви Мурманского течения.

Численность зоопланктона формировали веслоногие ракообразные и оболочники, а в некоторые годы была велика доля меропланктона. Основу биомассы зоопланктона составляли веслоногие ракообразные, гидроидные и эвфаузииды.

В сообществах копепод наиболее многочисленными являлись *C. finmarchicus* и *O. similis*, а также науплии копепод. Мелкие виды имели большее значение в общей численности копепод в 1960–1992 гг., тогда как в 2008–2017 гг. в этих сообществах увеличилась доля крупных видов, главным образом *C. finmarchicus*. Биомассу формировал преимущественно *C. finmarchicus*.

В популяции *C. finmarchicus* происходила последовательная смена доминирования особей младших копеподитных стадий особями старших копеподитных стадий по мере их развития от мая к июлю.

4. БЕНТОСНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Макрозообентос является важным компонентом морских экосистем шельфовых морей, в том числе Баренцева моря. Потребляя фитопланктон, сестон и детрит, бентос служит пищей для представителей более высоких трофических уровней экосистемы. Также он может использоваться как индикатор сильных кратковременных или постепенных многолетних изменений. Разнообразие по таксономической, размерной, трофической, биогеографической и топической (расположению организмов относительно поверхности грунта) характеристикам, относительная стабильность биомассы основных видов донных сообществ вследствие их многолетней продолжительности жизни – все это позволяет отслеживать происходящие в экосистеме процессы.

Интенсивные количественные бентосные исследования на разрезе «Кольский меридиан» были начаты в 1930-е годы. До этого в основном изучали фаунистический состав с помощью донных тралов различных конструкций [107]. Широкое использование дночерпателей и совершенствование методики обработки бентосных проб, а также привлечение специалистов по разным таксономическим группам позволили выполнить большое количество станций для оценки пространственного распределения бентоса. Однако низкая точность определения координат в доспутниковую эпоху и разные методические подходы к обработке бентосных проб в разные периоды затрудняют сравнение данных мониторинговых многолетних исследований на конкретных станциях.

Изучение динамики изменений в макрозообентосе на станциях разреза «Кольский меридиан» выполнено в целях выявления долговременных изменений в донных сообществах Баренцева моря под воздействием различных факторов, в первую очередь климатического.

4.1. Материалы и методы

Материалом послужили данные дночерпательных сборов, выполненных «ПИНРО» им. Н.М. Книповича (в 2000-е годы по совместной программе с ММБИ [104]) на первых 10 станциях разреза «Кольский меридиан» (табл. 4.1.1). К сожалению, не все карточки обработки проб сохранились в архиве, что обусловило пропуски в пространственно-временной структуре данных. Всего были использованы данные 118 станций.

Весь период наблюдения был разбит на четыре этапа: I – 1930–1935 гг., II – 1947–1950 гг., III – 1968–1969 гг. и IV – 2003–2019 гг. Такое

разделение вызвано значительным временным интервалом, когда исследования не выполняли более 10 лет. Внутри выделенных периодов пробы отбирали практически ежегодно.

Таблица 4.1.1

**Номера дночерпательных станций, выполненных
на разрезе «Кольский меридиан» в разные годы**

Год	Судно, рейс	Номер станции									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1930	«Персей», 28	1530		1532	1533	1534	1535	1536	1537	1541	1542
1931	«Персей», 34	1870									
1933	«Персей», 44	2291									
		2293									
		2297									
		2298									
		2299									
		2302									
		2303									
		2340									
		2341									
1934	«Персей», 51	2962		2964							
1935	«Персей», 53	3078									
1935	«Персей», 54	3349	3348	3347	3346		3344	3343			
1947	«Саратов», 16	1335	1337	1339	1341	1343	1345				
1947	«Саратов», 17	1430	1432	1434	1436	1438		1441			
1948	«Саратов», 30	2419	2421	2423	2425	2427		2430	2431	2432	
1950	«Персей2», 23	1202	1204	1205	1206	1207		1209	1210	1211	
1968	«Николай Маслов»		4/186	6/184		10/180					
1968	«Водник»	2/0, 137/2	4/0, 135/4	6/0, 134/6	8/0, 133/8	10/0	12/0	13/0	14/0		16/0
1969	«Николай Маслов»										404/424
2003	«Ромуальд Муклевич», 1	13	30	31	32	33	34	35	36		
2005	«Фритьоф Нансен»									1	2
2010	«Дальние Зеленцы»	55									
2010	«Фритьоф Нансен»		2	3	4	5	6	7	8	9	10
2011	«Дальние Зеленцы»	1									
2011	«Вильнюс»	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2012	«Вильнюс»	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2019	«Профессор Бойко»	7									

На первых двух этапах пробы отбирали дночерпателем Петерсена с площадью захвата 0,25 м², обычно в 2-кратной повторности. На III этапе пробоотбор проводили дночерпателем «Океан» с площадью захвата 0,25 м², обычно в 2-кратной повторности, на IV использовали дночерпатель Ван Вина с площадью захвата 0,1 м² в 5-кратной повторности на станции. Промывку осуществляли через сито с размером ячеей 1 мм на первых трех этапах и 0,5 мм – на четвертом. Также на первых трех этапах выборку организмов из грунта, оставшегося в сите, осуществляли на палубе, на четвертом – в береговой лаборатории под бинокуляром. Эти различия привели к тому, что численность особей и количество таксонов в последний период оказались

значительно больше. Также существует неопределенность с численностью колониальных организмов: где-то посчитали фрагменты, где-то попытались восстановить количество колоний, а где-то их численность не указывали вообще. И только биомасса хорошо сопоставима между этапами, так как она в основном представлена крупными организмами, которых учитывали на всех этапах исследований [54, 60, 104].

Животных в пробах определяли до видового или практически возможного уровня. В ходе таксономической обработки особей каждого вида/таксона в пробе подсчитывали и взвешивали с точностью до 0,001 г. У колониальных таксонов определяли количество колоний. Так как животных сохраняли в 70–75 %-ном этиловом спирте, все значения биомассы приведены во влажном спиртовом весе. Моллюсков взвешивали с раковинами, полихет – без трубок, за исключением видов, трубки которых построены из вещества, выделяемого самим червем. В нашем случае это черви вида *Spiochaetopterus typicus* (сем. Chaetopteridae) и все представители семейств Serpulidae и Spirorbidae. Полихеты сем. Oweniidae, имеющие тонкие длинные инкрустированные песком видоспецифичные трубки, плотно прилегающие к телу червя, взвешивали вместе с трубками. Для установления массы червей без трубок для *Galathowenia oculata* и представителей рода *Owenia* использовали коэффициент отношения чистой массы к весу червей с трубками, равный 1:7, а для *Myriochoele heery* – 1:5 [46]. При обработке червей *S. typicus* экземпляры считали по количеству фрагментов трубок с головным отделом червя, для определения биомассы взвешивали фрагменты трубок с телом червя. Систематика дана по WoRMS-2025 [168].

Биомасса и плотность поселения организмов на станциях рассчитывались на 1 м² по формуле:

$$A = \frac{\sum_{i=1}^n a_i}{n} \times \frac{1}{s},$$

где A – количественный показатель (биомасса или плотность поселения);

a – масса или количество особей i -го вида/таксона в пробе (дночерпателе);

n – количество проб (сборов дночерпателем), отобранных на станции;

s – площадь пробоотбора дночерпателя.

Видовое богатство оценивалось через показатель видовой плотности – количество таксонов на стандартную площадь. В качестве стандартной площади для современных данных взята суммарная площадь захвата

пяти дночерпателей Ван Вина, отобранных на станции, т.е. 0,5 м², для архивных – площадь захвата двух дночерпателей Петерсена или «Океанов», выполненных на станции, т.е. также 0,5 м².

Для оценки биоразнообразия использовали индекс Шеннона:

$$H = - \sum \frac{n_i}{N} \log \frac{n_i}{N},$$

где n_i – обилие i -го вида;

N – суммарное обилие всех видов в выборке.

Видовое разнообразие определяется в основном типом сообщества и естественными условиями конкретного биотопа, а также сезонными и межгодовыми колебаниями количества и обилия видов [10].

В целях выявления влияния климатического фактора на донные биоценозы был рассчитан биогеографический индекс BGI, представляющий собой отношение разницы биомассы бореальных и арктических видов к их сумме [54, 128].

Для оценки экологического состояния акватории применяли Морской биотический индекс (AMBI – AZTI Marine Biotic Index) в целях долгосрочного мониторинга состояния морских и эстуарных сообществ европейских вод. Этот индекс является одним из так называемых «биотических индексов», использующих морские макробентосные организмы в качестве биоиндикаторов [129].

В основе индекса лежит подразделение видов на 5 экологических групп: чувствительные (GI), индифферентные (GII) и толерантные (GIII) к эвтрофикации, оппортунисты второго (GIV) и первого (GV) порядков. Индекс вычисляли по формуле [143]:

$$AMBI = (0 \times \%GI + 1,5 \times \%GII + 3 \times \%GIII + 4,5 \times \%GIV + 6 \times \%GV) / 100,$$

где GI ... GV – экологические группы видов;

%GI ... %GV – доля экологических групп от общей численности макрозообентоса в пробе, %.

Значение индекса варьирует в диапазоне от 0 до 6. Чем выше его значение, тем более сильный стресс (предположительно антропогенный) испытывает сообщество. Апробация индекса на европейских морских и эстуарных экосистемах показала, что он корректно отражает уровень таких стрессовых антропогенных воздействий, как эвтрофикация, физическое изменение местообитания, загрязнение тяжелыми металлами и другими поллютантами. Соотнесение значений индекса с принятыми классификациями экосистемных нарушений представлено в табл. 4.1.2.

Ранжирование Морского биотического индекса по экологической шкале [143]

AMBI	Классификация степени нарушения сообщества	Статус экосистемы (WFD*)
0,0<AMBI≤1,2	Ненарушенное	Высокий
1,2<AMBI≤3,3	Легкое	Хороший
3,3<AMBI≤4,3	Умеренное	Умеренный
4,3<AMBI≤5,0		Бедный
5,0<AMBI≤5,5	Сильное	Плохой
5,5<AMBI≤6,0		

*WFD – Европейская директива водных критериев.

Также для оценки экологического состояния применялся модифицированный AMBI – M-AMBI, который представляет собой линейную комбинацию величин AMBI, количества видов в пробе (S) и индекса Шеннона (H):

$$M - AMBI = r + aAMBI + bS + cH,$$

причем величины вкладов каждого из компонентов (a , b , c) и константы r определяются методом дискриминантного анализа, обеспечивая лучшую классификацию проб по классам [10].

Для выделения таксонов, доминирующих на станции, был использован оригинальный индекс, являющийся произведением отношения суммы биомассы таксона к сумме общей биомассы зообентоса на частоту встречаемости таксона, выраженную в процентах. Предложенный индекс представленности (R , %) вычисляется по формуле:

$$R = \frac{\sum_{i=1}^n B_i}{\sum_{t=1}^N B_t} \times \frac{n}{N} \times 100\%,$$

где n – количество проб с i -м таксоном;
 N – общее количество проб на станции;
 B_i – биомасса i -го таксона в пробе, г/м²;
 B_t – общая биомасса пробы, г/м².

Здесь под пробой понимается конкретная станция, выполненная на разрезе, а под станцией – совокупность их всех, выполненных на мониторинговой станции разреза «Кольский меридиан» в определенный период.

Введение данного индекса продиктовано тем обстоятельством, что известные в гидробиологии формулы для определения значимости вида в донных сообществах применяют абсолютную биомассу, что затрудняет сравнение значимости вида в сообществе на разных станциях или в другие временные промежутки [83]. Индекс представленности предполагает использовать не абсолютную величину биомассы таксона, а его долю в общей биомассе

сообщества. Это позволяет сравнивать значимость вида для станций с разными общими биомассами, но предположительно входящими в одно сообщество. Фактически предложенный индекс является модификацией индекса плотности Мордухай-Болтовского [61], обозначающего квадратный корень из произведения частоты встречаемости вида на его среднюю биомассу. Отличие заключается лишь в том, что вместо средней биомассы берется доля вида в общей биомассе на станции. Так как получаемая величина ранжируется от 0 до 100, то отпадает необходимость извлечения квадратного корня из этого произведения для снижения размерности.

В связи с отличием методик обработки проб в различные периоды исследований сравнение станций на разрезе по количеству видов и плотности проводили внутри одного этапа. Биомассу оценивали на станциях как внутри этапа между собой, так и на каждой станции между этапами.

4.2. Результаты и обсуждение

На 10 станциях разреза на I этапе исследований (1930–1935 гг.) было отмечено 146 таксонов макрозообентоса (85 видового ранга), представители которых принадлежали к 11 типам, 18 классам, 38 отрядам и 62 семействам морских донных беспозвоночных (таблица Приложения В). Разнообразие и количественные характеристики донной фауны на станциях очень различались (табл. 4.2.1).

Таблица 4.2.1

Характеристика донной фауны на станциях разреза «Кольский меридиан» на I этапе исследований в 1930–1935 гг.

Параметр	Номер станции									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Кол-во таксонов	98	24	42	38	17	30	32	17	22	26
Видовая плотность, такс./ст.	17	24	18	22	17	18	19	17	22	26
Биомасса, г/м ²	35,7	1034,5	42,0	19,7	20,0	24,5	36,7	38,1	76,1	52,5
Плотность, экз./м ²	385	126	391	449	380	318	295	572	792	896
Индекс Шеннона	2,0	2,8	1,7	1,9	1,5	2,1	1,8	1,2	1,3	1,8
AMBI	1,5	0,6	1,5	1,8	2,5	2,1	1,6	2,6	2,6	2,2
M-AMBI	0,7	0,9	0,71	0,71	0,6	0,7	0,7	0,5	0,6	0,7

Наибольшее биоразнообразие отмечено на ст. 2 (индекс Шеннона равен 2,8) и зарегистрирована самая большая биомасса (в основном сформированная губками). Наибольшая видовая плотность и самая высокая плотность особей – на самой северной ст. 10. Минимальные значения биомассы наблюдались на центральных станциях разреза в зоне действия Основной ветви Мурманского течения.

На 9 станциях разреза на II этапе исследований (1947–1950 гг.) было отмечено 172 таксона макрозообентоса (из них 107 определены до видового ранга), представители которых принадлежали к 11 типам, 21 классу, 52 отрядам и 100 семействам морских донных беспозвоночных (см. таблицу Приложения В). Количественные характеристики донной фауны на станциях оказались более выровненными, чем на I этапе (табл. 4.2.2).

Таблица 4.2.2

Характеристики донной фауны на станциях разреза «Кольский меридиан» на II этапе исследований в 1947–1950 гг.

Параметр	Номер станции									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Кол-во таксонов	62	82	50	47	50	6	29	24	32	–
Видовая плотность, такс./ст.	22	29	17	18	16	6	11	14	17	–
Биомасса, г/м ²	74,2	160,7	189,4	75,8	22,2	21,2	93,8	35,0	40,2	–
Плотность, экз./м ²	183	195	311	182	182	112	533	118	138	–
Индекс Шеннона	2,0	2,5	1,7	1,2	1,7	0,6	1,6	2,0	1,8	–
AMBI	0,7	0,8	0,8	0,8	1,4	1,3	2,0	1,1	2,2	–
M-AMBI	0,7	0,8	0,6	0,6	0,6	0,4	0,5	0,6	0,6	–

Наибольшее биоразнообразие было на ст. 2 (индекс Шеннона равен 2,5), видовая плотность также выше, чем на остальных. Самая значительная биомасса зарегистрирована на ст. 3. Минимальные показания биомассы по-прежнему отмечены на центральных станциях разреза в зоне действия Основной ветви Мурманского течения.

На 9 станциях разреза на III этапе исследований (1968–1969 гг.) было 85 таксонов макрозообентоса (из них 58 определены до видового ранга), представители которых принадлежали к 9 типам, 14 классам, 32 отрядам и 54 семействам морских донных беспозвоночных (см. таблицу Приложения В). Количество определенных таксонов, видовая плотность и количественные характеристики донной фауны на станциях III этапа оказались самыми маленькими за все время наблюдений (табл. 4.2.3).

Таблица 4.2.3

Характеристика донной фауны на станциях разреза «Кольский меридиан» на III этапе исследований в 1968–1969 гг.

Параметр	Номер станции									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Кол-во таксонов	17	18	33	28	22	9	4	12	–	17
Видовая плотность, такс./ст.	10	6	13	16	12	9	4	12	–	9
Биомасса, г/м ²	30,2	21,4	10,2	15,0	36,1	6,0	12,2	25,9	–	4,0
Плотность, экз./м ²	96	43	99	148	65	122	112	168	–	54
Индекс Шеннона	2,0	1,6	2,0	1,8	2,3	2,0	0,7	2,0	–	2,1
AMBI	1,3	0,9	1,3	1,5	0,9	1,8	2,8	1,4	–	1,0
M-AMBI	0,7	0,6	0,7	0,7	0,8	0,7	0,4	0,7	–	0,7

Самое значительное биоразнообразие зафиксировано на ст. 5 (индекс Шеннона равен 2,3), видовая плотность была выше на ст. 4, самая большая биомасса – на ст. 5. Минимальные значения биомассы – на самой северной станции.

На 10 станциях разреза на IV этапе исследований (2003–2019 гг.) отмечено 711 таксонов макрозообентоса (из них 566 определены до видового ранга), представители которых принадлежали к 13 типам, 23 классам, 62 отрядам и 221 семейству морских донных беспозвоночных (см. таблицу Приложения В). В данный период зарегистрировано самое большое биоразнообразие и количество таксонов (в основном из-за улучшения качества обработки материала) (табл. 4.2.4).

Таблица 4.2.4

Характеристики донной фауны на станциях разреза «Кольский меридиан» на IV этапе исследований в 2003–2019 гг.

Параметр	Номер станции									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Кол-во таксонов	184	386	236	233	192	216	197	257	172	189
Видовая плотность, такс./ст.	72	182	111	108	93	99	92	123	80	86
Биомасса, г/м ²	40,0	30,4	44,7	95,7	30,2	72,1	49,6	101,3	56,0	128,6
Плотность, экз./м ²	2223	5343	2427	4722	2007	2094	1750	3471	1520	2102
Индекс Шеннона	2,9	3,8	3,3	2,6	3,0	3,3	3,3	3,0	3,0	2,6
AMBI	1,5	1,2	1,2	1,0	1,5	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
M-AMBI	0,7	0,9	0,8	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,6	0,6

Наибольшее биоразнообразие и видовая плотность наблюдались на ст. 2 (индекс Шеннона равен 3,8). Самая большая биомасса зафиксирована на ст. 10, ее минимальные значения – на южных станциях разреза в основном в зоне действия Прибрежной ветви Мурманского течения.

Индексы экологического состояния на станциях разреза «Кольский меридиан» за все время исследований характеризовали статус экосистемы как высокий и хороший и показали отсутствие или легкую степень нарушения сообществ.

Временная динамика биомассы имеет для некоторых станций сходный тип изменений, который совпадает с приуроченностью к определенным морским течениям [54]. Макрозообентос на ст. 1 и 3, находящийся под влиянием Прибрежной ветви Мурманского течения, показал сходную динамику биомассы: при почти одинаковых величинах на I, III и IV этапах наблюдений, на II – значения биомассы были намного выше (рис. 4.2.1).

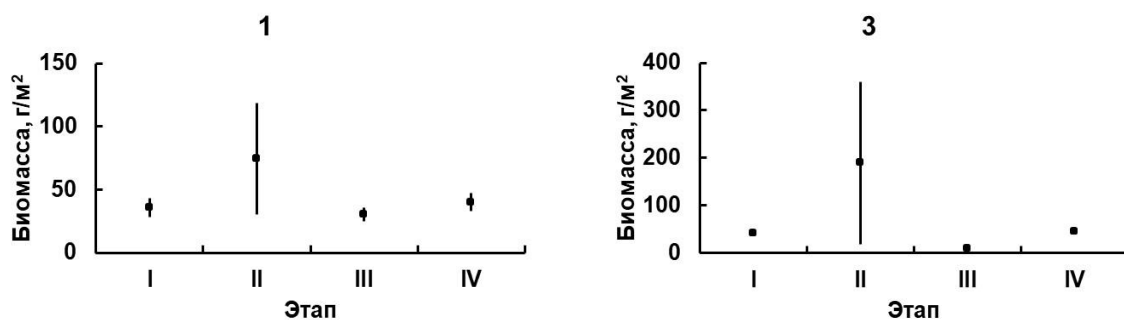


Рис. 4.2.1. Динамика биомассы макрозообентоса на ст. 1 и 3 разреза «Кольский меридиан»: 1, 3 – номера станций; средние величины показаны с ошибкой среднего. Здесь и в табл. 4.2.2–4.2.5 усл. обозн. см. на рис. 4.2.1

Макрозообентос на ст. 4 и 7, находящийся под влиянием Основной ветви Мурманского течения, также показал сходную динамику биомассы: низкие величины на I и III этапах наблюдений и более высокие – на II и IV (рис. 4.2.2).

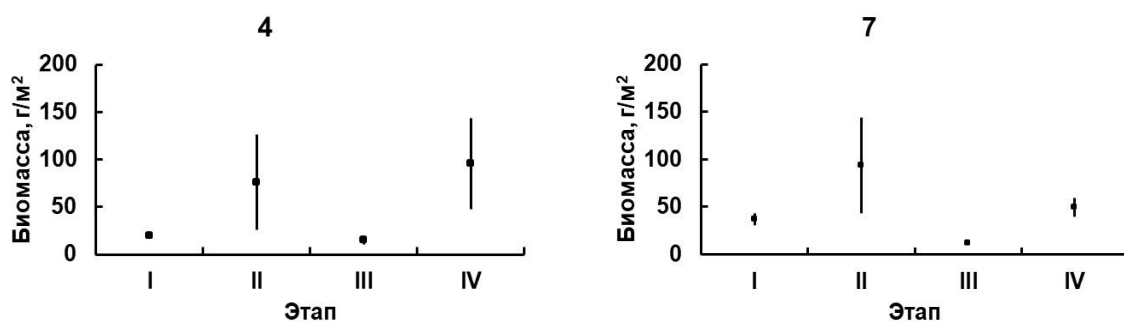


Рис. 4.2.2. Динамика биомассы макрозообентоса на ст. 4 и 7 разреза «Кольский меридиан»

Макрозообентос на ст. 6 (находящийся под влиянием Основной ветви Мурманского течения) и 8 (под влиянием Центральной ветви Нордкапского течения) тоже демонстрировал сходную динамику биомассы: небольшие величины на первых трех этапах наблюдений и более высокую – на последнем (рис. 4.2.3).

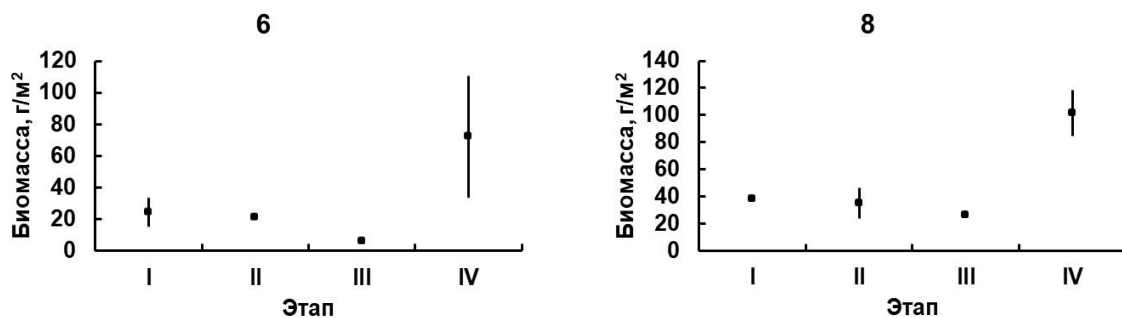


Рис. 4.2.3. Динамика биомассы макрозообентоса на ст. 6 и 8 разреза «Кольский меридиан»

Макрозообентос на ст. 2 (находящийся под влиянием Прибрежной ветви Мурманского течения) и 5 (под влиянием Основной ветви Мурманского течения) обладал уникальной динамикой биомассы: на ст. 2 между первыми тремя этапами наблюдений таковая неуклонно снижалась, а на ст. 5 была максимальной на III этапе, на всех остальных этапах оказалась минимальной (рис. 4.2.4). На ст. 2 уменьшение биомассы между I и II этапами можно объяснить методическими причинами (вследствие небольшого количества проб): ее снижение между II и III этапами и дальнейшая стабилизация на низком уровне – результат воздействия донного тралового промысла. Зообентос на этой станции, находящейся на возвышенности, в основном был представлен крупными губками и другими представителями эпифауны, уязвимыми для механического воздействия донных орудий лова. Причина увеличения биомассы на ст. 5 на III этапе наблюдений пока остается непонятной.

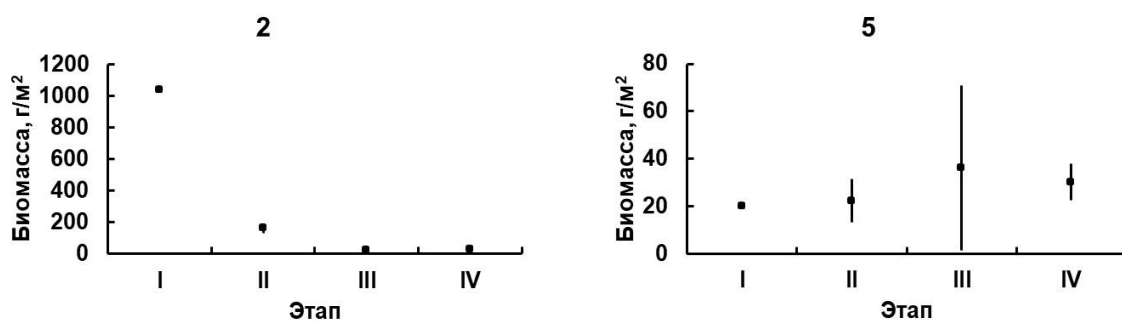


Рис. 4.2.4. Динамика биомассы макрозообентоса на ст. 2 и 5 разреза «Кольский меридиан»

Динамика биомассы макрозообентоса на ст. 9 и 10, находящегося под влиянием Центральной ветви Нордкапского течения, не совсем понятна из-за отсутствия данных на отдельных этапах (рис. 4.2.5).

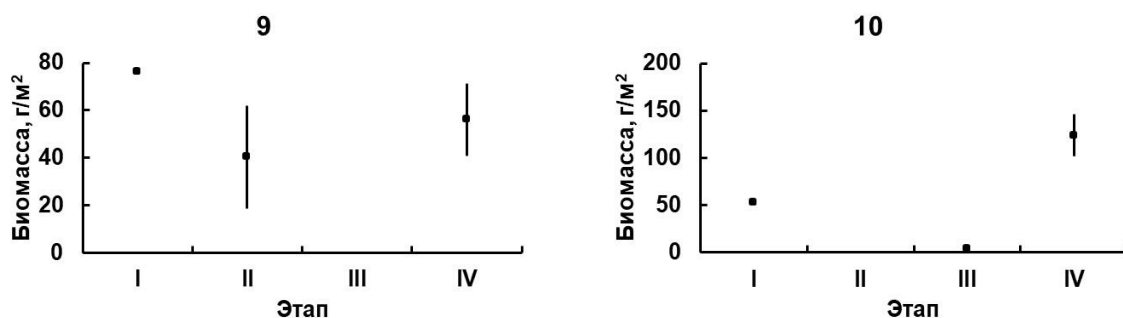


Рис. 4.2.5. Динамика биомассы макрозообентоса на ст. 9 и 10 разреза «Кольский меридиан»

Биогеографическая структура сообществ макрозообентоса на разрезе «Кольский меридиан» в целом сходна с таковой для всего Баренцева моря. В донной фауне на всех этапах наблюдений преобладали бореально-арктические виды. Однако соотношение основных биогеографических групп изменялось за время наблюдений (табл. 4.2.5). Представленность арктических видов являлась случайной без каких-либо заметных пространственно-временных трендов. Усредненная по всем периодам доля бореально-арктических видов имела тенденцию к увеличению с юга на север, а усредненная по всем станциям – последовательно уменьшалась за время исследований. Доля бореальных видов в общем была закономерно выше на южных станциях и увеличивалась в течение всего периода наблюдений. Доля видов-космополитов не выявила выраженной тенденции во времени, и в основном была приурочена к более южным станциям. Также биогеографический индекс оказался закономерно выше на этих станциях (табл. 4.2.6). На IV этапе 9 из 10 станций разреза имели положительные значения индекса.

Пространственно-временная динамика структуры доминирования таксонов в сообществах зообентоса на станциях разреза, выраженного индексом представленности, очень изменялась за время наблюдения (табл. 4.2.7). На восьми станциях, кроме первых двух, на I этапе исследования доминировала седентарная полихета *Spiochaetopterus typicus*, на ст. 1 она была в субдоминантах. Таким образом, на начальном этапе почти на всех станциях разреза представлено сообщество с доминированием полихеты *S. typicus*, которая уступила лидерство другой – *Maldane sarsi* – лишь на одной станции. И только на ст. 2, самой мелководной с жесткими грунтами, существовало сообщество губок. Доминирование *S. typicus* может быть объяснено тем, что этот вид становится особенно массовым в теплые периоды [13, 60].

Таблица 4.2.5

**Доля макрозообентоса различных биогеографических групп
от их суммарной биомассы на станциях разреза «Кольский меридиан», %**

Этап	Номер станции										Среднее
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Арктические											
I	15,5	0	0,5	0,8	0	0,1	1,8	0	0	0	1,9
II	0,3	0,1	0,9	0,1	0,1	0	0	7,5	0	—	1,0
III	0	0,5	0	0,6	0	0	0	0	—	0	0,1
IV	0,3	4,1	1,2	0,3	1,6	0,3	0,6	0,8	0,5	0,7	1,0
Среднее	4,0	1,2	0,7	0,5	0,4	0,1	0,6	2,1	0,2	0,2	1,0
Бореально-арктические											
I	81,6	98,4	91,6	98,4	96,5	99,5	95,5	95,6	99,8	99,1	95,6
II	77,2	70,8	99,1	90,4	93,5	95,5	100	91,5	99,5	—	90,8
III	99,3	47,7	97,7	83,5	90,8	100	100	100	—	87,8	89,6
IV	83,8	60,6	92,2	12,8	91,3	41,3	91,7	96,3	97,6	98,6	75,8
Среднее	85,5	69,4	95,2	71,3	93,0	84,1	96,8	95,9	99,0	95,2	88,0
Бореальные											
I	0,6	1,6	7,6	0,8	0	0	0	0	0	0	1,1
II	0,5	25,5	0,05	9,5	5,9	4,5	0	0,5	0	—	5,2
III	0,7	22,7	2,3	2,6	9,2	0	0	0	—	12,2	5,5
IV	15,7	33,2	6,0	77,7	6,9	57,2	1,9	2,4	1,1	0,6	20,3
Среднее	4,4	20,8	4,0	22,7	5,5	15,4	0,5	0,7	0,4	4,3	8,0
Космополиты											
I	2,3	0	0,2	0	3,5	0,4	2,7	4,4	0,2	0,9	1,4
II	21,9	3,6	0	0	0,5	0	0	0,4	0,5	—	3,0
III	0	29,1	0	13,3	0	0	0	0	—	0	4,7
IV	0,3	2,1	0,6	9,2	0,2	1,2	5,7	0,6	0,8	0,1	2,1
Среднее	6,1	8,7	0,2	5,6	1,1	0,4	2,1	1,4	0,5	0,3	2,8

Таблица 4.2.6

Значения биогеографического индекса на станциях разреза «Кольский меридиан»

Этап	Номер станции									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
I	–0,93	1,0	0,87	0,02	0	–1,0	–1,0	0	0	0
II	0,31	0,99	–0,90	0,97	0,97	1,0	0	–0,87	0	
III	1,0	0,96	1,0	0,63	1,0	0	0	0		1,0
IV	0,96	0,78	0,67	0,99	0,63	0,99	0,50	0,51	0,34	–0,11

Примечание. Синим цветом выделены сильно отрицательные значения индекса (от –1,0 до –0,34), желтым – нейтральные (от –0,33 до 0,33), красным – сильно положительные значения (от 0,34 до 1,0).

Таблица 4.2.7

**Доминирующие (по индексу представленности – R) таксоны
на станциях разреза «Кольский меридиан»**

Номер станции	Этап	Доминант	R	Субдоминант	R
1	I	<i>Maldane sarsi</i>	15,1	<i>Spiochaetopterus typicus</i>	4,7
	II	<i>Astarte crenata</i>	7,3	Porifera g. sp.	6,5
	III	<i>Maldane sarsi</i>	69,3	<i>Astarte crenata</i>	6,6
	IV	<i>Spiochaetopterus typicus</i>	35,2	<i>Maldane sarsi</i>	17,6
2	I	Porifera g. sp.	98,5	<i>Astarte crenata</i>	0,9
	II	<i>Thenaea muricata</i>	37,9	Porifera g. sp.	22,6
	III	Porifera g. sp.	56,4	<i>Placostegus tridentatus</i>	1,3
	IV	<i>Bathyarca pectunculoides</i>	19,5	<i>Modiolula phaseolina</i>	7,6
3	I	<i>Spiochaetopterus typicus</i>	12,0	<i>Molpadia</i> sp.	10,9
	II	<i>Thenaea muricata</i>	15,0	<i>Ctenodiscus crispatus</i>	10,4
	III	<i>Astarte crenata</i>	20,9	<i>Spiochaetopterus typicus</i>	6,2
	IV	<i>Molpadia borealis</i>	33,3	Nemertea g. sp.	9,3
4	I	<i>Spiochaetopterus typicus</i>	54,1	<i>Molpadia borealis</i>	7,3
	II	<i>Molpadia borealis</i>	48,8	<i>Spiochaetopterus typicus</i>	10,3
	III	<i>Spiochaetopterus typicus</i>	15,0	<i>Yoldiella intermedia</i>	14,0
	IV	<i>Brisaster fragilis</i>	56,5	<i>Filograna implexa</i>	4,4
5	I	<i>Spiochaetopterus typicus</i>	88,4	<i>Notomastus latericeus</i>	3,0
	II	<i>Spiochaetopterus typicus</i>	26,4	<i>Ctenodiscus crispatus</i>	3,7
	III	<i>Scoletoma fragilis</i>	27,7	<i>Molpadia borealis</i>	24,2
	IV	<i>Astarte crenata</i>	31,7	<i>Maldane sarsi</i>	16,8
6	I	<i>Spiochaetopterus typicus</i>	81,7	<i>Praxillella gracilis</i>	2,1
	II	<i>Astarte crenata</i>	47,7	<i>Spiochaetopterus typicus</i>	42,6
	III	Gastropoda g. sp.	55,9	Maldanidae g. sp.	11,3
	IV	<i>Spiochaetopterus typicus</i>	15,1	<i>Bolocera tuediae</i>	13,5
7	I	<i>Spiochaetopterus typicus</i>	56,1	<i>Pontaster tenuispinus</i>	5,9
	II	<i>Galathowenia oculata</i>	27,4	<i>Ctenodiscus crispatus</i>	8,8
	III	<i>Spiochaetopterus typicus</i>	89,2	Polychaeta g. sp.	8,2
	IV	<i>Spiochaetopterus typicus</i>	51,2	<i>Ctenodiscus crispatus</i>	8,4
8	I	<i>Spiochaetopterus typicus</i>	73,1	<i>Scoletoma fragilis</i>	19,1
	II	<i>Molpadia borealis</i>	27,5	<i>Spiochaetopterus typicus</i>	16,7
	III	<i>Spiochaetopterus typicus</i>	54,1	<i>Cistenides hyperborea</i>	34,0
	IV	<i>Spiochaetopterus typicus</i>	47,3	<i>Hornera lichenoides</i>	4,2
9	I	<i>Spiochaetopterus typicus</i>	56,3	<i>Ctenodiscus crispatus</i>	22,3
	II	<i>Spiochaetopterus typicus</i>	53,1	Porifera g. sp.	6,7
	III				
	IV	<i>Spiochaetopterus typicus</i>	59,0	<i>Bathyarca glacialis</i>	16,2
10	I	<i>Ctenodiscus crispatus</i>	45,7	<i>Spiochaetopterus typicus</i>	42,1
	II				
	III	Maldanidae g. sp.	13,8	<i>Ophiura sarsii</i>	9,0
	IV	<i>Spiochaetopterus typicus</i>	74,7	<i>Scoletoma fragilis</i>	3,0

Примечание. Жирным шрифтом выделены значения индекса представленности, когда его величина у доминанта (или доминанта+субдоминанта) превышает 50.

На II этапе исследований по невыясненным причинам на нескольких станциях произошла смена доминирующих таксонов. При одновременном уменьшении биомассы на ст. 2 (состоявшей практически из губок) почти в 5 раз губки появились на соседних станциях: на 3-й они сменили в качестве доминанта *S. typicus*, а на 1-й вышли в субдоминанты. На ст. 4 и 8 *S. typicus*

уступила доминирование голотурии *Molpadia borealis*, на ст. 1 и 6 – двустворчатому моллюску *Astarte crenata*, а на ст. 7 – другой, более мелкой полихете *Galathowenia oculata*. На остальных трех станциях *S. typicus* сохранила доминирование. Таким образом, между I и II этапами исследований количество сообществ зообентоса увеличилось с 3 до 5.

На III этапе губки сохранились в доминантах на ст. 2 при одновременном снижении общей биомассы до минимальных значений. Общее количество сообществ на разрезе – не меньше 6. Сообщество *S. typicus* осталось только на ст. 4, 7 и 8.

На IV этапе сообщество *S. typicus* возвратило позиции на разрезе, что согласуется с отмеченной ранее для этой полихеты тенденцией к повышению биомассы при потеплении. Спирохетоптерус восстановил превалирование на пяти северных станциях и впервые преобладал на ст. 1. Сообщество зообентоса на ст. 2 окончательно утратило доминирование губок, место которых заняли двустворчатые моллюски эпифауны. Это произошло вследствие двух причин: интенсивного донного тралового промысла, уничтожившего сообщество губок, и потепления вод Баренцева моря, благоприятного для этих тепловодных двустворчатых моллюсков.

4.3. Выводы

За 100-летнюю историю исследований на разрезе «Кольский меридиан» зарегистрированы значительные изменения донных сообществ макрозообентоса, которые в первую очередь выражались в смене доминирующих видов на большинстве станций под воздействием климатических изменений. Также на такие изменения оказал влияние и антропогенный фактор – интенсивные донные траления уничтожили сообщество губок в районе ст. 2, уменьшив на порядок общую биомассу макрозообентоса.

5. ЭКОТОКСИКОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

В современный период Баренцево море сохраняет позиции одного из наиболее чистых районов Европейской Арктики в плане экотоксикологической безопасности морской среды, благодаря чему этот водоем не теряет важного значения в качестве источника добычи ценных водных биологических ресурсов. Экотоксикологическая безопасность Баренцева моря определяется относительно низким уровнем загрязнения воды и донной среды обитания гидробионтов – донных осадков – различными видами потенциально опасных неорганических и органических соединений, имеющих преимущественно антропогенное происхождение. Эти опасные химические соединения при определенных условиях и уровне содержания в живых организмах могут оказывать значительное вредное воздействие на их физиологию, размножение и в конечном итоге на благополучие и динамику популяций.

Антропогенное загрязнение может поступать в Баренцево море разными путями, среди которых важное значение будет иметь перенос загрязнения из Западной Европы водами Нордкапского и Норвежского прибрежных течений. Кроме того, значительное количество загрязнения выпадает на поверхность моря с атмосферными осадками, переносимыми из районов Северо-Восточной Атлантики, включая районы Британских о-вов и Исландии, а также с загрязнениями с предприятий горно-металлургического комплекса Мурманской области. Осадки приходят с западного, северо-западного и южного направлений и воздействуют в основном на западную часть Баренцева моря и не могут не оказывать влияния на область расположения станций векового разреза «Кольский меридиан». Таким образом, уровень загрязнения на станциях этого разреза содержит информацию об объемах загрязняющих веществ в Баренцевом море и отражает общую ситуацию с техногенной нагрузкой на его экосистему.

По мере продвижения теплых атлантических вод на восток они частично трансформируются в более плотные баренцевоморские воды, образующиеся в результате охлаждения, образования льда и опускания поверхностной воды в холодное время года. Плотные баренцевоморские воды накапливаются в придонных слоях и периодически заполняют глубоководные впадины северной и восточной частей Баренцева моря, особенно Центральную впадину, расположенную восточнее разреза «Кольский меридиан» [12, 164]. В результате поступающее в Баренцево море химическое загрязнение в качестве конечного пункта миграции может накапливаться в донных отложениях глубоководных районов [73].

5.1. Материалы и методы

Исследования загрязненности морской воды и донных отложений (ДО) включали в себя отбор проб, их подготовку и проведение анализа уровней содержания основных групп загрязняющих веществ: металлов, неполярных алифатических углеводородов (*n*-алканов, или *n*-парафинов, АУ), полициклических ароматических углеводородов (ПАУ), хлорорганических пестицидов (ХОП), полихлорбифенилов (ПХБ). В работе использованы экспедиционные материалы, собранные сотрудниками ПИНРО в рейсах НИС «Смоленск», «Фритьоф Нансен», «Вильнюс» и др. в 2012–2023 гг. Отбор проб воды проводили в поверхностном и придонном слоях с помощью батометра Нискина, для отбора ДО использовали дночерпатель Ван Вина с площадью захвата 0,1 м². Взятие проб массой не менее 0,5 кг осуществляли из верхнего слоя осадка толщиной ~2 см. Пробы ДО подвергали глубокой заморозке и хранили в морозильной камере до доставки для анализа в лаборатории. Уровни загрязнения воды и ДО проводили в химико-аналитической лаборатории ПИНРО.

Определение концентраций металлов и мышьяка в пробах воды выполняли в соответствии с методиками, изложенными в ПНД Ф 14.1:2.214-06 [87], РД 52.10.243-92 [94] и РД 52.24.377-2008 [95], в пробах ДО – М 02-902-125-2005 [49] и М-МВИ-80-2008 [59]. Тяжелые металлы (Fe, Cu, Cd, Ni, Zn, Cr, Co, Pb и Mn) и мышьяк (As, общий) устанавливали на атомно-абсорбционном спектрофотометре фирмы Shimadzu модель AA-6800 (Япония) методами пламенной и непламенной атомно-абсорбционной спектрофотометрии с использованием многоуровневой калибровки тестовыми смесями, приготовленными из аттестованных стандартных растворов металлов фирмы Shimadzu. Для обработки результатов применялось программное обеспечение, разработанное Digital Equipment Corporation. Ртуть (Hg, общая) определяли методом непламенной атомно-абсорбционной спектрофотометрии на гидридной приставке к атомно-абсорбционному спектрофотометру с использованием многоуровневой калибровки методом «холодного пара».

Концентрации АУ в пробах воды устанавливали в соответствии с ГОСТ Р 52406-2005 [17], алифатические углеводороды C₈–C₃₁ – методом капиллярной газовой хроматографии на газовом хроматографе GC-2010A (Shimadzu), с пламенно-ионизационным детектором и капиллярной кварцевой колонкой длиной 30 м. Качественную и количественную идентификацию проводили с использованием стандартной смеси индивидуальных *n*-парафинов фирмы Sigma-Aldrich (США).

Концентрацию ПАУ в пробах воды определяли по методике, изложенной в МУК 4.1.663-97 [62], содержание ПАУ в пробах ДО – по методике,

представленной в М-МВИ-202-07 [57]. Сумму индивидуальных ПАУ (нафталин, 2-метилнафталин, 1-метилнафталин аценафтен, аценафтилен, флуорен, фенантрен, антрацен, флуорантен, пирен, бенз(*a*)антрацен, хризен, бенз(*b*)флуорантен, бенз(*k*)флуорантен, бенз(*a*)пирен, индено(1,2,3-*cd*)пирен, дибенз(*a,h*)антрацен, бенз(*g,h,i*)перилен) устанавливали методом хромато-масс-спектрометрии на хромато-масс-спектрометре Agilent 6890N/5973 с кварцевой капиллярной колонкой HP-5 MS длиной 30 м. Индивидуальные соединения идентифицировали в режиме SIM. Количественное определение проводили с использованием многоуровневой (многоточечной) калибровки тестовыми смесями, приготовленными из сертифицированных кристаллических ПАУ фирмы Sigma-Aldrich. Автоматическую обработку результатов анализа осуществляли в программе ChemStation фирмы Agilent.

Определение концентраций ХОП в пробах воды выполняли по ПНД Ф 14.1:2:4.204-04 [88], в пробах ДО – М-МВИ-209-08 [58]. ХОП – α -, β -, γ -гексахлорциклогексан (ГХЦГ), гексахлорбензол (ГХБ), хлорданы (цис-, транс-хлордан, транс-нонахлор), изомеры и метаболиты дихлордифенилтрихлорэтана (ДДТ) (о,п'-ДДТ, п,п'-ДДТ, о,п'-ДДЕ, п,п'-ДДЕ, о,п'-ДДД, п,п'-ДДД) – методом капиллярной газовой хроматографии на хромато-масс-спектрометре GCMS-QP2010 Plus Shimadzu с капиллярной колонкой длиной 30 м.

Для измерений в пробах воды концентраций ПХБ использована методика из ПНД Ф 14.1:2:4.204-04 [88], в пробах ДО – М-МВИ-09-97 [56]. Содержание ПХБ (конгинеры с номерами по номенклатуре IUPAC 28, 31, 52, 99, 101, 105, 118, 138, 153, 156, 180, 187) устанавливали тем же методом, что и ХОП. Идентификацию индивидуальных соединений ХОП и ПХБ выполняли в режиме SIM. Для количественного определения использовали многоуровневую калибровку тестовыми смесями, полученными из сертифицированных кристаллических ХОП или ПХБ фирмы Promochem (Швеция). Автоматическую обработку результатов анализа проводили в программе GCMSsolution 2.5 фирмы Shimadzu.

Качество аналитических работ оценивали при регулярных анализах серии проб, включавшей калибровочный раствор средней концентрации, холостую пробу и сертифицированные материалы сравнения. Статистическую обработку результатов исследований осуществляли в среде MS Excel и программе Statistica 13 (StatSoft, Inc.).

Всего проанализировано 379 проб воды и 131 проба донных осадков.

5.2. Результаты и обсуждение

Загрязнение морской воды. Параметры техногенного загрязнения водных масс весьма непостоянны в пространстве и времени. Анализ полученных данных показал, что на разрезе «Кольский меридиан» воды Прибрежной и Основной ветвей Мурманского, а также Центральной ветви Нордкапского течений статистически значимо не различались между собой по содержанию подавляющего большинства изученных токсичных органических соединений, металлов и As (критерий Краскелла–Уоллиса: $p \geq 0,05$). Не прослеживались, как правило, статистически значимые отличия по загрязнению перечисленными химическими элементами и органическими соединениями поверхностного и придонного слоев воды (критерий Манна–Уитни: $p \geq 0,05$). На основании результатов статистического анализа все данные о загрязнении воды на разрезе «Кольский меридиан» были объединены в единый массив.

Металлы и As. Металлы относятся к естественным компонентам морских экосистем. Основными источниками поступления их в океан являются речной и ледовый стоки, абразия берегов, эоловая взвесь, вулканическая деятельность и подземный сток [118]. Металлы становятся наиболее распространенными и опасными загрязнителями в тех местах, где их природный цикл нарушается вследствие антропогенной деятельности [18].

В период исследований концентрации металлов и As в воде на разрезе «Кольский меридиан» варьировали в широком диапазоне и могли отличаться на несколько порядков (табл. 5.2.1).

Наиболее высокие концентрации в воде на разрезе обнаружены у Fe и Zn. Среднее содержание этих металлов в воде оказалось в несколько раз выше фоновых уровней, рассчитанных для Западно-Арктического шельфа Евразии (см. табл. 5.2.1). Более высокое по сравнению с фоновым содержание Fe и Zn в воде течений, пересекающих разрез «Кольский меридиан», может быть обусловлено в том числе переносом ими загрязнения от промышленных центров, расположенных в Северной Европе. По мнению В.И. Гуревича [18], техногенное поступление Zn на шельф Баренцева моря связано исключительно с ветвями Северо-Атлантического течения.

Концентрации Cu и Ni в воде на разрезе превышали фоновые в 90 и 80 % исследованных проб соответственно. Антропогенное поступление Cu и Ni в Баренцево море происходит преимущественно в результате трансграничного переноса (океанические течения и дальний атмосферный перенос). Вместе с тем в прибрежные воды Cu и Ni могут поступать и из местных источников вместе с терригенным стоком и атмосферными осадками. На Кольском п-ове расположены крупные металлургические комбинаты «Печенганикель» и «Североникель», в выбросах которых присутствуют Ni, Cu,

Zn, Cd, Pb, Co, Cr и Hg. Среди перечисленных тяжелых металлов приоритет принадлежит Cu и Ni, которые, вместе с Co, являются основной продукцией этих предприятий. Отмечают, что концентрации Cu и Ni в воздушной массе заметно возросли, когда ее траектория проходила над Кольским п-овом и заметно снижались при дальнейшей трансформации этой воздушной массы над морскими районами [15].

Таблица 5.2.1

Концентрация металлов и As в воде на разрезе «Кольский меридиан», мкг/л

Химический элемент	Минимум-максимум	Среднее	Медиана	Фоновые концентрации для Западно-Арктического шельфа Евразии [18]	Средняя концентрация для океанических вод [118]	ПДК _{п/х} [91]
Fe	2,0–88	9,4	7,6	2,8	5,0	50
Zn	0,12–37,0	8,7	7,2	1,8	5,0	50
Cu	0,05–4,9	0,78	0,65	0,12	1,4	5
Ni	<0,001–1,9	0,38	0,31	0,06	0,5	10
Cr	<0,001–4,7	0,77	0,42	–	0,25	70 (Cr ³⁺) 20 (Cr ⁶⁺)
Mn	0,02–4,5	0,55	0,41	0,38	0,40	50
As	<0,001–2,0	0,21	0,09	–	2,0	10
Co	<0,001–0,94	0,19	0,13	–	0,03	5
Pb	<0,001–0,82	0,13	0,1	0,12	0,03	10
Cd	<0,001–0,3	0,05	0,04	0,015	0,07	10
Hg	<0,001–0,09	0,017	0,008	–	0,03	0,10

Примечание. При расчете среднего и медианы значения ниже предела обнаружения применяемого метода анализа (<0,001 мкг/л) заменяли на «0».

Средняя концентрация Mn в воде на разрезе «Кольский меридиан» превышала фоновый уровень для Западно-Арктического шельфа Евразии в 1,4 раза. В природные воды Mn поступает в результате выщелачивания железомарганцевых руд и других минералов, в процессе разложения остатков водных животных и растительных организмов, а также со сточными водами металлургических заводов, предприятий химической промышленности, шахтными водами и т.д. [28].

В большинстве изученных проб воды (68 %) концентрация Cr превышала средний уровень, характерный для океанических вод (кларк), – 0,25 мкг/л [118]. Антропогенное поступление Cr в окружающую среду происходит преимущественно при производстве и переработке феррохрома, изготовлении огнеупоров, сжигании угля, производстве хромовых сталей и т.д. [63].

Концентрации общего As в воде на разрезе варьировали от <0,001 до 2 мкг/л, притом что среднее содержание этого элемента в океанических водах – 2 мкг/л [118]. Из природных источников в окружающую среду посту-

пает в два раза больше As, чем из антропогенных [19]. Вынос As с континентов в океан происходит в результате таких природных процессов, как выветривание и вулканизм [63]. Основными промышленными процессами (80 % антропогенной эмиссии), ведущими к загрязнению окружающей среды As, являются плавление цветных металлов и производство электроэнергии от сжигания топлива [117].

С помощью кластерного анализа (метод полной связи, Манхеттенское расстояние) удалось выделить два периода, существенно отличающихся по уровню загрязнения вод на разрезе As: с января по март и с мая по октябрь (рис. 5.2.1). Анализ показал, что с января по март медианная концентрация общего As в воде составляла 0,16 мкг/л, с мая по октябрь – 0,06 мкг/л (рис. 5.2.2).

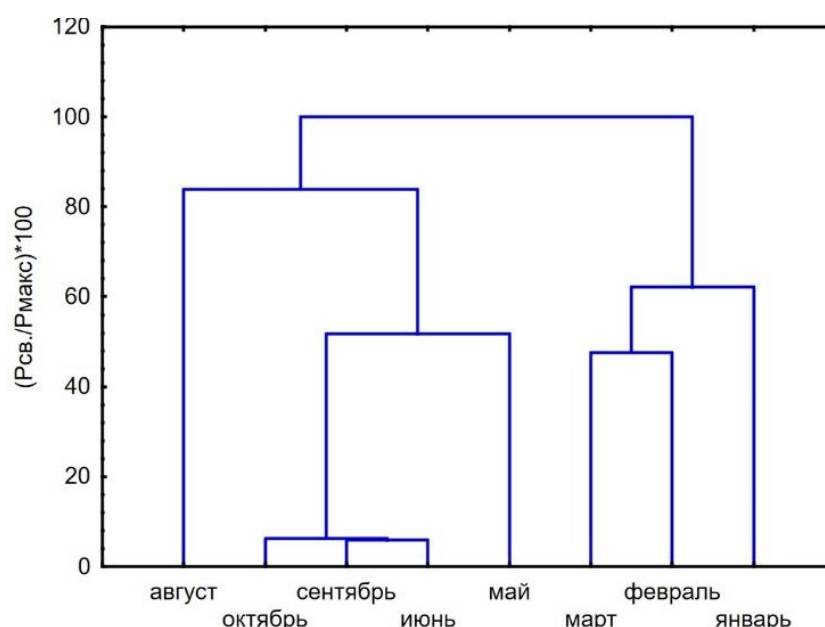


Рис. 5.2.1. Результаты кластерного анализа концентрации As в воде на разрезе «Кольский меридиан» в различные месяцы

Снижение концентрации общего As в воде на разрезе с мая по октябрь может быть связано с вегетацией фитопланктона в этот период года. В водах атлантического происхождения в Баренцевом море период активного продуцирования органического вещества фитопланктоном начинается в марте–апреле и заканчивается в сентябре–октябре [23, 42]. Известно, что морской фитопланктон способен поглощать арсенаты, принимая их за фосфаты [156]. В насыщенных кислородом морских водах почти весь As присутствует в виде арсената [150] и, возможно, заметная его часть поступает в клетки фитопланктона.

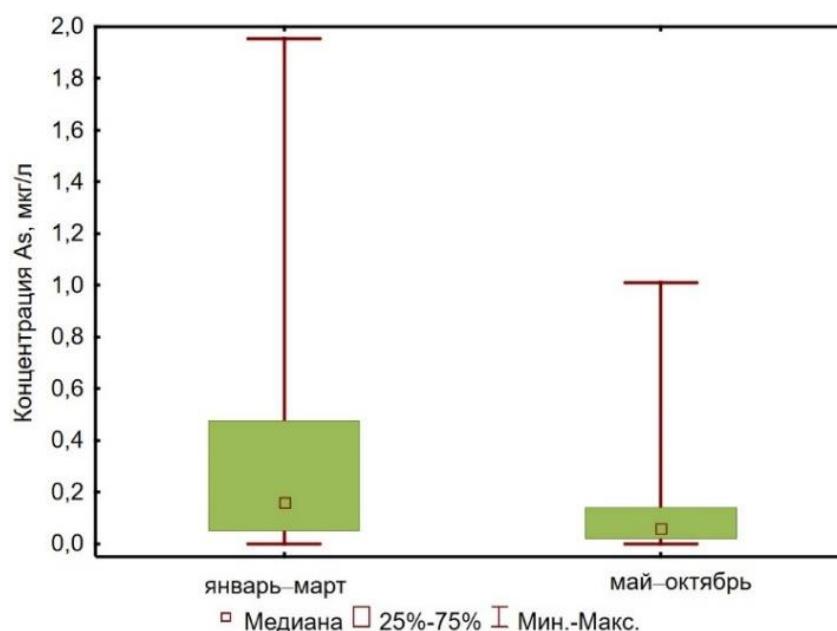


Рис. 5.2.2. Концентрация As в воде на разрезе «Кольский меридиан» в различные сезоны

В фитопланктоне As^{5+} трансформируется в As^{3+} и органические соединения мышьяка (монометиларсоновую и диметиларсиновую кислоты). Накопленный в фитопланктоне As в дальнейшем может переноситься на более высокие уровни трофической цепи [63, 117, 156].

Концентрация Co в воде на разрезе варьировала от $<0,001$ до $0,94$ мкг/л. В изученных пробах воды (80 %) она изменялась от $0,03$ до $0,94$ мкг/л со средним значением $0,22$ мкг/л. В то же время среднее содержание Co в океанской воде (кларк) значительно ниже и составляет лишь $0,03$ мкг/л [118]. Полученные нами данные согласуются с результатами исследований В.И. Гуревича [18], который отмечал слабоконтрастную аномалию с концентрацией Co в придонных водах от $0,05$ до $0,2$ мкг/л, протянувшуюся от прибрежных районов Мурмана в направлении на север и северо-восток Баренцева моря. По его мнению, увеличение содержания Co в исследованном районе связано с аэротехногенным разносом дымов комбинатов «Североникель» и «Печенганикель».

Следует отметить, что в воды течений, пересекающих разрез «Кольский меридиан», Co может поступать также и из природных источников. В морские воды он попадает при выщелачивании из медноколчедановых пород и других руд, изверженных основных и ультраосновных пород, в которых около 90 % Co находится в рассеянном состоянии [28]. Не исключено, что часть Co, обнаруженного в воде на разрезе, переносится в Баренцево море из гидротермальных сульфидных месторождений, расположенных в Норвежском море [131].

Наиболее опасными тяжелыми металлами являются Pb, Cd и Hg. Они характеризуются высокой токсичностью для живых организмов, могут переноситься на большие расстояния (особенно Hg), обладают способностью к биоконцентрированию и биоаккумуляции в тканях животных и человека [132]. Глобальные выбросы этих металлов с началом эпохи индустриализации увеличились в несколько раз [125].

Антропогенное поступление Pb в окружающую среду связано со сжиганием угля, применением тетраэтилсвинца в качестве антидетонатора в моторном топливе, выносом в водные объекты со сточными водами рудобогатительных фабрик, некоторых металлургических заводов, химических производств, шахт и т.д. [28].

Цветная металлургия дает три четверти глобальных атмосферных выбросов Cd, а остальное антропогенное поступление этого металла происходит в основном от сжигания угля, производства железа, цемента и утилизации отходов [123].

Концентрации Pb и Cd в воде на разрезе «Кольский меридиан» не превышали десятых долей миллиграмма на литр, вместе с тем они были выше фоновых уровней для Западно-Арктического шельфа [18] в 40 и 75 % изученных проб соответственно.

Осаждение из атмосферы и береговая эрозия являются крупнейшими источниками поступления Hg в Северный Ледовитый океан [138]. Время пребывания газообразной элементарной ртути в атмосфере может достигать несколько месяцев, что обеспечивает ее перенос вместе с воздушными массами на дальние расстояния и присутствие в регионах, удаленных от источников антропогенного воздействия, таких как Арктика [125].

Концентрации Hg в воде на разрезе «Кольский меридиан» варьировали от $<0,001$ до $0,09$ мкг/л и в подавляющем большинстве проб (не менее 86 %) были выше среднего содержания этого металла в воде Атлантического океана – $0,0003$ мкг/л [125]. По опубликованным данным, в арктических водах из-за таяния льда и снега концентрация Hg может достигать $0,003$ мкг/л [122], что также ниже среднего содержания в водах течений, пересекающих разрез «Кольский меридиан» (см. табл. 5.2.1).

В заключение следует отметить, что концентрации Zn, Ni, Cu, Mn, Cr, As, Co, Pb, Cd и Hg в воде на разрезе «Кольский меридиан» в течение всего периода исследований были ниже соответствующих ПДК_{р/х}. В единичных случаях отмечали лишь превышение ПДК_{р/х} по содержанию в воде Fe.

Алифатические углеводороды. Углеводороды в составе нефти и нефтепродуктов относятся к наиболее распространенным и опасным загрязняющим веществам. Их поступление в морские воды связано с антропогенной деятельностью – добыча, транспортировка, аварийные разливы нефти и нефтепродуктов, промышленные и бытовые сточные воды, судоходство и

т.д. Вместе с тем существует и устойчивый геохимический фон углеводородов. Основными источниками биогенных углеводородов являются все растения и животные суши и океана; микроорганизмы почв и донных отложений; отмершие растительные и животные остатки [64].

В период исследований концентрация АУ в воде на разрезе «Кольский меридиан» изменялась от 0,83 до 33 мкг/л, в среднем – 3,6 мкг/л. В составе АУ в воде преобладали низкомолекулярные *n*-алканы: C₁₀–C₁₂, C₁₄, C₁₆ (рис. 5.2.3). Надо отметить, что максимумы в низкомолекулярной области спектра (<C₂₂) характерны для автохтонных (синтезируемых в море), в высокомолекулярной – для аллохтонных (поступающих с суши) *n*-алканов [66].

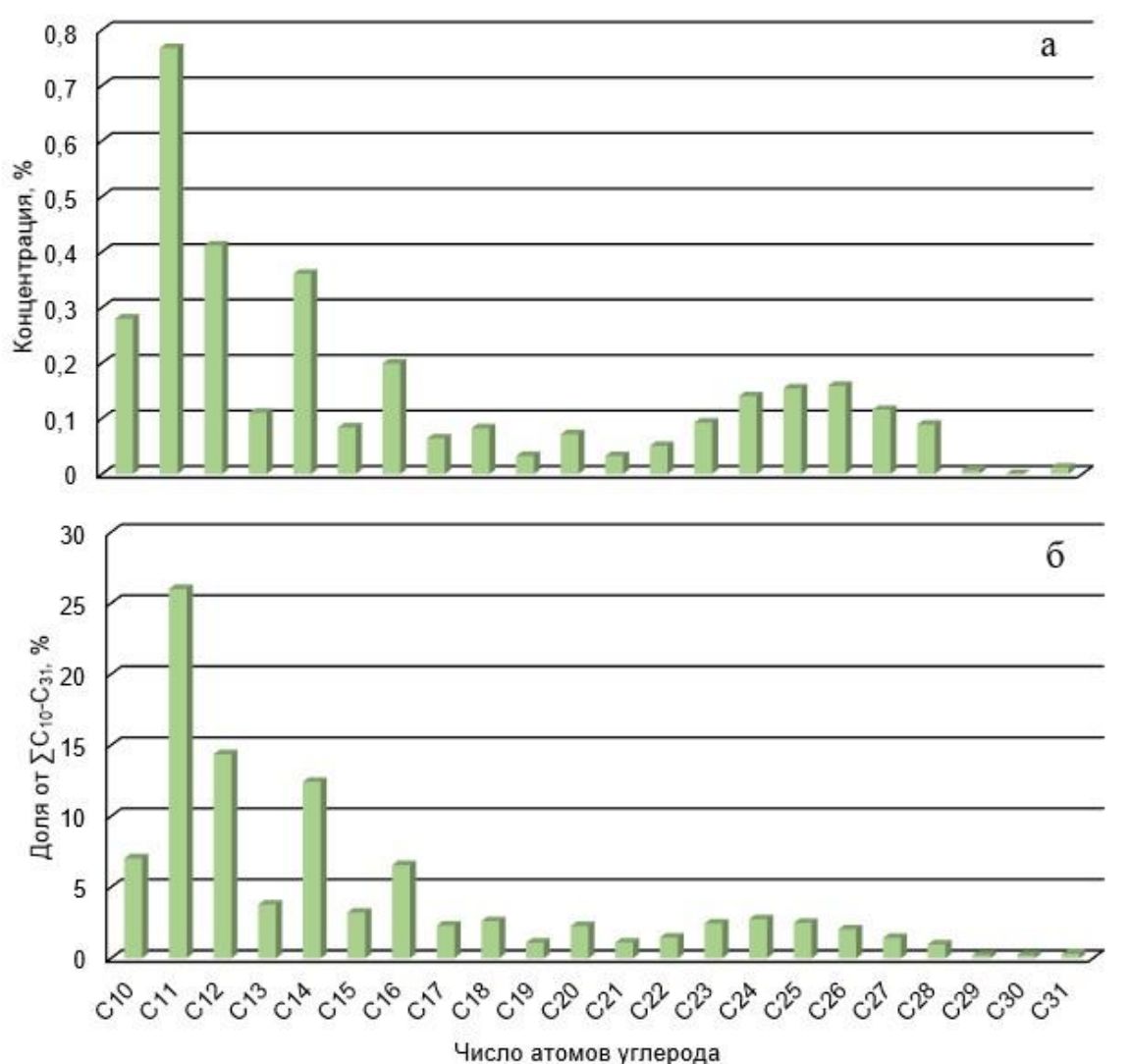


Рис. 5.2.3. Средняя концентрация гомологов *n*-алканов (а) и их доля от $\sum C_{10}-C_{31}$ (б) в воде на разрезе «Кольский меридиан»

Значение индекса СРІ (соотношение углеводородов с нечетным и четным числом атомов углерода), рассчитанное для низкомолекулярной области спектра, составляло в среднем 0,53. Низкое значение СРІ указывает на высокое содержание низкомолекулярных четных *n*-алканов, что может быть результатом микробиологической деструкции органических веществ [65, 151]. Для *n*-алканов нефтяного происхождения не характерна величина СРІ – около 1 [115, 144].

Концентрация АУ в воде на разрезе «Кольский меридиан» в период исследований не превышала ПДК_{р/х} для нефтепродуктов – 50 мкг/л [91], она была близка к значениям, характерным для малозагрязненных участков морей, – 5–25 мкг/л [79].

Полициклические ароматические углеводороды. Образование и поступление ПАУ в окружающую среду связано с микробиологическими и высокотемпературными процессами, протекающими в природе, лесными пожарами, вулканической деятельностью, а также антропогенными факторами, такими как технологические процессы (отходы и выбросы промышленных предприятий), сжигание топлива, сырая нефть и нефтепродукты [50].

Суммарное содержание ПАУ (Σ ПАУ) в воде на разрезе «Кольский меридиан» варьировало в широком диапазоне – от 1,1 до 129 нг/л, в среднем – 36,5 нг/л. Из индивидуальных соединений ПАУ в воде преобладали нафталин и его метилированные производные, а также фенантрен (рис. 5.2.4).

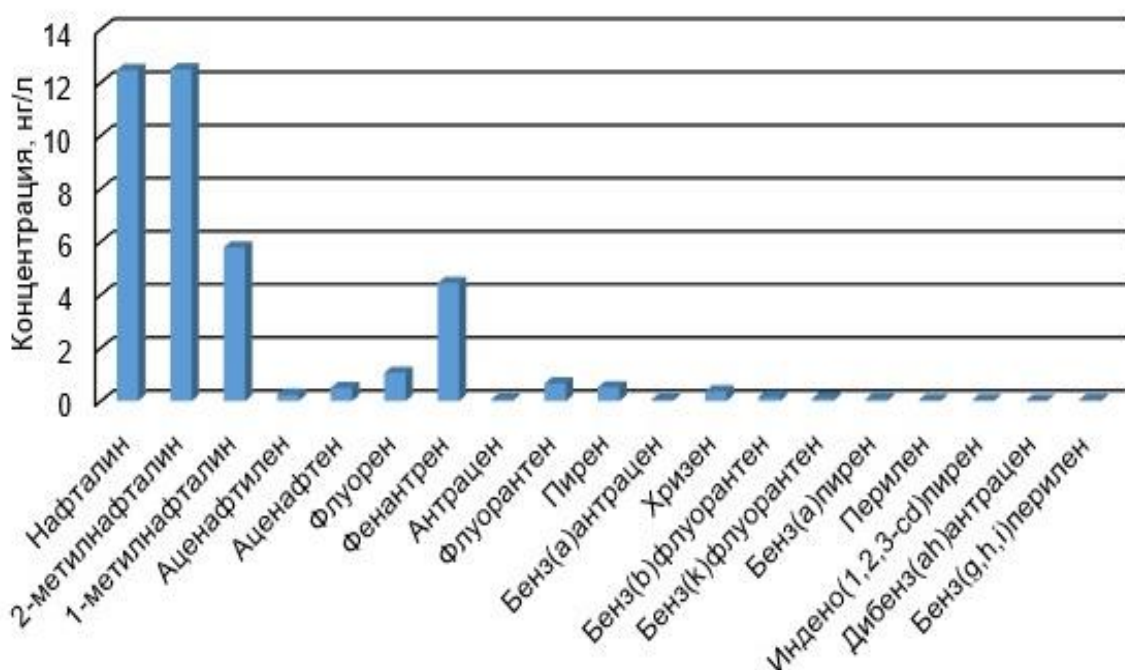


Рис. 5.2.4. Средняя концентрация индивидуальных ПАУ в воде на разрезе «Кольский меридиан»

Рыбохозяйственная ПДК установлена только для нафталина и составляет 0,004 мг/л, или 4000 нг/л [91]. Концентрация нафталина в воде на разрезе изменялась от <0,05 нг/л (ниже предела обнаружения применяемого метода анализа) до 39,4 нг/л и не превышала ПДК_{р/х}.

Некоторые незамещенные ПАУ и особенно их метаболиты проявляют ярко выраженные канцерогенные свойства [133]. Суммарная концентрация канцерогенных соединений (бенз(*a*)антрацена, бенз(*b*)флуорантена, бенз(*k*)флуорантена, бенз(*a*)пирена, индено(1,2,3-*cd*)пирена и дибенз(*a,h*)антрацена) в воде на разрезе не превышала 2,8 нг/л. Наибольшую канцерогенную активность имеют бенз(*a*)пирен и дибенз(*a,h*)антрацен, содержание которых составляло в среднем 0,06 и 0,03 нг/л соответственно.

Среднее содержание Σ ПАУ в воде на разрезе превышало глобальный фоновый уровень – 20 нг/л [136]. Увеличение фоновых значений по содержанию в воде ПАУ отмечено на большей части акватории Баренцева моря [25].

Хлорорганические пестициды и полихлорированные бифенилы синтезированы человеком, в доиндустриальный период в природе не встречались. Они относятся к стойким органическим загрязнителям (СОЗ) и характеризуются высокой токсичностью, устойчивостью к разложению, способностью переноситься на большие расстояния и накапливаться в тканях живых организмов. Определяющим показателем токсичности СОЗ является способность оказывать канцерогенное и мутагенное воздействие, влиять на репродуктивные функции, эндокринный статус и нервно-психическое развитие [50].

ХОП использовались в сельском хозяйстве в регионах с умеренным и теплым климатом и их поступление в Арктику возможно в результате дальнего атмосферного переноса, с водами океанических течений, льдом, стоком рек и при миграциях животных.

В воде на разрезе «Кольский меридиан» определяли следующие ХОП: α -, β -, γ -изомеры ГХЦГ, ГХБ, ДДТ и его метаболиты – ДДЕ (дихлордифенилдихлорэтилен) и ДДД (дихлордифенилдихлоэтан). Концентрации хлорданов в воде на протяжении всего периода исследований были ниже предела обнаружения применяемого метода анализа (<0,05 нг/л).

В прошлом технический ГХЦГ (смесь 55–70 % α -ГХЦГ, 5–14 % β -ГХЦГ и 9–13 % γ -ГХЦГ) и линдан (чистый γ -ГХЦГ) применяли для борьбы с вредителями растений и паразитами животных [106]. Технический ГХЦГ был запрещен в большинстве западных стран и Японии в конце 1970-х, а в Советском Союзе – в конце 1980-х годов [124]. В то же время линдан использовали для обработки семян, например, в Канаде до 2004 г. и США до 2009 г. [127]. В 2009 г. решением Стокгольмской конвенции о СОЗ введен запрет на производство и применение α -, β -, γ -ГХЦГ [27].

Суммарное содержание α -, β -, γ -изомеров ГХЦГ (Σ ГХЦГ) в воде на разрезе варьировало от $<0,05$ до $2,92$ нг/л. В зимне-весенний период (февраль, март, май) загрязнение воды Σ ГХЦГ было наиболее высоким – в среднем $1,1$ нг/л. Летом и осенью (июнь, август, сентябрь, октябрь) средняя концентрация Σ ГХЦГ в воде значительно ниже – $0,68$ нг/л. В Σ ГХЦГ во все сезоны доминировал α -ГХЦГ (рис. 5.2.5). Общее содержание ГХЦГ зимой и весной возрастало главным образом из-за увеличения загрязнения воды α -ГХЦГ. Следует отметить, что растворимость в воде газообразного ГХЦГ, как и других ХОС, возрастает при низких температурах, и в холодный период года возможно их выпадение на поверхность Баренцева моря из атмосферы. Так, растворимость α -ГХЦГ в воде при $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ в 7 раз выше, чем при $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ [124]. В теплый период года снижение концентрации ГХЦГ в воде может происходить из-за его испарения с поверхности моря, гидролиза, микробиологического разложения, а также сорбции клетками фитопланктона и последующего оседания на дно вместе с остатками планктона и фекальными пеллетами зоопланктона [139].

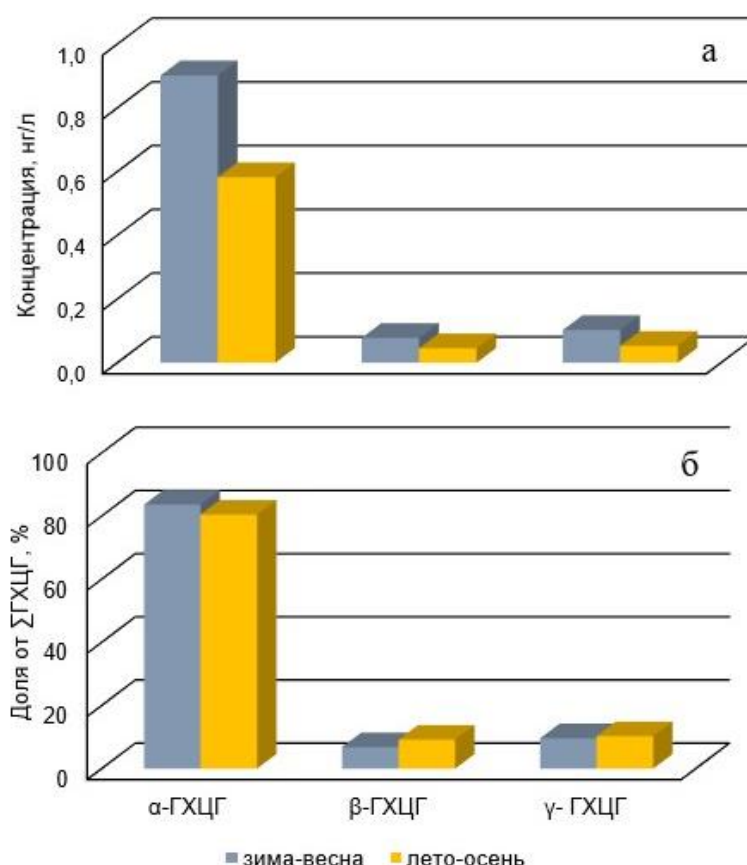


Рис. 5.2.5. Средняя концентрация α -, β -, γ - изомеров ГХЦГ(а) и их доля от Σ ГХЦГ (б) в воде на разрезе «Кольский меридиан»

Технический препарат ДДТ использовался в сельском хозяйстве в качестве инсектицида с 1940-х годов [116]. Из-за высокой устойчивости к разложению и токсичности в 1970-е годы ограничение или запрет на использование ДДТ ввели в большинстве европейских стран и США, а в 2001 г. его производство и применение были ограничены на международном уровне Стокгольмской конвенцией о СОЗ [101].

Суммарное содержание изомеров и метаболитов ДДТ (Σ ДДТ) в воде на разрезе «Кольский меридиан» изменялось от $<0,05$ нг/л (ниже предела обнаружения применяемого метода анализа) до 1,64 нг/л. В конце 1970-х годов в водах Прибрежной ветви Мурманского течения отмечали наиболее высокие концентрации Σ ДДТ – до 50 нг/л [99]. Значительное снижение концентрации ДДТ в воде на разрезе в настоящее время подтверждает эффективность мер по ограничению применения пестицида.

В период исследований в Σ ДДТ в морской воде преобладал метаболит п,п'-ДДЕ (рис. 5.2.6). Доля п,п'-ДДЕ в общем содержании ДДТ достигала в среднем 75 %. По данным исследований, п,п'-ДДЕ – один из наиболее стабильных и распространенных в окружающей среде метаболитов ДДТ [106, 124].

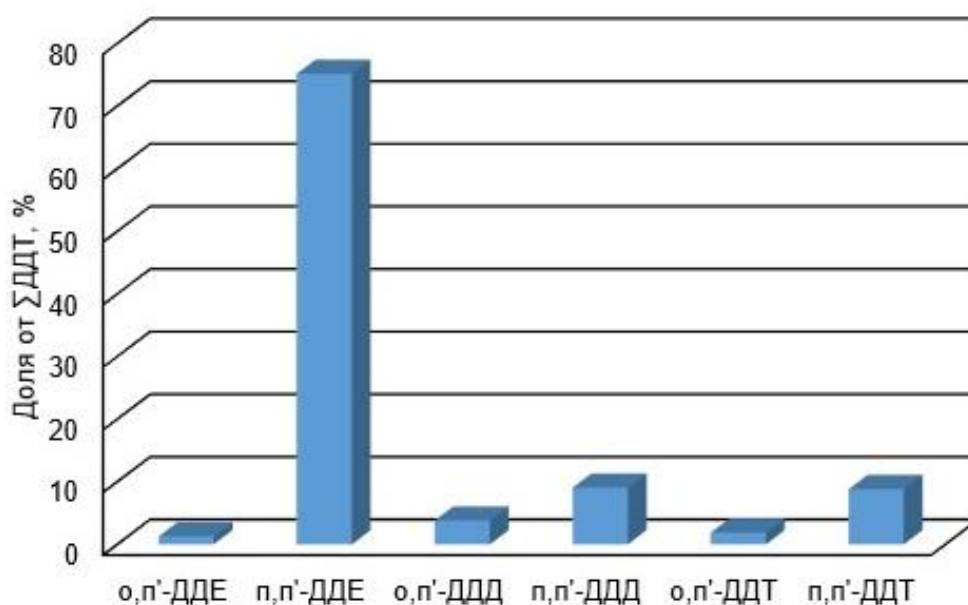


Рис. 5.2.6. Доля изомеров и метаболитов ДДТ от Σ ДДТ в воде на разрезе «Кольский меридиан»

Известно, что ДДЕ образуется при трансформации ДДТ в аэробных, а ДДД – в анаэробных или при чередовании аэробных и анаэробных условий [33]. Вклад исходного пестицида п,п'-ДДТ в общее содержание ДДТ в воде на разрезе составлял в среднем 8,8 %. Более высокое содержание в воде

п,п'-ДДЕ по сравнению с п,п'-ДДТ указывает на давнее поступление пестицида в окружающую среду.

ГХБ использовался в сельском хозяйстве в качестве фунгицида, консерванта для древесины, при изготовлении пиротехники, каучука и т.д. [50, 147]. Производство и применение ГХБ ограничено Стокгольмской конвенцией о СОЗ в 2001 г. [27]. Вместе с тем он может попадать в окружающую среду вследствие утечек при производстве хлорированных соединений и пестицидов, выбросов со старых свалок, а также при сжигании промышленных и бытовых отходов [147].

Концентрация ГХБ в воде на разрезе «Кольский меридиан» колебалась от <0,05 до 0,68 нг/л. Среднее значение ГХБ в воде в разные сезоны года заметно различалось (рис. 5.2.7). Наиболее загрязнена ГХБ вода зимой, в среднем – 0,15 нг/л.

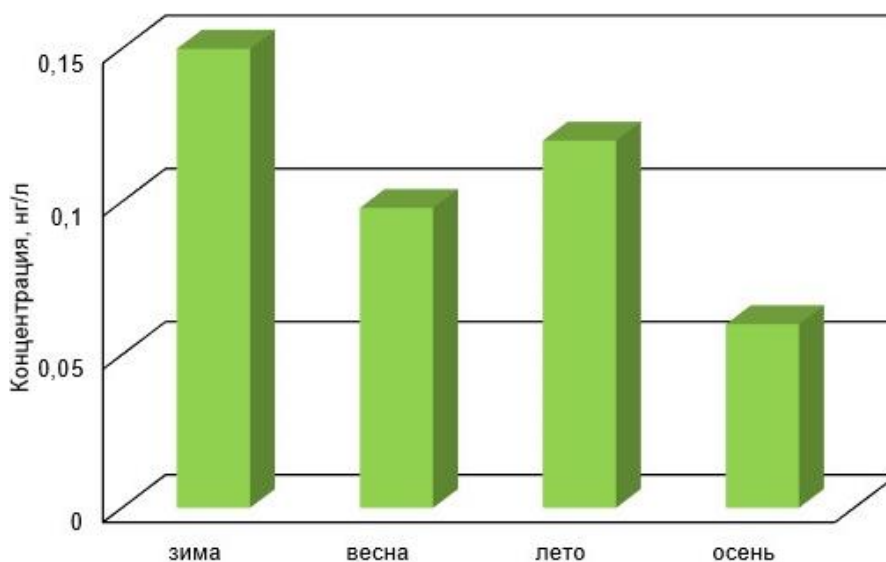


Рис. 5.2.7. Средняя концентрация ГХБ в воде на разрезе «Кольский меридиан»

ПХБ с 1930-х годов применяли в основном в качестве диэлектриков в трансформаторах и конденсаторах, а также пластификаторов при производстве лаков и полимерных материалов, смазок и фунгицидов для защиты древесины [50]. В 1970-е годы применение ПХБ было ограничено во многих странах [124]. Производство ПХБ запрещено Стокгольмской конвенцией о СОЗ в 2001 г. [27].

Суммарное содержание ПХБ (Σ ПХБ) в воде на разрезе варьировало от 0,16 до 5,6 нг/л. Наиболее высокая концентрация Σ ПХБ отмечена в зимне-весенний период (февраль, март, май) – в среднем 1,02 нг/л. Летом и осенью (июнь, август–октябрь) средняя концентрация Σ ПХБ в воде снижалась и составляла 0,74 нг/л. Из индивидуальных соединений в Σ ПХБ доминировали ПХБ-52, ПХБ-101 и ПХБ-118 (рис. 5.2.8). В летне-осенний

период средняя концентрация в воде ПХБ-52, ПХБ-99, ПХБ-101, ПХБ-105, ПХБ-118, ПХБ-138 и ПХБ-153 была выше, чем в зимне-весенний. Вместе с тем летом и осенью отмечали увеличение содержания в воде трихлорбифенилов – ПХБ-28 и ПХБ-31.

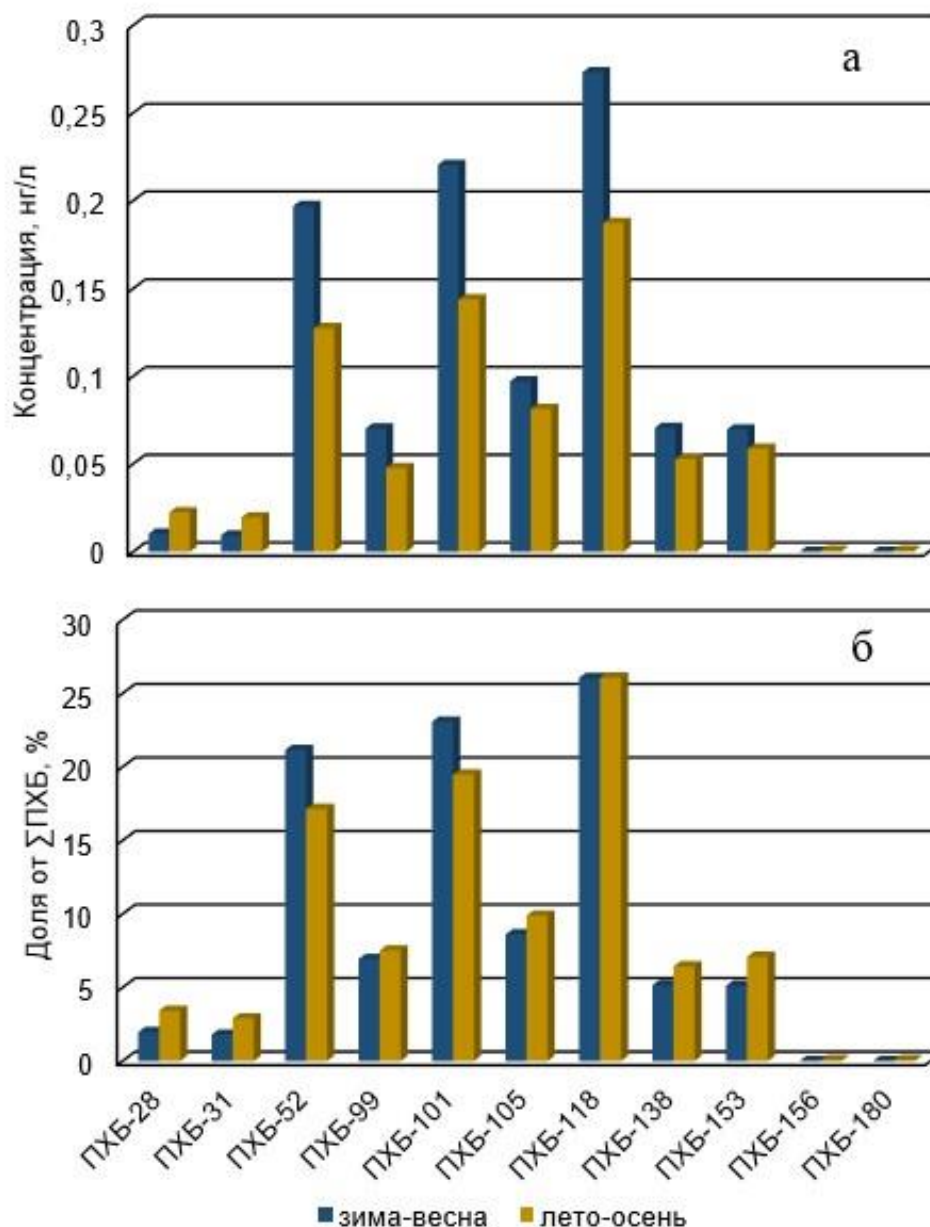


Рис. 5.2.8. Средняя концентрация конгенов ПХБ (а) и их доля от Σ ПХБ (б) в воде на разрезе «Кольский меридиан»

Из обнаруженных в воде на разрезе ПХБ наиболее опасными являются конгенеры с номерами 105, 118 и 156. Эти соединения относятся к диоксиноподобным и по классификации Международного агентства по изучению рака (МАИР) включены в группу 2А (весьма вероятные

канцерогены) [50]. Суммарный вклад диоксиноподобных конгенов (ПХБ-105 + ПХБ-118 + ПХБ-156) в общее содержание ПХБ в воде на разрезе в зимне-весенний и летне-осенний периоды почти не отличался – 35 и 36 % соответственно.

В целом современное содержание хлорорганических соединений в воде на разрезе «Кольский меридиан» достаточно низкое. Концентрации Σ ГХЦГ, ГХБ, Σ ДДТ и Σ ПХБ в воде значительно ниже их ПДК_{р/х} – 10 нг/л [91].

Загрязнение донных отложений. Современные донные отложения арктических морей представлены главным образом терригенными бескарбонатными алевритовыми и алеврит-пелитовыми илами с примесью грубообломочного материала [18]. Основные источники осадочного материала в шельфовых морях Арктики – речной сток, абразия берегов и дна, эоловые (ветровые) потоки и ледовый разнос. В Баренцевом море по сравнению с большинством других арктических морей России величина речного стока относительно невелика и составляет 215 км³/год, меньшие значения наблюдаются только в Чукотском море. Однако по величине эолового потока взвешенного вещества на поверхность водоема Баренцево море в лидерах – 363×10³ т/год [45]. Рассчитанное поступление взвеси через западную границу Баренцева моря по линии м. Нордкап – о-в Западный Шпицберген составляет 26,6 млн т в год [100]. Средняя концентрация взвеси в поступающей с запада морской воде, приносимой Нордкапским течением, составляет 0,5 мг/л [1].

Сразу после осаждения частиц взвеси на дно в первых сантиметрах осадка начинаются процессы ее преобразования. Стадия жизни осадков, представляющая собой совокупность процессов превращения сильно обводненных, рыхлых, термодинамически неравновесных ДО (наилок, «морской снег») в осадочную породу, получила название диагенез. Продолжительность диагенеза различна, но во всех случаях имеет длительный срок. Слой осадка 0–1 см в морях Арктики образуется на протяжении 10–30 лет при средней скорости седиментации 20–150 см в 1000 лет [45].

Преобладающий тип грунта на станциях разреза – песчаный ил (алевритовый пелит). На ст. 2 к нему добавляется илистый песок (пелитовый алеврит), на ст. 4 – глина, на ст. 9 и 10 – пелитовый ил. Согласно исследованиям гранулометрического состава ДО, на ст. 2 фракция размерностью <0,063 мм составляла всего 26 %, при этом содержание органического углерода (C_{орг}) в ДО – 0,40 %. Максимальное содержание тонкозернистой фракции в ДО наблюдалось на ст. 7–10, где фракция < 0,063 мм была 50–70 %, а содержание C_{орг} – 1,50–1,90 % [2, 43].

Большинство станций разреза «Кольский меридиан» достаточно глубоководные и имеют следующую глубину: 2 – 150, 3 – 250, 4 – 225, 5 – 275,

6 – 260, 7 – 280, 8 – 220, 9 – 290 и 10 – 310 м [40]. Особенности рельефа дна на разрезе, где исследовали состав ДО, представлены на рис. 1.2.

Содержание тяжелых металлов (ТМ) – Cu, Zn, Ni, Cr, Pb, Co, Cd и Hg, а также мышьяка в ДО станций разреза отличается значительной вариабельностью, которая зависит как от расположения станций, так и от сезона отбора проб. Вместе с тем средний уровень содержания ТМ и As соответствует уровню средних значений, характерных для Баренцева моря [70, 77]. Аналогичная ситуация наблюдается и с присутствием ХОС в ДО, за исключением среднего содержания ГХЦГ в ДО разреза, которое значительно выше (на 25 %), чем в среднем по морю: 2,19 против 1,65 нг/г сухой массы осадка. Распределение ГХЦГ в ДО Баренцева моря имеет особенности. Ниже мы остановимся на некоторых из них применительно к разрезу «Кольский меридиан».

Самый высокий средний уровень загрязнения ДО большинством металлов отмечен весной (май–июнь), самый низкий – в конце лета – осенью (август–октябрь). Весной наблюдается наименьшая вариабельность в содержании ТМ в ДО на станциях разреза (минимальные величины стандартного отклонения). В этот период по сравнению с предшествующим сезоном наибольших значений достигает среднее содержание Hg, Cd, Zn, Ni и Co в ДО (рис. 5.2.9). Показано возрастание содержания Hg весной по сравнению с зимним периодом более, чем в 2 раза, Cd – в 1,5 раза с последующим снижением летом–осенью. Это указывает на то, что в весенний период, вероятно, имеет место активный приток свежего загрязнения ТМ с западного направления, приносимый Норвежским и Нордкапским течениями, который связан главным образом со взвешенным веществом. Наибольшее содержание мышьяка в ДО, напротив, наблюдается зимой (январь–март), наименьшее – осенью. Среднее содержание Cd в ДО станций разреза максимально весной – 0,16 мкг/г, а минимально летом–осенью – 0,09 мкг/г сухой массы.

Максимальный уровень суммарного содержания ХОС в ДО отмечен в зимний период (рис. 5.2.10). Вполне вероятно, что это является результатом осенней конвекции, опускания обогащенных ХОС поверхностных вод (вместе со взвесью) в придонный слой по мере охлаждения. Выпавшая на дно взвесь включается в состав наилка и верхнего слоя ДО. Затем среднее содержание ХОС заметно снижается, причем наиболее значительно ГХБ – с 0,23 до 0,14 нг/г и ПХБ с 0,93 до 0,57 нг/г сухой массы.

Заметное уменьшение величин стандартного отклонения среднего содержания ХОС в ДО весной косвенно указывает на активный процесс удаления наиболее подвижной части ХОС из ДО.

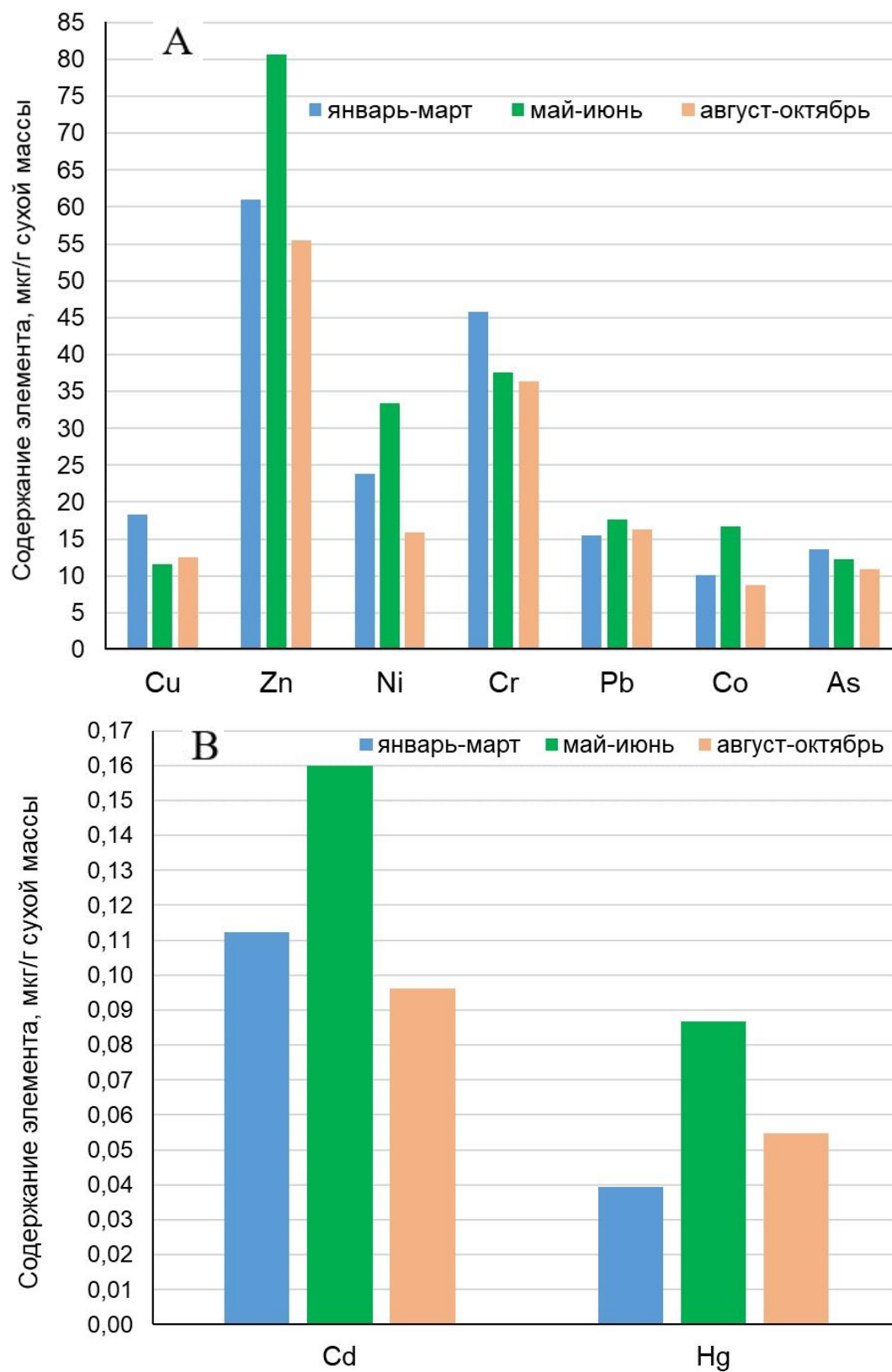


Рис. 5.2.9. Среднее содержание мышьяка и тяжелых металлов (А), включая кадмий и ртуть (В), в донных отложениях на разрезе «Кольский меридиан» по сезонам

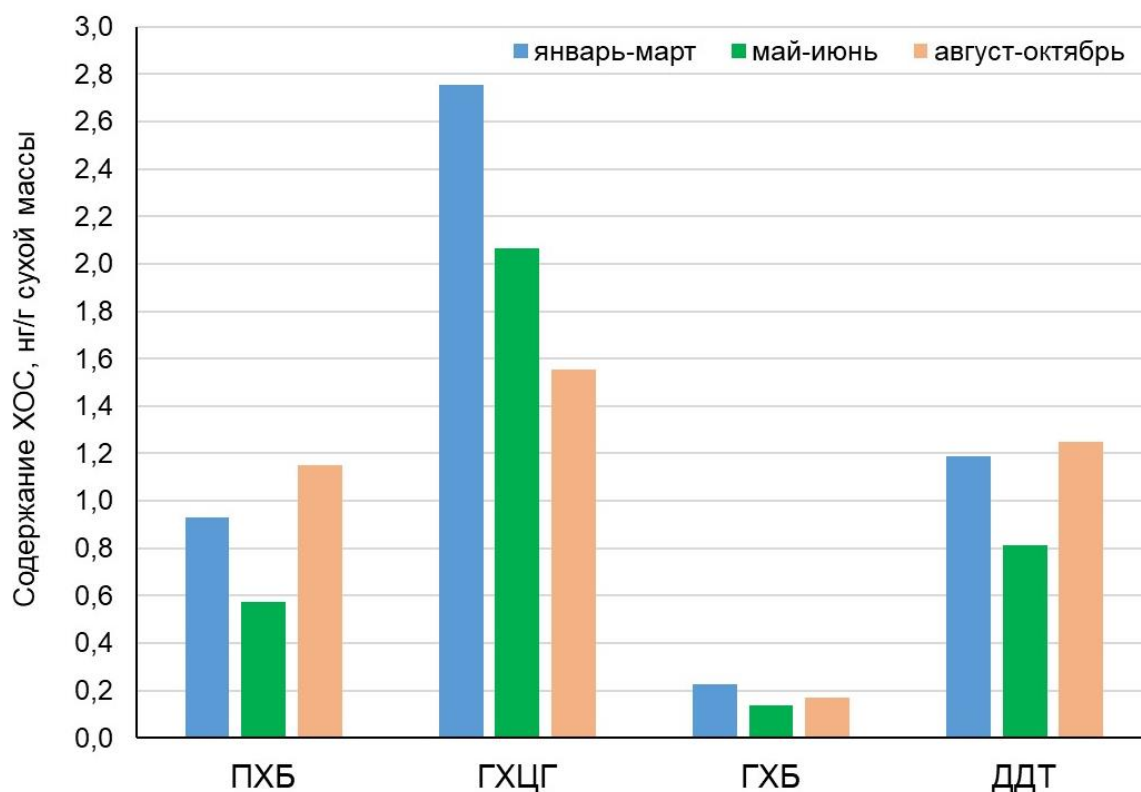


Рис. 5.2.10. Среднее содержание ХОС в донных отложениях на разрезе «Кольский меридиан» по сезонам

Содержание ГХБ, ДДТ и ПХБ осенью снова возрастает. Впрочем, на фоне общей ситуации, наблюдаемой в Баренцевом море, уровень загрязнения ДО ГХБ, ДДТ и ПХБ на станциях разреза выглядит незначительным, что свидетельствует о том, что основное поступление этих ХОС в регион идет с других направлений [72]. Напротив, содержание ГХЦГ постоянно и существенно снижается в течение года от 2,76 зимой до 1,55 нг/г сухой массы осенью. Таким образом, можно предположить, что регулярно преимущественно поздней осенью – в начале зимы происходит новое поступление ГХЦГ в ДО западной части Баренцева моря. Среднее содержание суммы ГХЦГ в ДО станций разреза «Кольский меридиан» составляет 2,19 нг/г сухой массы и в сравнении с ДО всего Баренцева моря (1,65 нг/г) оно относительно высокое.

Собственные данные «ПИНРО» им. Н.М. Книповича о содержании ПАУ на станциях разреза «Кольский меридиан» ограничены, практически отсутствуют сведения за весенний период. Вместе с тем на основании имеющихся результатов измерений отмечено, что содержание ПАУ в ДО в январе–марте значительно выше (100,1 нг/г сухой массы, $n = 26$), чем в августе–сентябре (57,8 нг/г сухой массы, $n = 11$). В обоих случаях варибель-

ность среднего уровня содержания ПАУ в ДО достаточно высокая, это свидетельствует о том, что содержание ПАУ в осадках подвержено относительно быстрым изменениям, включая его удаление. Последнее может быть связано с накоплением ПАУ организмами бентоса, прежде всего грунтофагами, в результате этот опасный токсикант включается в трофические цепи донных биоценозов. Сам факт значительного поступления ПАУ на поверхность воды в Северной Атлантике в зимние месяцы года представляется закономерным, так как в этот период активно работают тепловые электростанции Западной Европы, в том числе сжигающие уголь. Использование каменного и бурого углей в качестве важнейших теплоносителей на ТЭС, а также для обогрева частных домовладений до сих пор характерно для таких стран, как Германия (ФРГ), Польша и Великобритания [39].

Наименьшее среднее содержание ТМ и мышьяка, а также ХОС отмечено на прибрежной ст. 2 (рис. 5.2.11, 5.2.12). На первый взгляд, это выглядит не совсем логично, так как именно поступление антропогенного загрязнения с суши с материковым стоком принято считать основным источником загрязнения морских экосистем. В отношении Баренцева моря, расположенного в западной Арктике, можно достаточно уверенно сказать, что этот подход себя не оправдывает [70, 77, 78]. Техногенное загрязнение поступает в Баренцево море с различных направлений и в основе его – дальний трансграничный перенос как атмосферный, так и морскими течениями. Таким образом, главным источником загрязнения ДО является перенос аэрозолей, пыли и взвешенного вещества преимущественно с южного и западного направлений [123, 124, 125, 126, 127].

Как видно из рис. 5.2.11 и 5.2.12, наибольшее среднее содержание ТМ отмечено на ст. 7, 9 и 10, ХОС в ДО – на северных станциях разреза – ст. 8–10. Здесь кажется очевидным влияние приноса ТМ и ГХЦГ Центральной ветвью Нордкапского течения в составе оседающей на ДО органоминеральной взвеси.

Среди металлов наименьшим вариациям при продвижении по разрезу с юга на север подвержено среднее содержание в ДО кобальта и меди. Значительная изменчивость была характерна для содержания хрома и цинка (см. рис. 5.2.11), а также кадмия и ртути. Содержание этих элементов возрастало от 2,3 до 3,0 раз при продвижении от ст. 2 до ст. 7–9. Известно, что Cr, Zn и As в больших количествах содержатся в сухих аэрозолях (пыль, пепел, дымка), наблюдаемых над Арктикой. Основной источник этих элементов, по всей видимости, антропогенный [78].

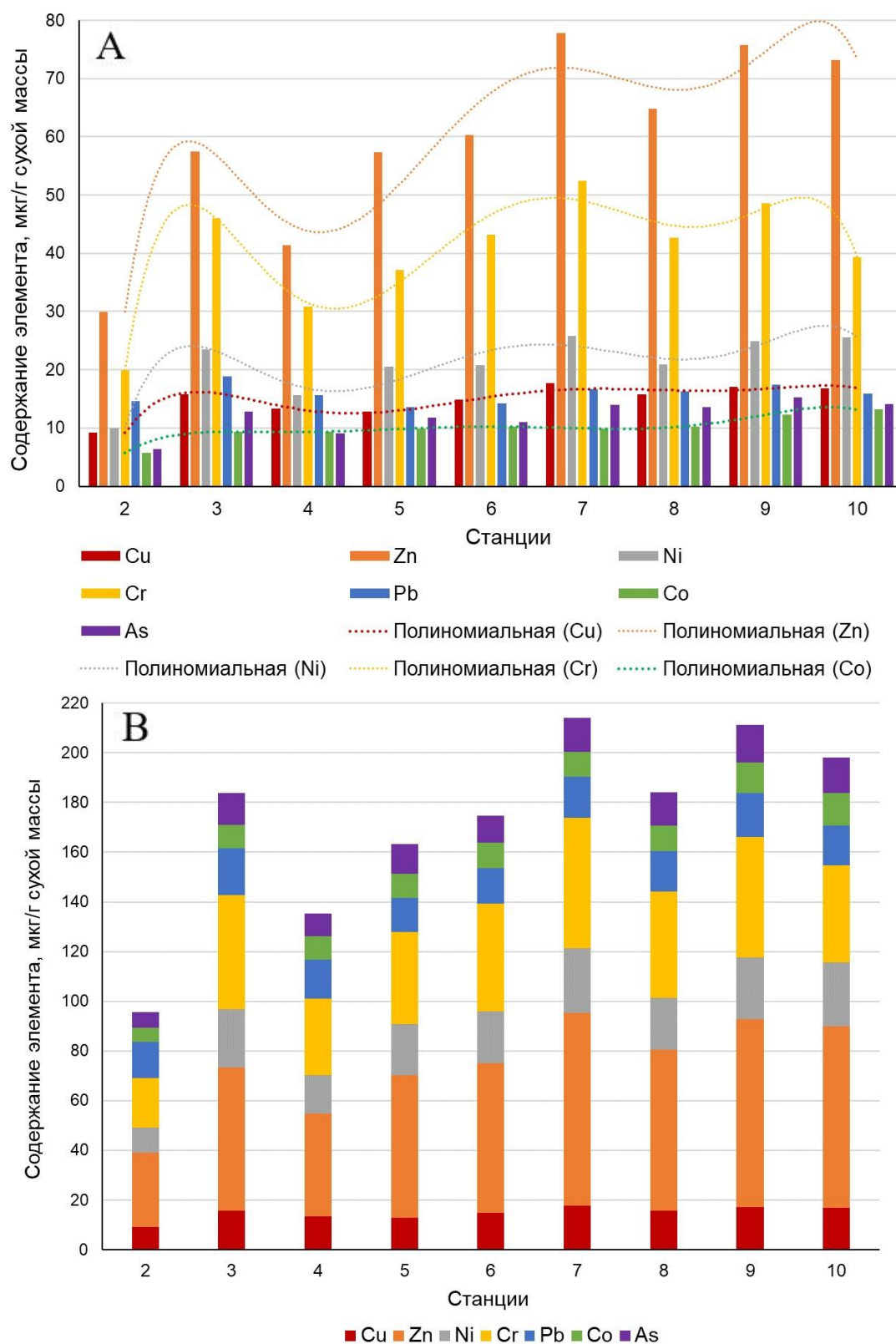


Рис. 5.2.11. Среднее содержание металлов в донных отложениях станций разреза «Кольский меридиан»: А – сгруппированная гистограмма с указанием линий трендов (полином 6 степени); В – гистограмма с накоплением (по данным за 2012–2023 гг.)

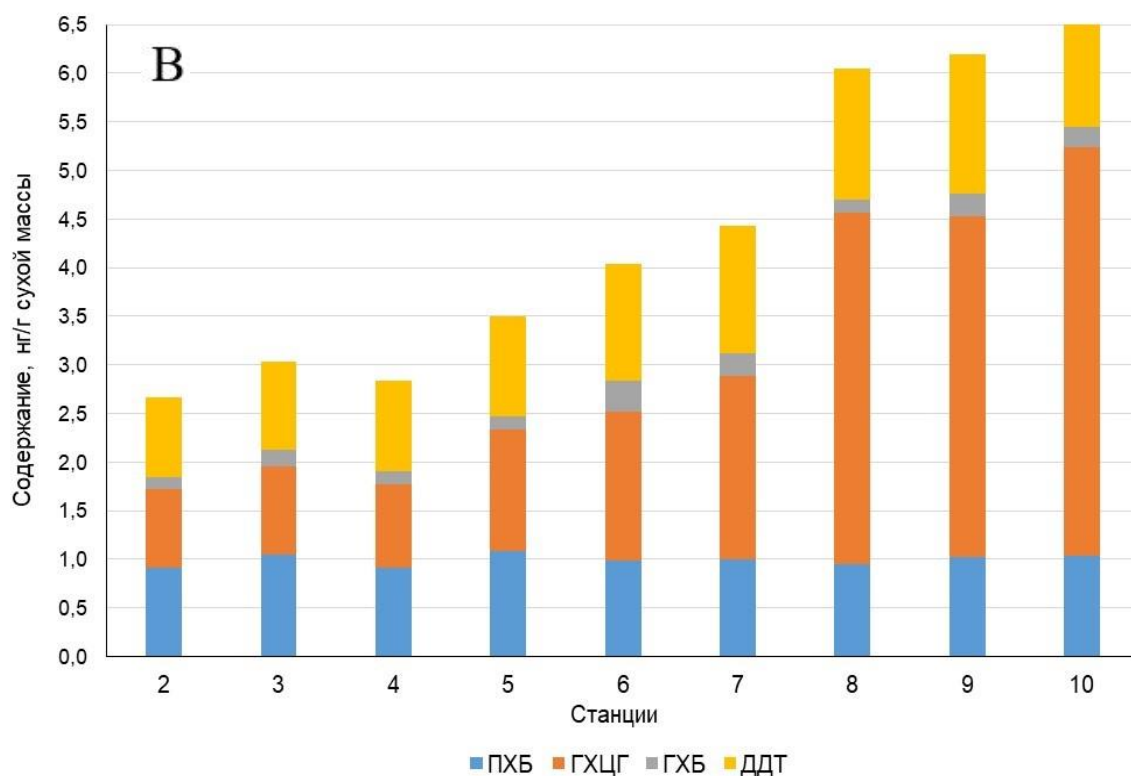
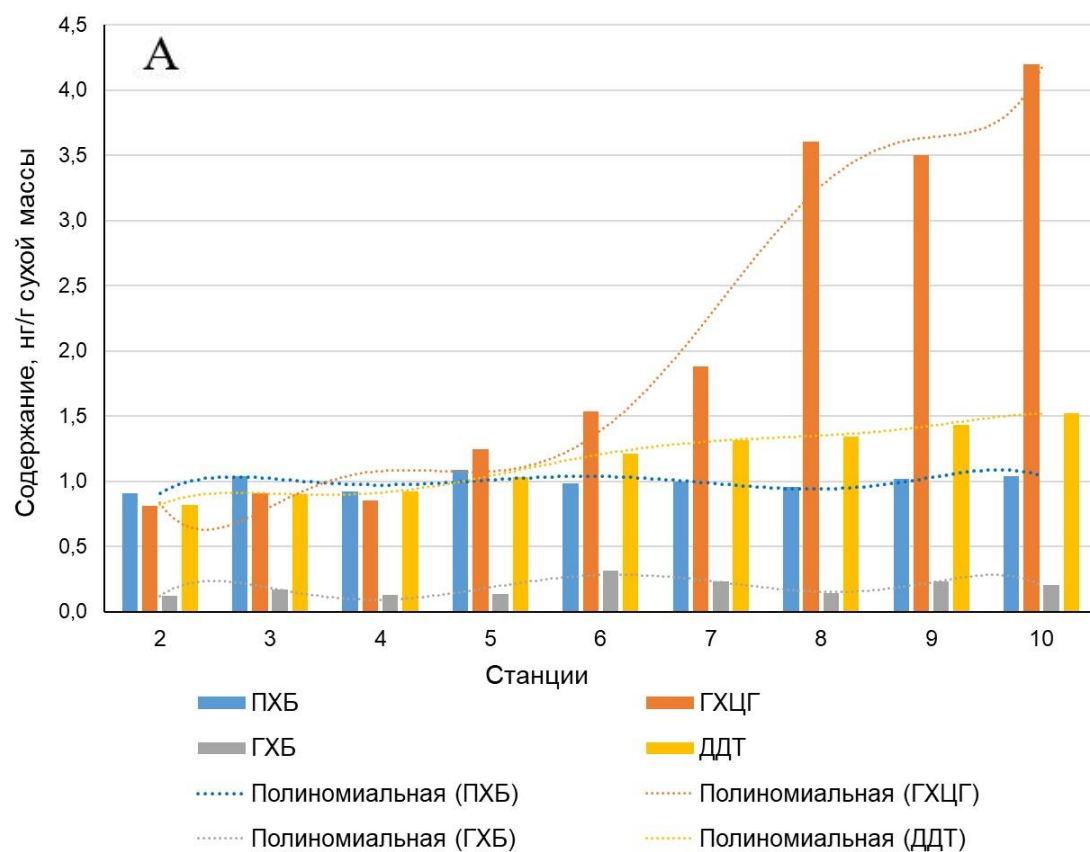


Рис. 5.2.12. Среднее содержание ХОС в донных отложениях станций разреза «Кольский меридиан»: А – сгруппированная гистограмма с указанием линий трендов (полином 6 степени); В – гистограмма с накоплением (по данным за 2012–2023 гг.)

Суммарное содержание хлорданов в ДО разреза очень низкое и нестабильное, как и на все остальной акватории Баренцева моря [76]. Имеющиеся в нашем распоряжении данные о содержании хлорданов в ДО немногочисленны. В 2020 и 2021 гг. хлорданы в ДО разреза не обнаружены, их содержание было ниже предела обнаружения. Данные о результативных измерениях, полученные в 2018 г. (июль–август) и 2022 г. (январь), представлены на рис. 5.2.13.

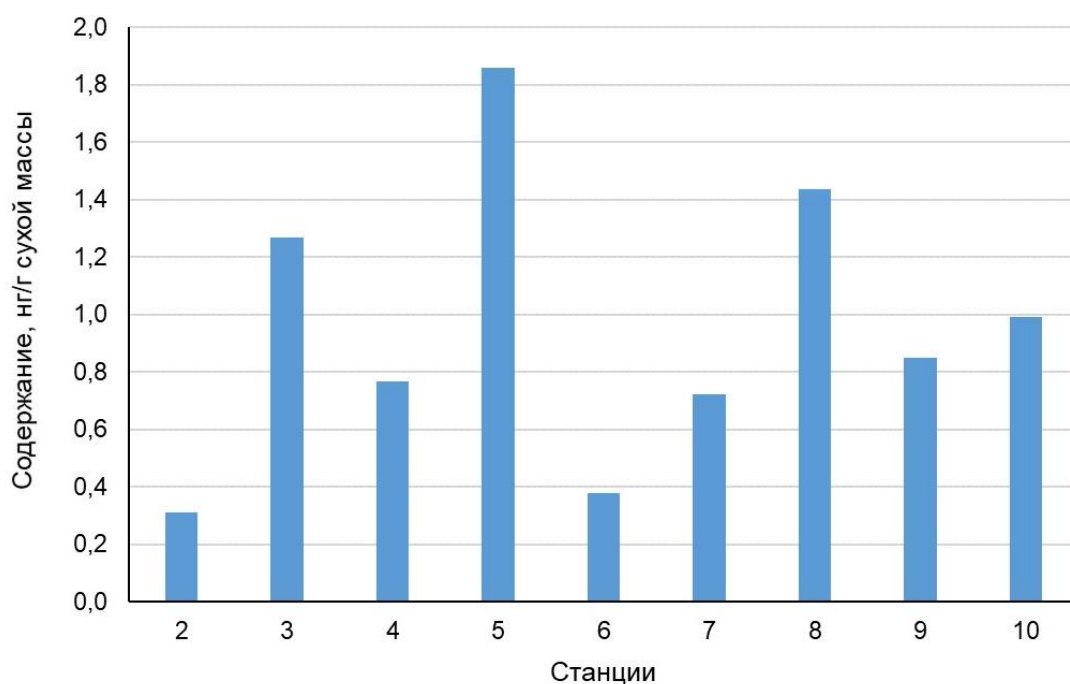


Рис. 5.2.13. Содержание хлорданов в донных отложениях станций разреза «Кольский меридиан»

Как следует из рис. 5.2.13, какой-либо тенденции в уровне содержания хлорданов в ДО различных станций разреза не просматривается. Их распределение в ДО разреза имеет, по всей видимости, случайный характер. Среднее содержание хлорданов летом 2018 г. составило 0,73 нг/г, зимой 2022 г. – 1,07 нг/г сухой массы.

В отличие от суммарного содержания хлорданов для содержания суммы ПАУ в ДО разреза просматривается общий тренд повышения уровня загрязнения с юга на север в соответствии с рис. 5.2.14. Наибольшее содержание ПАУ в осадках наблюдается на ст. 8 (202,5 нг/г), затем происходит некоторое снижение, что не отмечается в отношении рассмотренных выше ХОС.

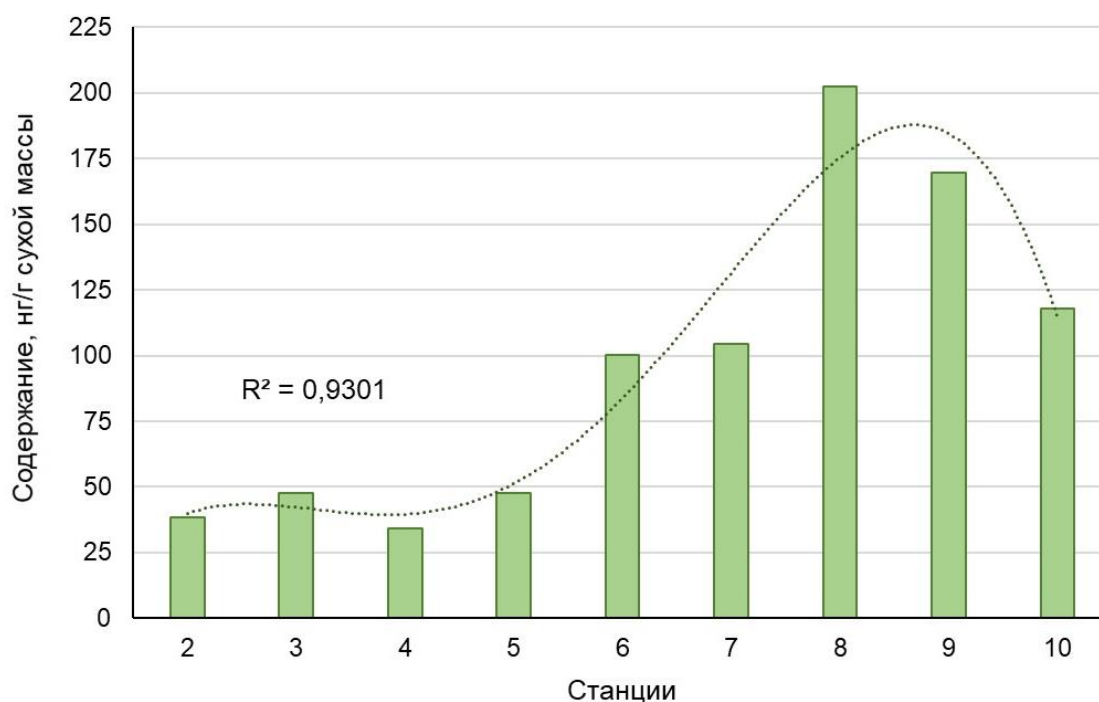


Рис. 5.2.14. Среднее содержание ПАУ в донных отложениях станций разреза «Кольский меридиан» с указанием линии тренда (полином 4 степени). Объединенные данные за 2015, 2016, 2022 гг.

Линия тренда для ПАУ более напоминает приведенные выше для ТМ главным образом Cr и Zn (см. рис. 5.2.11), что согласуется с известным мнением, что все указанные элементы и соединения являются маркерами глобального трансграничного переноса загрязнения. В подтверждение можно привести сведения о том, что в юго-западной части Баренцева моря аномалии содержания углеводородов в ДО, включая ПАУ, связаны с антропогенной составляющей, обусловленной влиянием атлантических вод, берегового стока, аэрозольного потока и ростом судоходства [67].

Содержание ПАУ в ДО Баренцева моря – величина чрезвычайно вариабельная. Согласно упомянутым выше данным [67], летом 2019 и 2020 гг. содержание ПАУ в ДО варьировало от 3 до 9934 нг/г сухой массы. Для сравнения полученные нами значения отличаются менее чем на порядок, что, возможно, дополнительно подтверждает формирование уровня ПАУ в ДО разреза в результате экзогенного влияния. Для большинства районов Баренцева моря весьма высокое суммарное содержание ПАУ в ДО обусловлено эндогенными процессами, а именно поступлением углеводородов из нижележащих горизонтов с флюидными газовыми потоками [114].

Характерно, что Со в повышенных количествах регулярно наблюдается в ДО почти на всех станциях разреза «Кольский меридиан» (кроме ст. 5), что было отмечено нами ранее. На рис. 5.2.15, заимствованном из из-

данного в «ПИНРО» им. Н.М. Книповича «Атласа загрязнения донных отложений Баренцева моря» [76], хорошо видно, что высокое содержание Со (фиолетовые ромбы) в отличие от других ТМ может наблюдаться практически на всех станциях разреза «Кольский меридиан». При этом средние значения содержания Со на станциях разреза относительно низкие, что свидетельствует о высокой подвижности загрязнения кобальтом, которое после поступления в экосистему, по всей видимости, «усваивается» биотой, включаясь в обмен веществ донных животных.

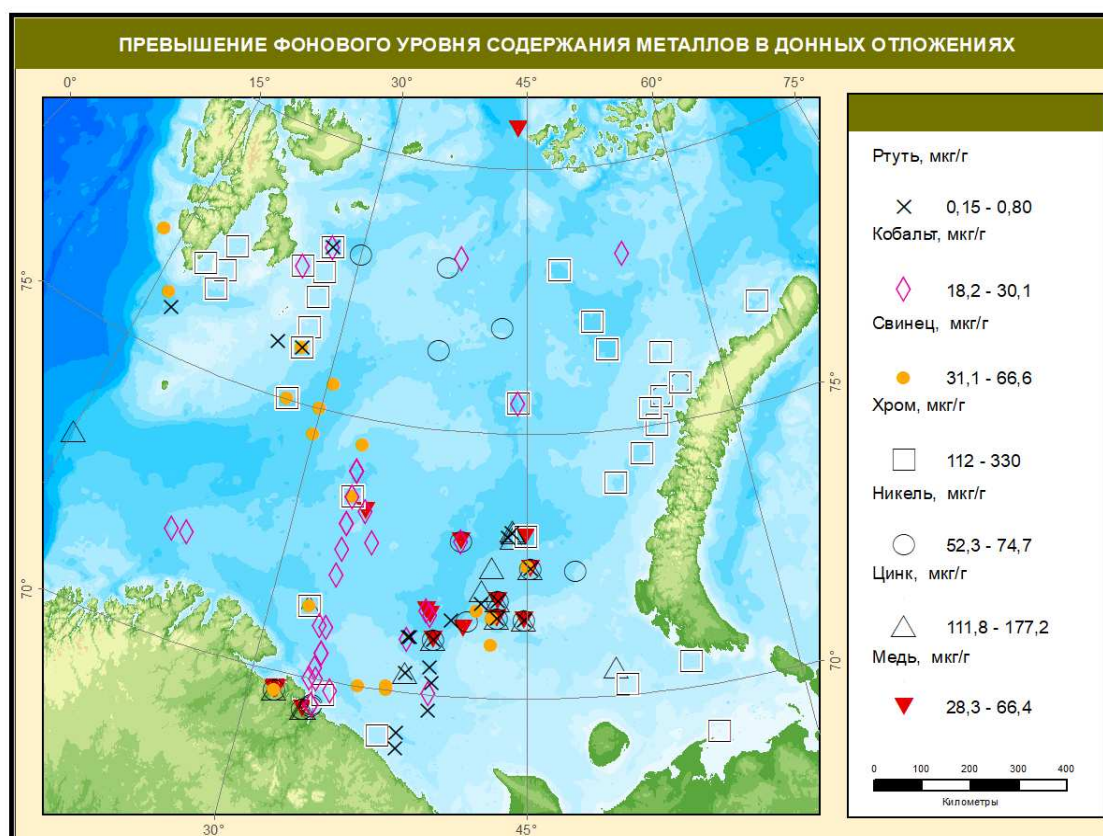


Рис. 5.2.15. Распределение максимальных уровней загрязнения донных отложений Баренцева моря тяжелыми металлами (по: [76])

Известно, что Со является эссенциальным элементом и активно задействован в биохимических процессах живых организмов – активирует аргиназу, костную и кишечную фосфатазу, инактивирует уразу, пепсин, применяется при синтезе мышечных белков и др. Эукариоты используют Со в основном в виде кобаламина, например, в синтезе метионина [80]. Отсюда следует, что большая часть поступившего в мае–июне Со может быстро расходоваться в результате жизнедеятельности донных гидробионтов.

Принимая во внимание тот факт, что среднее содержание Со в ДО разреза невелико, наблюдаемую динамику можно связать, с одной стороны, с

приносом свежей «порции» этого металла Нордкапским течением и быстрым его оборотом в морском биоценозе, с другой. В то же время существует возможность вторичного поступления Со в среду обитания в результате отмирания и разложения гидробионтов.

Медь почти всегда сопутствует кобальту в месторождениях и наоборот. Таким образом, поступление Со в морскую среду во многих случаях будет сопровождаться поступлением Си. Тот факт, что изложенные выше для Со процессы не происходят с таким эссенциальным элементом, как Си, свидетельствует о том, что поступающая в западную часть Баренцева моря Си активно расходуется фитопланктоном еще в толще воды. Оставшаяся часть Си в составе взвеси, включая отмирающие организмы фитопланктона, продвигаясь на восток, имеет свойство аккумулироваться на склонах Центральной впадины и Гусиной банки в зонах круговоротов, образуемых Мурманским течением (см. рис. 5.2.15, рис. 5.2.16).

Такая же ситуация отмечена и для Рb в ДО. На ст. 3–5 и 9, где среднее содержание этого металла в период наблюдений почти не отличается от среднего, характерного для ДО всего Баренцева моря, периодически регистрируются высокие значения, превышающие уровень фона по этому металлу – 31 мкг/г сухой массы [70]. Однако для неэссенциального элемента, каким является Рb, объяснение этого явления, подобное обороту Со, не подходит. В данном случае можно предположить существование шлейфов повышенного загрязнения свинцом на морском дне. Шлейфы могут образовываться в процессе выпадения содержащих Рb силикатной пыли природных почв, вулканической пыли и других аэрозолей на поверхность воды [98], а затем после переноса на дальнее расстояние опускаться на дно.

При переносе течениями шлейфы загрязнения могут откладываться на «омываемых» ими складках рельефа дна, склонах банок и желобов, как было показано нами ранее, в том числе и на примере Рb (см. рис. 5.2.15, 5.2.16) [71, 76]. Такие сильно загрязненные ДО имеют мозаичный характер распределения, занимая обычно небольшие участки дна. Эпизодически проба ДО может быть отобрана именно из такого локального участка повышенного загрязнения.

Наглядная схема транспортировки загрязнения в Арктике на примере Рb с участием атмосферного переноса, морских течений и дрейфующих льдов представлена на рис. 5.2.17. Изотопный состав загрязняющего экосистему Рb ($^{206}\text{Pb} : ^{207}\text{Pb} = 1,14$) предполагает расположение источников загрязнения в Западной Европе. К. Гобейл, Р. МакДональд и Дж. Смит [142] предположили, что Рb может попадать в морские воды через реки и атмосферу как радионуклиды (^{137}Cs , ^{129}I), сброшенные европейскими заводами по переработке отработавшего ядерного топлива [123].

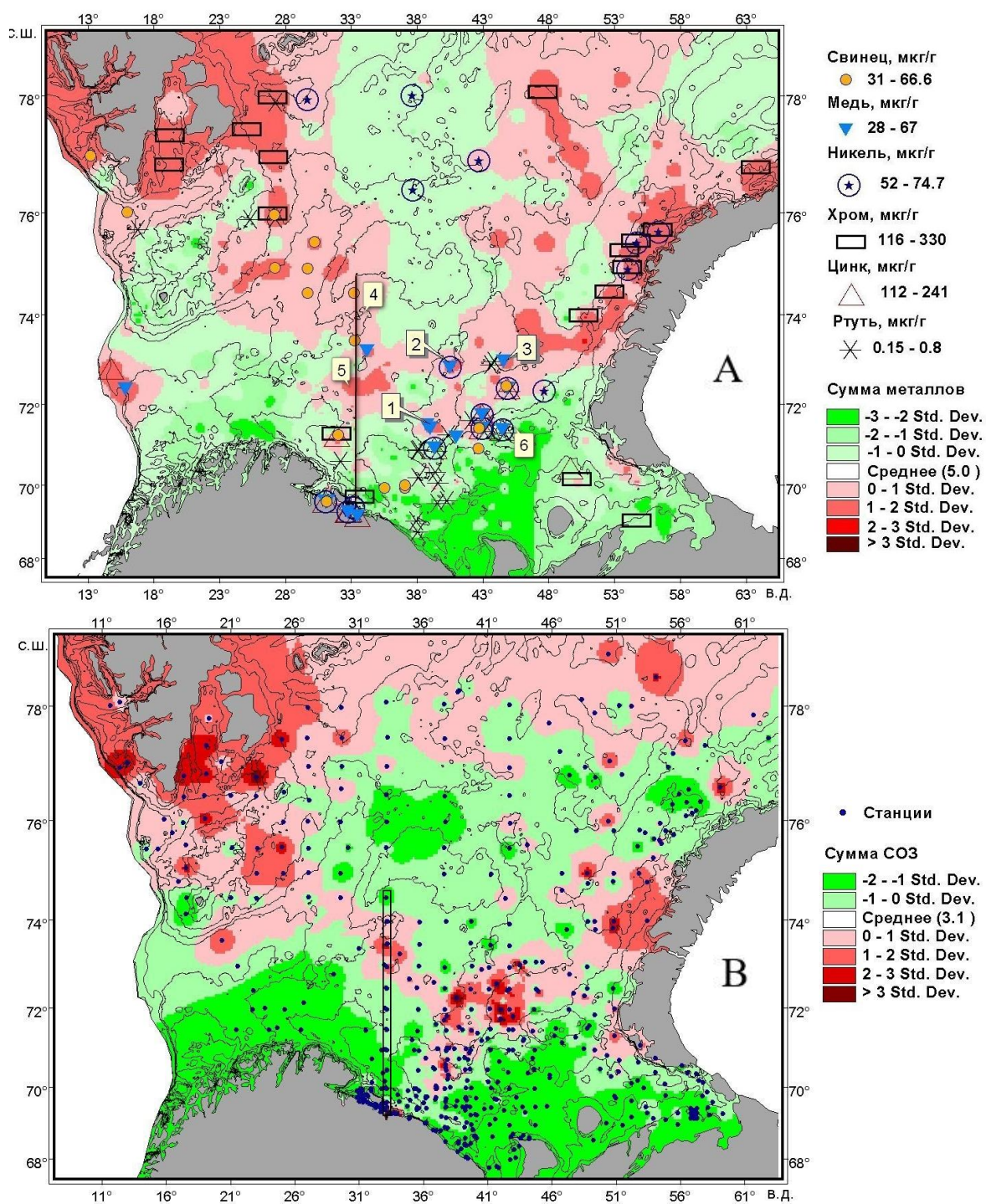


Рис. 5.2.16. Распределение стандартных отклонений (Std. Dev.) суммы содержаний ТМ (А) и ХОС (В) в ДО Баренцева моря. Черные прямые линии на картах соответствуют разрезу «Кольский меридиан», тонкие линии – изобаты, значками показаны станции с содержанием ТМ выше фоновых уровней. Цифрами обозначены: 1 – южная часть Центральной впадины; 2 – ее западный склон; 3 – ее северо-восточный склон; 4 – Демидовский желоб; 5 – Финмаркенская банка; 6 – Гусиная банка (по: [73] с дополнениями)

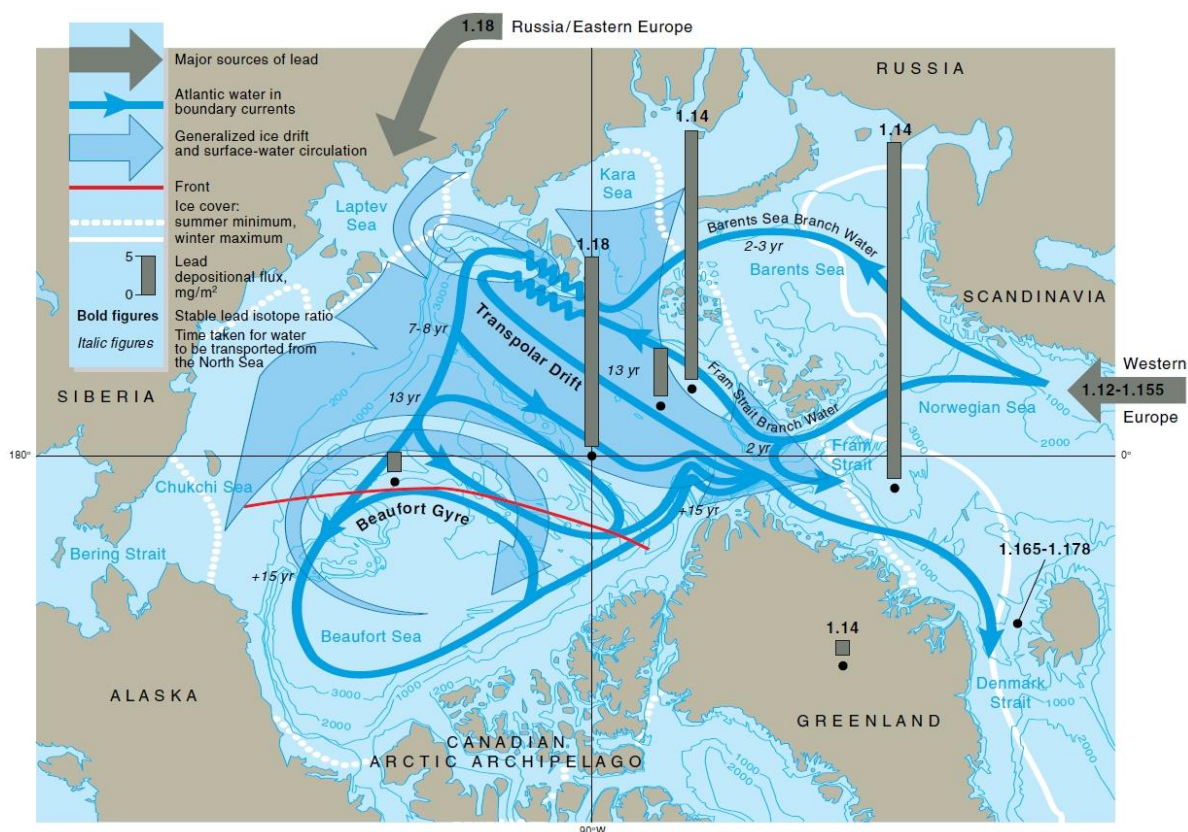


Рис. 5.2.17. Схема транспортировки соединений свинца в Арктике от основных источников загрязнения, выявленная с использованием смеси стабильных изотопов свинца в донных осадках, находящихся как в Западной Европе ($^{206}\text{Pb}:^{207}\text{Pb} = 1,14$), так и в Евразии ($^{206}\text{Pb}:^{207}\text{Pb} = 1,18$) (по: [142] с изменениями)

Считают [123], что Pb удаляется (осаждается) из вод океана во время их перемещения на север до Гренландского и Баренцева морей, а также вдоль границы Евразийского бассейна, которое сдерживается притоком вод Восточно-Шпицбергенского течения [158]. В общем виде представленная схема может работать и в отношении некоторых других ТМ (Zn, Ni, Cr, Co).

Изотопный состав Pb в водах прол. Фрама свидетельствует о том, что значительное количество Pb из Европы переносится через Северный Ледовитый океан (СЛО) и попадает в Гренландское море по относительно короткому пути с ветвью Западно-Шпицбергенского течения за небольшой промежуток времени (~ 2 года). В результате в Гренландской котловине обнаружен самый высокий в СЛО седиментационный поток Pb на морское дно — $38,2 \text{ мг/м}^2$ в год (см. рис. 5.2.17) [142]. К сведению, рассчитанный в целом для Баренцева моря поток Pb из атмосферы на морскую поверхность составляет $0,035 \text{ мг/м}^2$ в год [11].

Наиболее значительно на разрезе изменяется суммарное содержание ГХЦГ, наименее — ПХБ (см. рис. 5.12). Содержание ГХБ варьирует в широких пределах от $0,12$ до $0,31 \text{ нг/г}$ сухой массы на ст. 2 и 6 соответственно.

Резкое увеличение содержания ГХЦГ в направлении на север начиная со ст. 6 характерно для центральной части Баренцева моря. Тем не менее источники появления повышенного количества ГХЦГ в этом районе четко не прослеживаются. Ранее нами была выдвинута гипотеза о том, что принос ГХЦГ в ДО Демидовского желоба (ст. 9, 10) может происходить при перемещении загрязненной взвеси придонными течениями из Центральной впадины, т.е. в направлении с востока на запад [72]. Известно, что область распространения придонных баренцевоморских вод захватывает северную часть разреза «Кольский меридиан», как видно из рис. 5.2.18 [12, 164]. В результате загрязнение может перемещаться из Центральной впадины в Демидовский желоб придонными течениями, увлекающими верхний слой ДО (наилкок, «морской снег»), так называемым нефелоидным потоком [44, 48].

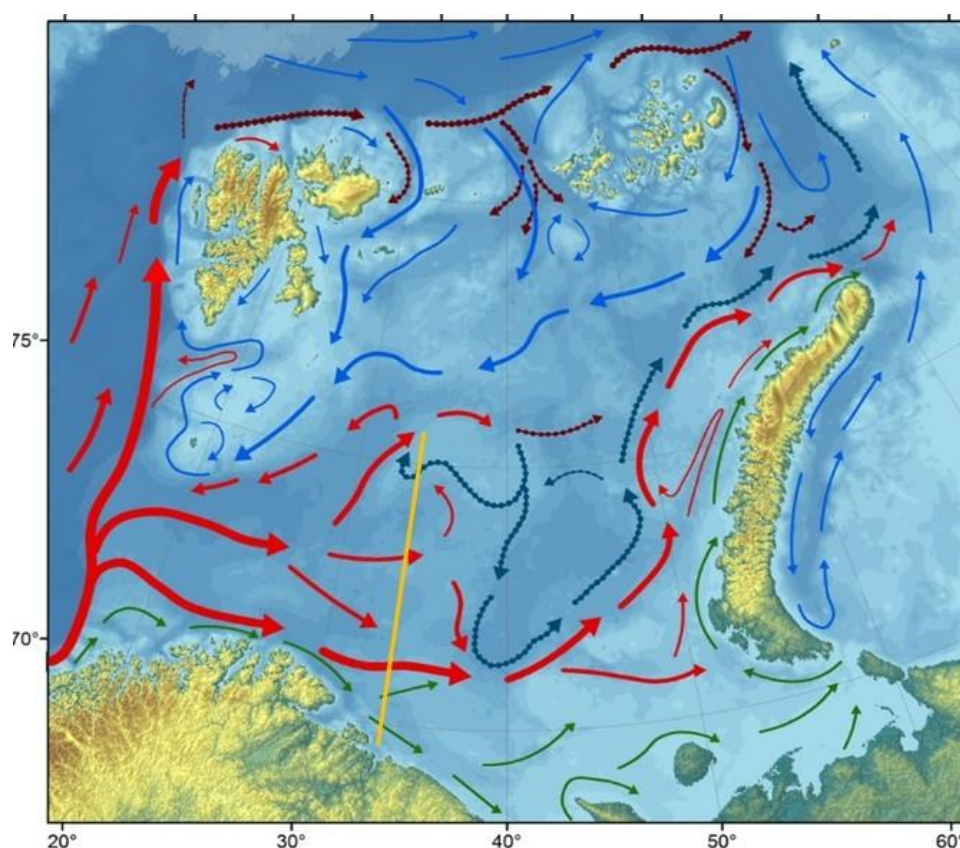


Рис. 5.2.18. Схема основных течений в Баренцевом море. Красными стрелками обозначены теплые течения, синими – холодные. Синей пунктирной линией показаны холодные придонные течения. Желтая линия соответствует разрезу «Кольский меридиан» (по: [12] с дополнением)

Наиболее способны к переносу тонкозернистые осадки, ил и песчаный ил в придонном слое воды с последующим отложением. Подобным образом в ДО северных станций разреза «Кольский меридиан» могут попадать ТМ и мышьяк. Характер загрязнения ДО в районе северных станций разреза (7–

11), вероятно, обусловленных упомянутым переносом, можно также на рис. 5.2.16.

5.3. Выводы

Концентрации Fe, Zn, Ni, Cu, Mn, Pb и Cd в водах течений, пересекающих разрез «Кольский меридиан» в восточном направлении, зачастую превышали фоновые уровни, рассчитанные для Западно-Арктического шельфа Евразии, что подтверждает предположение о возможном переносе ими металлов от источников загрязнения, расположенных в Западной Европе, на шельф Баренцева моря. Средняя концентрация Co и Cr в воде на разрезе превышала кларковые значения для океанических вод и может быть обусловлена как особенностями регионального геохимического фона, так и техногенным воздействием [74, 75]. Вместе с тем концентрация Zn, Ni, Cu, Mn, Cr, As, Co, Pb, Cd и Hg в воде на разрезе на протяжении всего периода исследований была ниже их ПДК_{р/х} [91]. В единичных случаях отмечали лишь превышение ПДК_{р/х} в воде Fe.

В составе АУ в воде на разрезе «Кольский меридиан» преобладали низкомолекулярные гомологи, что характерно для автохтонных (синтезируемых в море) *n*-алканов. Концентрация АУ в воде в период исследований не превышала ПДК_{р/х} для нефтепродуктов.

В Σ ПАУ в воде доминировали нафталин и его метилированные производные. Максимальная суммарная концентрация канцерогенных ПАУ составила 2,8 нг/л. Средняя концентрации Σ ПАУ в воде на разрезе «Кольский меридиан» превышала глобальный фоновый уровень – 20 нг/л [136].

Содержание Σ ГХЦГ, ГХБ, Σ ДДТ и Σ ПХБ в воде на разрезе значительно ниже рыбохозяйственных ПДК [91]. Концентрации хлорданов в воде не превышали предела обнаружения применяемого метода анализа (<0,05 нг/л). Наиболее высокие уровни загрязнения воды на разрезе хлорорганическими соединениями (Σ ГХЦГ, ГХБ и Σ ПХБ) наблюдались в зимне-весенний период.

Содержание загрязняющих веществ в ДО на разрезе «Кольский меридиан» отличается значительной вариабельностью, которая зависит как от расположения станций, так и от сезона отбора проб. В общем случае уровень загрязнения ДО увеличивается при продвижении с юга на север. Наибольший уровень содержания ТМ в ДО Баренцева моря наблюдается, как правило, весной, в мае–июне, а мышьяка и ХОС – в январе–марте.

Наиболее загрязнены ДО на северных станциях разреза «Кольский меридиан» (7–10), что может быть связано с переносом загрязнения в виде взвешенного вещества как с запада (Нордкапское течение), так и с востока, из Центрального желоба. Кроме того, принято считать, что интенсивность

сорбции ТМ и мышьяка донными осадками на разрезе «Кольский меридиан» зависит от гранулометрического состава последних и уровня содержания в них органического углерода [16, 43].

Поступление ПАУ в баренцевоморский регион связано с поступлением ряда таких ТМ, как хром, цинк и никель.

Отмечено повторяющееся, непериодическое сильное увеличение содержания кобальта в ДО практически всех станций разреза с последующим быстрым его снижением. Снижение содержания кобальта в ДО можно связывать с его активным использованием в биологических процессах в ходе жизнедеятельности бентосных организмов.

Содержание хлорданов в ДО разреза является очень низким, имеет случайный характер, связанный с эпизодическим поступлением этой группы приоритетных поллютанов в западную Арктику.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе выполнены обобщение, систематизация и анализ большого объема гидрохимических, гидробиологических и экотоксикологических материалов, накопленных в базе данных ПИНРО по разрезу «Кольский меридиан» за все время его выполнения.

Рассмотрена сезонная и межгодовая изменчивость наиболее важных и часто определявшихся гидрохимических параметров: растворенного в воде кислорода и фосфатов с 1961 по 2020 г. Представлены особенности и механизмы формирования их годового хода. Выявлены основные периоды с повышенным и пониженным относительно среднееголетнего уровня содержанием кислорода и минерального фосфора, а также отмечена важная роль температуры воды в их многолетних изменениях. В современный период потепления концентрации растворенного в воде кислорода и фосфатов заметно понизились в сравнении с холодными годами второй половины прошлого века.

Исследовано состояние сообществ зоопланктона в мае–июле 1960–2017 гг. Рассмотрен таксономический состав зоопланктона, выполнен анализ пространственной, сезонной и межгодовой изменчивости его численности и биомассы. При достаточно стабильном таксономическом составе зоопланктона его общая численность и биомасса испытывали существенные межгодовые колебания. При этом в современный теплый период (2008–2017 гг.) эти показатели в целом были выше, а более интенсивное развитие *C. finmarchicus* – основного биомассообразующего вида – способствовало увеличению от мая к июлю общей биомассы зоопланктона в северной части разреза в водах Центральной ветви Нордкапского течения.

Показана динамика состояния макрозообентоса в 1930–2019 гг., выявлены многолетние изменения в бентосных сообществах – таксономический состав, биомасса и плотность поселений. Оценены видовое богатство и разнообразие макрозообентоса, а также экологическое состояние акватории с помощью Морского биотического индекса, использующего в качестве биоиндикаторов макробентосные организмы. За всю историю исследований на разрезе отмечены значительные изменения сообществ макрозообентоса, проявившиеся в первую очередь в смене доминирующих видов, при этом статус экосистемы характеризуется как высокий и хороший с отсутствием или легкой степенью нарушения сообществ.

Выполнен анализ уровней содержания в поверхностных и придонных водах, а также в донных отложениях основных групп загрязняющих веществ: тяжелых металлов (Fe, Cu, Cd, Ni, Zn, Cr, Co, Pb, Mn, Hg), мышьяка (As), неполярных алифатических углеводородов, полициклических арома-

тических углеводов, хлорорганических пестицидов и полихлорбифенилов в разные сезоны на основе данных за 2012–2023 гг. В настоящее время Баренцево море сохраняет позиции наиболее чистого района Европейской Арктики.

Принимая во внимание современные изменения климата Арктики и их очевидное влияние на экосистему Баренцева моря, крайне важно продолжать регулярные исследования на этом уникальном вековом разрезе, получившем широкое признание отечественного и зарубежного научного сообщества, в целях обеспечения исследователей достаточным по объему и качеству материалом для достоверных выводов как о состоянии биоты, так и о влиянии на нее условий окружающей среды и антропогенных факторов.

Представленные в данной монографии результаты гидрохимических, гидробиологических и экотоксикологических исследований, выполненных на разрезе «Кольский меридиан», могут быть полезными для широкого круга специалистов в области океанографии, морской биологии, экологии и смежных с ними наук.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Айбулатов, В.Г. Экологическое эхо холодной войны в морях российской Арктики / В.Г. Айбулатов. – М.: ГЕОС, 2000. – 320 с.
2. Алексеева, Т.Н. Гранулометрический состав поверхностного слоя донных осадков Баренцева моря / Т.Н. Алексеева, Н.В. Политова, Н.В. Козина // Океанология. – 2020. – Т. 60, № 6. – С. 915–929.
3. Биомасса планктона на путях дрейфа личинок трески: справочный материал / ПИНРО; сост. В.Н. Нестерова. – Мурманск: ПИНРО, 1990. – 64 с.
4. Бойцов, В.Д. Роль абиотических факторов в формировании биомасс зоопланктона центральной части Баренцева моря и его принос из других регионов / В.Д. Бойцов, Э.Л. Орлова // Известия ТИНРО. – 2004. – Т. 137. – С. 101–118.
5. Болдовский, Г.В. Питание мурманской сельди в губах / Г.В. Болдовский // Труды ПИНРО. – 1938. – Вып. 1. – С. 102–119.
6. Болдовский, Г.В. Пища и питание сельдей Баренцева моря / Г.В. Болдовский // Труды ПИНРО. – 1941. – Вып. 7. – С. 219–286.
7. Бочков, Ю.А. О климатических нормах температуры воды на стандартных разрезах в Баренцевом море / Ю.А. Бочков // Физико-химические условия формирования биологической продуктивности Баренцева моря. – Апатиты: КФ АН СССР, 1980. – С. 10–18.
8. Бочков, Ю.А. Крупномасштабные колебания на разрезе «Кольский меридиан» и их прогнозирование / Ю.А. Бочков // 100 лет океанографических наблюдений на разрезе «Кольский меридиан» в Баренцевом море: Сб. докл. Междунар. симпозиума. – Мурманск: Изд-во ПИНРО, 2005. – С. 47–64.
9. Бруевич, С.В. Методика химической океанографии / С.В. Бруевич. – М.: Издание Центрального управления Единой гидрометеорологической службы СССР, 1933. – 144 с.
10. Виды – биологические индикаторы состояния морских арктических экосистем: экологический атлас / ПАО «НК «Роснефть» [и др.]. – Москва: Фонд «НИР», 2020. – 383 с. – (Экологические атласы морей России).
11. Виноградова, А.А. Оценка потоков тяжелых металлов из атмосферы на поверхность Баренцева моря / А.А. Виноградова, Е.И. Котова // Труды Ферсмановской научной сессии ГИ КНЦ РАН. – 2019. – Т. 16. – С. 63–67.
12. Воды Баренцева моря: структура, циркуляция, изменчивость / В.К. Ожигин, В.А. Ившин, А.Г. Трофимов [и др.]; ПИНРО. – Мурманск: ПИНРО, 2016. – 260 с.

13. Вязникова, В.С. Две стратегии существования полихет в Баренцевом море на примере *Spiochaetopterus typicus* и видов семейства Maldanidae / В.С. Вязникова, И.Е. Манушин, Е.А. Фролова // Материалы XVII научного семинара «Чтения памяти К.М. Дерюгина» (СПбГУ, 5.12.2014 г.) / СПбГУ, каф. ихтиологии и гидробиологии. – СПб., 2015. – С. 52–68.
14. Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР. Том 1. Баренцево море. Вып. 2. Гидрохимические условия и океанологические основы формирования биологической продуктивности / Отв. ред. Ф.С. Терзиев. – СПб.: Гидрометеиздат, 1992. – 182 с.
15. Голубева, Н.И. Загрязнение атмосферы Арктики токсичными тяжелыми металлами / Н.И. Голубева // Биология и океанография Северного морского пути: Баренцево и Карское моря. – М.: Наука, 2007. – С. 173–189.
16. Горбачева, Е.А. Экологические исследования донных отложений прибрежных районов Кольского п-ова (химический состав и биотестирование) / Е.А. Горбачева, А.М. Лаптева // Экологическая химия. – 2022. – Т. 31, № 4. – С. 197–208.
17. ГОСТ Р 52406-2005. Вода. Определение нефтепродуктов методом газовой хроматографии. – М.: Изд-во стандартов, 2005. – 25 с.
18. Гуревич, В.И. Современный седиментогенез и геоэкология Западно-Арктического шельфа Евразии / В.И. Гуревич. – М.: Научный мир, 2002. – 134 с.
19. Даувальтер, В.А. Биогеохимические особенности распределения халькофильных элементов (Hg, Cd, Pb, As) в водоемах Севера европейской части России / В.А. Даувальтер, Н.А. Кашулин. – Мурманск: Изд-во МГТУ, 2015. – 136 с.
20. Дворецкий, В.Г. Межгодовая флуктуация зоопланктона на Кольском разрезе (Баренцево море) в связи с факторами среды / В.Г. Дворецкий, А.Г. Дворецкий // Экология. – 2014. – № 4. – С. 398–407.
21. Дегтярева, А.А. Закономерности количественного развития зоопланктона в Баренцевом море / А.А. Дегтярева // Труды ПИНРО. – 1979. – Вып. 43. – С. 22–53.
22. Дегтярева, А.А. Многолетняя динамика численности и биомассы зоопланктона в юго-западной части Баренцева моря в связи с изменениями термического режима / А.А. Дегтярева // Экология и биологическая продуктивность Баренцева моря: тез. докл. Всесоюз. конф. (Мурманск, июль 1986 г.). – Мурманск: КФ АН СССР, 1986. – С. 59–60.
23. Дудина, Т.В. Первичная продукция фитопланктона и сообщества донных продуцентов юго-восточной части Баренцева моря в условиях полярного дня / Т.В. Дудина // Труды ВНИРО. – 2014. – Т. 152. – С. 155–168.

24. Елизаров, А.А. К вопросу о долгопериодных изменениях абиотических и биотических условий / А.А. Елизаров // Теория формирования численности и рационального использования стад промысловых рыб. – М.: Наука, 1985. – С. 197–204.
25. Жилин, А.Ю. Полициклические ароматические углеводороды в воде, биоте и донных осадках Баренцева моря / А.Ю. Жилин, Л.И. Киреева // Известия ТИНРО. – 2004. – Т. 137. – С. 337–345.
26. Зайцев, Г.Н. Новые данные о среднегодовых температурах воды на Кольском меридиане / Г.Н. Зайцев // Труды ВНИРО. – 1967. – Т. 62. – С. 256–267.
27. Запевалов, М.А. Мониторинг стойких органических загрязнителей – объективный и независимый инструмент оценки эффективности Стокгольмской конвенции о СОЗ (2001) / М.А. Запевалов // Химическая безопасность. – 2018. – Т. 2, № 2. – С. 295–307.
28. Зенин, А.А. Гидрохимический словарь / А.А. Зенин, Н.В. Белосусов. – Л.: Гидрометеиздат, 1988. – 239 с.
29. Зубов, Н.Н. Средние температуры гидрологической станции и гидрологического разреза / Н.Н. Зубов // Записки по гидрографии. – 1926. – Т. 51. – С. 169–174.
30. Ижевский, Г.К. Океанологические основы формирования промысловой продуктивности морей / Г.К. Ижевский. – М.: Пищепромиздат, 1961. – 215 с.
31. Ижевский, Г.К. Системная основа прогнозирования океанологических условий и воспроизводства промысловых рыб / Г.К. Ижевский. – М.: Изд-во ВНИРО, 1964. – 165 с.
32. Изучение экосистем рыбохозяйственных водоемов, сбор и обработка данных о водных биологических ресурсах, техника и технология их добычи и переработки. Выпуск 1. Инструкции и методические рекомендации по сбору и обработке биологической информации в морях Европейского Севера и Северной Атлантики. – 2-е изд., испр. и доп. – М.: ВНИРО, 2004. – 300 с.
33. Исидоров, В.А. Введение в химическую экотоксикологию: учеб. пособие / В.А. Исидоров. – СПб.: Химиздат, 1999. – 144 с.
34. История океанографических исследований на разрезе «Кольский меридиан» / А.П. Алексеев, А.В. Семенов, В.А. Боровков [и др.] // 100 лет океанографических наблюдений на разрезе «Кольский меридиан» в Баренцевом море: сб. докл. Междунар. симпозиума. – Мурманск: Изд-во ПИНРО, 2005. – С. 4–14.
35. К оценке условий воспроизводства промысловых рыб Северной Атлантики и морей Европейской территории СССР на основе системного

анализа природных процессов / М.А. Богданов, А.А. Елизаров, С.И. Потайчук, Е.В. Солянкин // Рыбное хозяйство. – 1974. – № 7. – С. 21–24.

36. Камшилов, М.М. Продукция *Calanus finmarchicus* в прибрежной зоне Восточного Мурмана / М.М. Камшилов // Труды МБС. – 1958. – Т. 4. – С. 45–55.

37. Канаева, Н.П. Средний вес *Copepoda* Центральной и Северной Атлантики, Норвежского и Гренландского морей / Н.П. Канаева // Труды ВНИРО. – 1962. – Т. 46. – С. 253–266.

38. Карамушко, О.В. Питание и биоэнергетика основных промысловых рыб Баренцева моря на разных этапах онтогенеза / О.В. Карамушко, Л.И. Карамушко. – Апатиты: КНЦ РАН, 1995. – 220 с.

39. Кароль, И.Л. Суета вокруг сажии / И.Л. Кароль, А.А. Киселев // Природа. – 2013. – № 6 (1174). – С. 3–11.

40. Карсаков, А.Л. Океанографические исследования на разрезе «Кольский меридиан» в Баренцевом море за период 1900–2008 гг. / А.Л. Карсаков. – Мурманск: Изд-во ПИНРО, 2009. – 139 с.

41. Книпович, Н.М. Основы гидрологии Европейского Ледовитого океана / Н.М. Книпович. – Санкт-Петербург, 1906. – 1510 с.

42. Комплексные исследования больших морских экосистем России / ММБИ КНЦ РАН. – Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2011. – 516 с.

43. Лаптева, А.М. Микроэлементы в донных отложениях Баренцева моря на стандартном разрезе «Кольский меридиан» / А.М. Лаптева, Н.Ф. Плотицына // Вестник МГТУ. – 2017. – Т. 20, № 1–2. – С. 242–251.

44. Латеральные потоки взвешенного вещества на разрезе «Кольский меридиан» / М.В. Митяев, М.В. Герасимова, Л.Г. Павлова, Е.И. Дружкова // Труды КНЦ РАН. – 2018. – № 4 (9). Серия Океанология, вып. 5. – С. 109–117.

45. Леин, А.Ю. Исследование морей Российской Арктики: мыслим процессами / А.Ю. Леин // Природа. – 2014. – № 8. – С. 11–19.

46. Лейбсон, Р.Г. Количественный учет донной фауны Мотовского залива / Р.Г. Лейбсон // Труды ВНИРО. – 1939. – Т. 4. – С. 127–192.

47. Линко, А.К. Исследования над составом и жизнью планктона Баренцева моря / А.К. Линко / Экспедиция для научно-промысловых исследований у берегов Мурмана. – СПб.: Изд-во Комитета для помощи поморам Русского Севера, 1907. – 237 с.

48. Лукашин, В.Н. Потоки осадочного вещества в седиментационной системе контурного течения над континентальным склоном в Норвежском море / В.Н. Лукашин // Океанология. – 2008. – Т. 48, № 5. – С. 757–766.

49. М 02-902-125-2005. Методика количественного химического анализа. Определение As, Cd, Co, Cr, Cu, Hg, Mn, Ni, Pb, Sb, Sn, Zn (кислоторастворимые формы) в почвах и донных отложениях атомно-абсорбционным методом. – СПб.: АНАЛИТ, 2005. – 25 с.

50. Майстренко, В.Н. Эколого-аналитический мониторинг стойких органических загрязнителей / В.Н. Майстренко, Н.А. Ключев. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2009. – 323 с.

51. Мантейфель, Б.П. Краткая характеристика основных закономерностей в изменениях планктона Баренцева моря / Б.П. Мантейфель // Труды ПИНРО. – 1938. – Вып. 1. – С. 134–148.

52. Мантейфель, Б.П. Планктон и сельдь в Баренцевом море / Б.П. Мантейфель // Труды ПИНРО. – 1941. – Вып. 7. – С. 125–218.

53. Мантейфель, Б.П. Вертикальные миграции морских организмов. Вертикальные миграции кормового зоопланктона / Б.П. Мантейфель // Труды Института морфологии животных им. А.Н. Северцова. – 1959. – Вып. 13. – С. 62–117.

54. Манушин, И.Е. Факторы, влияющие на изменения в бентосных сообществах «Кольского меридиана» / И.Е. Манушин // Труды X Международной научно-практической конференции «Морские исследования и образование (MARESEDU-2021)». – Т. 2(III). – Тверь: «ПолиПРЕСС», 2021. – С. 119–122.

55. Методы гидрохимических исследований океана / Под ред. О.К. Бордовского, В.Н. Иваненкова. – М.: Наука, 1978. – 272 с.

56. М-МВИ-09-97. Методика выполнения измерений массовой доли полихлорированных бифенилов в почве и донных отложениях методами газовой хроматографии и хромато-масс-спектрометрии. – М., 1997. – 35 с.

57. М-МВИ-202-07. Методика выполнения измерений массовой доли полиядерных ароматических углеводородов (ПАУ) в пробах почвы, донных отложений и твердых отходов методом хромато-масс-спектрометрии с изотопным разбавлением. – СПб., 2007. – 27 с.

58. М-МВИ-209-08. Методика выполнения измерений массовой доли хлорорганических пестицидов в пробах почв и донных отложений методом хромато-масс-спектрометрии с изотопным разбавлением. – СПб., 2008. – 37 с.

59. М-МВИ-80-2008. Методика выполнения измерений массовой доли элементов в пробах почв, грунтов и донных отложениях методами атомно-эмиссионной и атомно-абсорбционной спектрометрии. – СПб., 2008. – 36 с.

60. Многолетняя динамика биомассы макрозообентоса в восточной части Баренцева моря (за период с 1924 по 2014 г.) / И.Е. Манушин,

Н.А. Стрелкова, П.А. Любин [и др.] // Зоологический журнал. – 2020. – Т. 99, № 7. – С. 745–746.

61. Мордухай-Болтовской, Ф.Д. Состав и распределение бентоса в Таганрогском заливе / Ф.Д. Мордухай-Болтовской // Работы Доно-Кубанской научной рыбохозяйственной станции. Вып. 5. – Ростов-на-Дону: Азово-Черноморское краевое книгоиздательство, 1937. – С. 3–83.

62. МУК 4.1.663-97. Методические указания. Определение массовой концентрации органических соединений в воде методом хромато-масс-спектрометрии. – М., 1997. – 24 с.

63. Мур, Д.В. Тяжелые металлы в природных водах: Контроль и оценка влияния / Д.В. Мур, С. Раммамурти. – М.: Мир, 1987. – 288 с.

64. Немировская, И.А. Углеводороды в океане (снег-лед-вода-взвесь-донные осадки) / И.А. Немировская. – М.: Научный Мир, 2004. – 328 с.

65. Немировская, И.А. Нефть в океане (загрязнение и природные потоки) / И.А. Немировская. – М.: Научный Мир, 2013. – 432 с.

66. Немировская, И.А. Влияние аварийного разлива дизельного топлива в Норильске на содержание и состав углеводородов в донных осадках / И.А. Немировская, Ю.С. Глязенецова // Водные ресурсы. – 2022. – Т. 49, № 6. – С. 739–752.

67. Немировская, И.А. Углеводороды в воде и в донных осадках норвежско-баренцевоморского бассейна / И.А. Немировская, А.В. Храмцова // Геохимия. – 2023. – Т. 68, № 2. – С. 173–186.

68. Несветова, Г.И. Сезонная динамика и пространственная изменчивость вертикальной протяженности слоя фотосинтеза в Баренцевом море / Г.И. Несветова // Вопросы промысловой океанологии северного бассейна: сб. науч. тр. / ПИНРО. – Мурманск: Изд-во ПИНРО, 1995. – С. 65–89.

69. Несветова, Г.И. Гидрохимические условия функционирования экосистемы Баренцева моря / Г.И. Несветова. – Мурманск: Изд-во ПИНРО, 2002. – 295 с.

70. Новиков, М.А. К вопросу о фоновых значениях уровней содержания тяжелых металлов в донных отложениях Баренцева моря / М.А. Новиков // Вестник МГТУ. – 2017. – Т. 20, № 1–2. – С. 280–288.

71. Новиков, М.А. Применение цифровой модели донных отложений Баренцева моря для анализа загрязнения / М.А. Новиков // Вестник Кольского научного центра РАН. – 2018. – № 3 (10). – С. 205–209.

72. Новиков, М.А. Стойкие органические загрязнители в донных отложениях Баренцева моря / М.А. Новиков // Водные ресурсы. – 2021. – Т. 48, № 3. – С. 334–343.

73. Новиков, М.А. Зоны аккумуляции загрязнения в донных отложениях Баренцева моря / М.А. Новиков // Океанология. – 2022. – Т. 62, № 4. – С. 578–589.

74. Новиков, М.А. Комплексный методический подход к определению фоновых значений уровней содержания микроэлементов в водных массах Баренцева моря на примере Cd, Co, Cu и Ni / М.А. Новиков, Д.М. Драганов // Вестн. КРАУНЦ (Камчат. регион. организации «Учеб.-науч. Центр». Сер.: Науки о Земле. – 2017. – Вып. 34, № 2. – С. 37–48.

75. Новиков, М.А. Определение фоновых значений содержания Hg, Zn, Pb и Cr в водных массах Баренцева моря / М.А. Новиков, Д.М. Драганов // Вестн. КРАУНЦ (Камчат. регион. организации «Учеб.-науч. Центр». Сер.: Науки о Земле. – 2018. – Т. 37, № 1. – С. 72–83.

76. Новиков, М.А. Атлас загрязнения донных отложений Баренцева моря / М.А. Новиков, Д.М. Драганов; отв. ред. А.Ю. Жилин; Полярный филиал ФГБНУ ВНИРО («ПИНРО» им. Н.М. Книповича). – Мурманск: ПИНРО им. Н.М. Книповича, 2021. – 183 с.

77. Новиков, М.А. Характер распределения тяжелых металлов в донных отложениях Баренцева моря (по результатам статистического анализа) / М.А. Новиков, А.Ю. Жилин // Вестн. КРАУНЦ (Камчат. регион. организации «Учеб.-науч. Центр». Сер.: Науки о Земле. – 2016. – Вып. 29, № 1. – С. 78–88.

78. Новый взгляд на влияние эолового переноса на современное морское осадконакопление и окружающую среду в Арктике. Результаты исследования аэрозоля и снежного покрова / В.П. Шевченко, А.П. Лисицын, А.А. Виноградова [и др.] // Новые идеи в океанологии. В 2-х томах. – М.: Наука, 2004. – Т. 2. Геология. – С. 168–214.

79. О дифференциации углеводов нефтяного и биологического происхождения в морской воде методом газовой хроматографии / Б.А. Руденко, К.П. Федоров, Б.А. Виноградов [и др.] // Труды ГОИН. – 1981. – Вып. 162. – С. 87–93.

80. Обмен химических элементов в организме карпа при использовании наночастиц кобальта и железа в корме / Е.П. Мирошникова, А.Е. Аринжанов, Н.Н. Глущенко, С.П. Василевская // Вестник ОГУ. – 2012. – № 6 (142). – С. 170–175.

81. Океанографические условия в морях Северо-Европейского бассейна и Северной Атлантики в 2014–2015 гг. и их влияние на распределение промысловых рыб / А.Л. Карсаков, В.А. Боровков, Е.В. Сентябов [и др.] // Труды ВНИРО. – 2016. – Т. 164. – С. 5–21.

82. Орадовский, С.Г. Исследование биогенного химического состава льдов Баренцева моря / С.Г. Орадовский // Труды ВНИРО. – 1972. – Т. 75. – С. 65–73.

83. Осипов, С.В. Значимость вида в биоценозе, классе биоценозов, районе: обзор комплексных индексов / С.В. Осипов // Известия РАН. Серия Биологическая. – 2021. – № 3. – С. 321–326.

84. Оттерсен, Г. Разрез «Кольский меридиан» как индикатор климата Баренцева моря / Г. Оттерсен, Б. Одланнсвик, Х. Луенг // 100 лет океанографических наблюдений на разрезе «Кольский меридиан» в Баренцевом море: сб. докл. Междунар. симп. / ПИНРО. – Мурманск: Изд-во ПИНРО, 2005. – С. 85–100.

85. Перцова, Н.М. Средние веса и размеры массовых видов зоопланктона Белого моря / Н.М. Перцова // Океанология. – 1967. – Вып. 2. – С. 309–313.

86. Пищевые отношения мойвы, сайки и трески в период их нагула в Баренцевом море / Э.Л. Орлова, И.А. Оганин, А.В. Долгов [и др.] // Исследования межвидовых взаимоотношений гидробионтов Баренцева и Норвежского морей: сб. науч. тр. / ПИНРО. – Мурманск, 2006. – С. 99–129.

87. ПНД Ф 14.1:2.214-06. Методика выполнения измерений массовой концентрации железа, кадмия, кобальта, марганца, никеля, меди, цинка, хрома и свинца в пробах природных и сточных вод методом пламенной атомно-абсорбционной спектрофотометрии. – М., 2006. – 11 с.

88. ПНД Ф 14.1:2:4.204-04. Методика выполнения измерений массовой концентрации хлорорганических пестицидов и полихлорированных бифенилов (ПХБ) в пробах питьевых, природных и сточных вод методом газовой хроматографии. – М., 2014. – 33 с.

89. Потайчук, С.И. Некоторые результаты статистического анализа крупномасштабной изменчивости температуры воды в Северной Атлантике / С.И. Потайчук // Труды ВНИРО. – 1972. – Вып. 75. – С. 125–134.

90. Потайчук, С.И. Фоновый прогноз гидрологических условий и степени урожайности основных промысловых рыб Северной Атлантики и морей Европейской территории СССР на 1970 г. / С.И. Потайчук, Е.В. Солянкин // Рыбное хозяйство. – 1970. – № 10. – С. 9–10.

91. Приказ Минсельхоза России «Об утверждении нормативов качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения» № 552 от 13.12.2016 // КонтурНорматив: Справочно-правовая система: [сайт]. – 2025. – URL: <https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=1&documentId=477262> (дата обращения: 21 апреля 2025).

92. Прокопчук, И.П. Зимний зоопланктон на разрезе «Кольский меридиан» / И.П. Прокопчук, А.Г. Трофимов // Экосистемы и климат арктических морей: материалы всерос. науч.-практ. конф., посвященной 125-летию векового разреза «Кольский меридиан» (г. Мурманск, 27–28 марта 2024 г.) / Полярный филиал ФГБНУ ВНИРО («ПИНРО» им. Н.М. Книповича). – Мурманск: ПИНРО им. Н.М. Книповича, 2024. – С. 196–205.

93. Разрез «Кольский меридиан» и промыслово-океанографические исследования Баренцева моря / В.Д. Бойцов, Г.И. Несветова, В.К. Ожигин, О.В. Титов // 100 лет океанографических наблюдений на разрезе «Кольский меридиан» в Баренцевом море: сб. докл. Междунар. симпозиума. – Мурманск: Изд-во ПИНРО, 2005. – С. 32–46.

94. РД 52.10.243-92. Руководство по химическому анализу морских вод. – СПб.: Гидрометеиздат, 1993. – 264 с.

95. РД 52.24.377-2008. Массовая концентрация алюминия, бериллия, ванадия, железа, кадмия, кобальта, марганца, меди, молибдена, никеля, свинца, серебра, хрома и цинка в водах. Методика выполнения измерений методом атомно-абсорбционной спектрофотометрии с прямой электротермической атомизацией проб. – М.: Метеоагентство Росгидромета, 2008. – 25 с.

96. Руководство по морским гидрохимическим исследованиям: Для гидрометеорол. обсерваторий и морских гидрометеорол. станций / Под ред. Л.К. Блинова; Глав. упр. гидрометеорол. службы при Совете Министров СССР. Гос. океаногр. ин-т. – Москва: Гидрометеиздат. Моск. отделение, 1959. – 255 с.

97. Руководство по химическому анализу морских и пресных вод при экологическом мониторинге рыбохозяйственных водоемов и перспективных для промысла районов Мирового океана. – М.: Изд-во ВНИРО, 2003. – 202 с.

98. Руководство по химическому анализу поверхностных вод суши / Т.С. Кишкинова, В.Т. Каплин, А.Г. Страдомская [и др.]; Под ред. д-ра хим. наук, проф. А.Д. Семенова; Гл. упр. гидрометеорол. службы при Совете Министров СССР. Гидрохим. ин-т. – Ленинград: Гидрометеиздат, 1977. – 541 с.

99. Савинова, Т.Н. Содержание ДДТ и его метаболитов в рыбе и беспозвоночных шельфа Баренцева моря / Т.Н. Савинова, Л.Е. Угрюмова, Л.Е. Андрющенко // Гидробиологический журнал. – 1981. – Т. 12, № 5. – С. 93–96.

100. Современная радиоэкологическая нагрузка на морскую среду Западной Арктики / Г.Г. Матишов, Д.Г. Матишов, Г.В. Ильин [и др.] // Морские экосистемы и сообщества в условиях современных климатических изменений. – СПб.: Реноме, 2009. – С. 76–98.

101. Содержание и распределение дихлордифенилтрихлорэтана (ДДТ) в почвах Москвы / Е.С. Бродский, А.А. Шелепчиков, Д.Б. Фешин [и др.] // Вестник Моск. ун-та. Серия 17. Почвоведение. – 2016. – № 1. – С. 32–40.

102. Солянкин, Е.В. О долгопериодной изменчивости условий воспроизводства основных промысловых рыб Северной Атлантики и морей Европейской территории СССР / Е.В. Солянкин // Рыбное хозяйство. – 1971. – № 3. – С. 10–13.

103. Сопоставление гидрохимических данных, полученных различными методами, с помощью разведочного анализа / И.С. Шпаер, П.Г. Берг, Э.Г. Носкова, Ц.Ю. Разумовская // Режимообразующие факторы, гидрометеорологические и гидрохимические процессы в морях СССР. – Л.: Гидрометеоздат, 1988. – С. 146–160.

104. Стандартизация количественных исторических бентосных данных на разрезе «Кольский меридиан» (Баренцево море) и их анализ с учетом селективности методов сбора и обработки материала / П.А. Любин, О.С. Любина, Н.А. Стрелкова (Анисимова) [и др.] // Труды КНЦ РАН. – 2016. – № 2 (36). – С. 91–102.

105. 120 лет океанографических наблюдений на разрезе «Кольский меридиан» / А.Л. Карсаков, А.Г. Трофимов, М.Ю. Анциферов [и др.] / отв. ред. Е.В. Сентябов; Полярный филиал ФГБНУ ВНИРО («ПИНРО» им. Н.М. Книповича). – Мурманск: ПИНРО им. Н.М. Книповича, 2022. – 145 с.

106. Стойкие органические загрязнители в бассейне озера Байкал: Аналитический обзор / В.Б. Батоев, Ю.В. Цыденова, Г.Г. Нимацыренова [и др.]. – Новосибирск, 2004. – 110 с.

107. Стрелкова (Анисимова), Н.А. История изучения бентоса на разрезе «Кольский меридиан» / Н.А. Стрелкова (Анисимова) // Труды КНЦ РАН. – 2016. – № 2 (36). – С. 7–29.

108. Сысоева, Т.К. Питание и выживание личинок баренцевоморской трески / Т.К. Сысоева // Труды ВНИРО. – 1973. – Вып. 33. – С. 82–103.

109. Таблицы растворимости кислорода в морской воде. – Л.: Гидрометеоздат, 1976. – 163 с.

110. Терещенко, В.В. Некоторые результаты многолетних океанографических исследований на стандартных разрезах Баренцева моря в период проведения съемки 0-группы рыб / В.В. Терещенко // Вопросы промысловой океанологии Северного бассейна: сб. науч. тр. ПИНРО. – Мурманск: Изд-во ПИНРО, 1995. – С. 29–48.

111. Терещенко, В.В. Сезонные и межгодовые изменения температуры и солености воды основных течений на разрезе «Кольский меридиан» в Баренцевом море / В.В. Терещенко; ПИНРО. – Мурманск: Изд-во ПИНРО, 1997. – 71 с.

112. Титов, О.В. Гидрохимический атлас Баренцева моря. 2003 г. (пространственно-временная изменчивость содержания кислорода и минерального фосфора в водной толще) / О.В. Титов, Г.И. Несветова; ПИНРО. – Мурманск: Изд-во ПИНРО, 2003. – 148 с.

113. Трофимов, А.Г. Изменения климата в Баренцевом море на протяжении последнего полувека / А.Г. Трофимов, А.Л. Карсаков, В.А. Ившин // Труды ВНИРО. – 2018. – Т. 173. – С. 79–91.
114. Углеводороды в воде и осадках Норвежского и Баренцева морей / И.А. Немировская, А.В. Храмцова, И.С. Халиков [и др.] // Труды Карельского научного центра РАН. – 2021. – № 4. – С. 94–107.
115. Углеводороды в поверхностном слое донных отложений Балаклавской бухты (Черное море) / О.Е. Соловьева, Е.А. Тихонова, Е.А. Котельянец [и др.] // Экологическая безопасность прибрежной и шельфовой зон моря. – 2022. – № 2. – С. 110–117.
116. Федоров, Л.А. Пестициды – токсический удар по биосфере и человеку // Л.А. Федоров, А.В. Яблоков. – Москва: Наука, 1999. – 461 с. (Серия «Уроки XX века» / Центр экол. политики России).
117. Халиков, И.С. Мышьяк и морская среда / И.С. Халиков, Ю.И. Савин // Экологическая химия. – 2010. – Т. 19, вып. 3. – С. 172–190.
118. Химия океана: в 2 т. – Москва: Наука, 1979 (Океанология). Т. 1. Химия вод океана / П.А. Стунжас, В.Н. Иваненков, А.П. Цурикова [и др.]; отв. ред. О.К. Бордовский, В.Н. Иваненков. – 1979. – 518 с.
119. Шошина, Е.В. Морская ботаника: учебное пособие для вузов / Е.В. Шошина, П.Р. Макаревич. – СПб.: Лань, 2023. – 180 с.
120. Яшнов, В.А. Планктическая продуктивность юго-западной части Баренцева моря / В.А. Яшнов // Труды ВНИРО. – 1939. – Т. 4. – С. 201–218.
121. Яшнов, В.А. Смена поколений и сезонные изменения в распределении возрастных стадий *Calanus finmarchicus* Баренцева моря / В.А. Яшнов // Труды ВНИРО. – 1939. – Т. 4. – С. 225–244.
122. A mass balance inventory of mercury in the Arctic Ocean / P.M. Outridge, R.W. Macdonald, F. Wang [et al.] // Environmental Chemistry. – 2008. – Vol. 5. – P. 89–111.
123. AMAP Assessment 2002: Heavy metals in the Arctic. Arctic Monitoring and Assessment Programme (AMAP). – Oslo, Norway, 2005. – 265 p.
124. AMAP Assessment 2002: Persistent organic pollutants in the Arctic. Arctic Monitoring and Assessment Programme (AMAP). – Oslo, Norway, 2004. – 309 p.
125. AMAP Assessment 2011: Mercury in the Arctic. Arctic Monitoring and Assessment Programme (AMAP). – Oslo, Norway, 2011. – 193 p.
126. AMAP Assessment 2015: Black carbon and ozone as Arctic climate forcers. Arctic Monitoring and Assessment Programme (AMAP). – Oslo, Norway, 2016. – 116 p.
127. AMAP Assessment 2015: Temporal trends in persistent organic pollutants in the Arctic. Arctic Monitoring and Assessment Programme (AMAP). – Oslo, Norway, 2016. – 71 p.

128. Barents Sea megabenthos: Spatial and temporal distribution and production / D.V. Zakharov, L.L. Jorgensen, I.E. Manushin, N.A. Strelkova // *Marine Biological Journal*. – 2020. – Vol. 5, № 2. – P. 19–37.

129. Borja, A. Marine Biotic Index to establish the ecological quality of soft-bottom benthos within European estuarine and coastal environments / A. Borja, J. Franco, V.A. Pérez // *Marine Pollution Bulletin*. – 2000. – Vol. 40, № 12. – P. 1100–1114.

130. Climate impacts on feeding and condition of capelin, *Mallotus villosus* in the Barents Sea. Evidence and mechanisms from a 30 year data set / E.L. Orlova, G.B. Rudneva, P.E. Renaud, [et al.] // *Aquatic Biology*. – 2010. – Vol. 10. – P. 105–118.

131. Cobalt in active seafloor massive sulfide deposits in the Norwegian Sea / F. Sahlström, S.S. Palinkaš, S.H. Dundas [et al.]; Instituto de Ingenieros de Minas del Peru. – 2023. – 4 p.

132. Concentration of mercury and other metals in an Arctic planktonic food web under a climate warming scenario / D.A. Asiedu, J. Søndergaard, S. Jonasdottir [et al.] // *Marine Pollution Bulletin*. – 2023. – Vol. 194, Part B. – Art. 115436.

133. Conney, A.H. Induction of microsomal enzymes by foreign chemicals and carcinogenesis by polycyclic aromatic hydrocarbons / A.H. Conney // *Cancer Research*. – 1982. – Vol. 42. – P. 4875–4917.

134. Contribution of *Calanus* species to the mesozooplankton biomass in the Barents Sea / J.M. Aarflot, H.R. Skjoldal, P. Dalpadado, M. Skern-Maritzen // *ICES Journal of Marine Science*. – 2018. – Vol. 75. – P. 2342–2354.

135. Coupling survey data with drift model results suggests that local spawning is important for *Calanus finmarchicus* production in the Barents Sea / K.Ø. Kvile, Ø. Fiksen, I. Prokopchuk [et al.] // *Journal of Marine Systems*. – 2017. – Vol. 165. – P. 69–76.

136. Cripps, G.C. Baseline level of hydrocarbons in sea water of the Southern Ocean. Natural Variability and regional patterns / G.C. Cripps // *Marine Pollution Bulletin*. – 1995. – Vol. 30, № 2. – P. 133–145.

137. Dalpadado, P. Abundance, maturity and growth of krill species *Thysanoessa inermis* and *T. longicaudata* in the Barents Sea / P. Dalpadado, H.R. Skjoldal // *Marine Ecology Progress Series*. – 1996. – Vol. 144. – P. 175–183.

138. Dastoor, A.P. Global circulation of atmospheric mercury: a modeling study / A.P. Dastoor, Y. Larocque // *Atmospheric Environment*. – 2004. – Vol. 38, Iss. 1. – P. 147–161.

139. «Degradative» and «biological» pumps controls on the atmospheric deposition and sequestration of hexachlorocyclohexanes and hexachlorobenzene in the North Atlantic and Arctic Oceans / C.J. Galban-Malagon, N. Berrojalbiz,

R. Gioia [et al.] // Environmental Science and Technology. – 2013. – Vol. 47, Iss.13. – P. 7195–7203.

140. Dvoretzky, V.G. Mesozooplankton in the Kola Transect (Barents Sea): autumn and winter structure / V.G. Dvoretzky, A.G. Dvoretzky // Journal of Sea Research. – 2018. – Vol. 142. – P. 125–131.

141. Gjøsæter, H. Growth of Barents Sea capelin (*Mallotus villosus* Müller) in relation to zooplankton abundance / H. Gjøsæter, P. Dalpadado, A. Hassel // ICES Journal of Marine Science. – 2002. – Vol. 59. – P. 959–967.

142. Gobeil, C. Lead contamination in Arctic basin sediments tracks Atlantic water flow pathways / C. Gobeil, R.W. Macdonald, J.N. Smith // Science. – 2001. – Vol. 293. – P. 1301–1304.

143. Grall, J. Using biotic indices to estimate macrobenthic community perturbations in the Bay of Brest / J. Grall, M. Glémarec // Estuarine and Coastal Shelf Science. – 1997. – Vol. 44. – P. 43–53.

144. Han, J. Hydrocarbon distribution of algae and bacteria, and microbiological activity in sediments / J. Han, M. Calvin // Proceedings of the National Academy of Sciences. – 1969. – Vol. 64, Iss. 2. – P. 436–443.

145. Helle, K. Distribution of the copepodite stages of *Calanus finmarchicus* from Lofoten to the Barents Sea in July 1989 / K. Helle // ICES Journal of Marine Science. – 2000. – Vol. 57. – P. 1636–1644.

146. Helle, K. The relation of the spatial distribution of early juvenile cod (*Gadus morhua* L.) in the Barents Sea to zooplankton density and water flux during the period 1978–1984 / K. Helle, M. Pennington // ICES Journal of Marine Science. – 1999. – Vol. 56. – P. 15–27.

147. Hexachlorobenzene in the global environment: emissions, levels, distribution, trends and processes / J.L. Barber, A.J. Sweetman, D. van Wijk [et al.] // Science of the Total Environment. – 2005. – Vol. 349, Iss.1–3. – P. 1–44.

148. Interim Report of the Working Group on the Integrated Assessments of the Barents Sea (WGIBAR) / WGIBAR [et al.]. – Copenhagen: ICES, 2018. – 210 p. (ICES CM 2018/IEASG:04).

149. Loeng, H. Water fluxes through the Barents Sea / H. Loeng, V. Ozhigin, B. Adlansdvik // ICES Journal of Marine Science. – 1997. – Vol. 54. – P. 310–317.

150. Microbial oxidation of arsenite and occurrence of arsenite-oxidizing bacteria in acid mine water from a sulfur-pyrite mine / N. Wakao, H. Koyatsu, Y. Komai [et al.] // Geomicrobiology Journal. – 1988. – Vol. 6. – P. 11–24.

151. Nishimura, M. Possible origin of n-alkanes with a remarkable even-to-odd predominance in recent marine sediments / M. Nishimura, E.W. Baker // Geochimica et Cosmochimica Acta. – 1986. – Vol. 50, Iss. 2. – P. 299–305.

152. Phenology of *Oithona similis* demonstrates that ecological flexibility may be a winning trait in the warming Arctic / K. Balazy, R. Boehnke, E. Trudnowska [et al.] // Scientific Reports. – 2021. – Vol. 20, № 11(1). – Art. 18599.
153. Polulation dynamics and production of the small copepod *Oithona* spp. in a subarctic fjord of West Greenland / S. Zamora-Terol, S. Kjellerup, R. Swalethorp [et al.] // Polar Biology. – 2014. – Vol. 37. – P. 953–965.
154. Prokopchuk, I.P. Feeding of the Norwegian spring spawning herring *Clupea harengus* (Linne) at the different stages of its life cycle / I.P. Prokopchuk // Deep-Sea Research II. – 2009. – Vol. 56, Iss. 21–22. – P. 2044–2053.
155. Prokopchuk, I.P. Interannual dynamics of zooplankton in the Kola Section of the Barents Sea during the recent warming period / I.P. Prokopchuk, A.G. Trofimov // ICES Journal of Marine Science. – 2019. – Vol. 76, Iss. S1. – P. i10–i23.
156. Rahman, M.A. Bioaccumulation, biotransformation and trophic transfer of arsenic in the aquatic food chain / M.A. Rahman, H. Hasegawa, R.P. Lim // Environmental Research. – 2012. – Vol. 116. – P. 118–135.
157. Roff, J.C. Long-term variability in North Sea zooplankton off the Northumberland coast: productivity of small copepods and analysis of trophic interactions / J.C. Roff, K.K. Middlebrook, F. Evans // Journal Marine Biological Association U.K. – 1988. – Vol. 68. – P. 143–164.
158. Rudels, B. The Arctic circumpolar boundary current / B. Rudels, H.J. Friedrich, D. Quadfasel // Deep-Sea Research II. – 1999. – Vol. 46. – P. 1023–1062.
159. Skjoldal, H.R. The Barents Sea ecosystem in the 1980s: ocean climate, plankton, and capelin growth / H.R. Skjoldal, H. Gjøsæter, H. Loeng // ICES Marine Science Symposium. – 1992. – Vol. 195. – P. 278–290.
160. Strakhova, T.V. Nutrients, phyto- and zooplankton distribution on the Kola Section, Barents Sea in June 2010 / T.V. Strakhova, I.P. Prokopchuk, Z.V. Ivlieva // Arctic frontiers 2011: The Arctic in the Earth system perspective: the role of tipping points: abstracts of international conference. – Tromsø: Fram Centre, 2011. – P. 180.
161. Sullivan, B. Timing and size of bloom of the ctenophore *Mnemiopsis leidy* in relation to temperature in Narragansett Bay, RI / B. Sullivan, D.V. Keuren, M. Clancy // Hydrobiologia. – 2001. – Vol. 451. – P. 113–120.
162. Sverdrup, H.U. On conditions for the vernal blooming of phytoplankton / H.U. Sverdrup // ICES Journal of Marine Science. – 1953. – Vol. 18, Iss. 3. – P. 287–295.
163. Temperature affects respiration rate of *Oithona similis* / C. Castellani, C. Robinson, T. Smith, R.S. Lampitt // Marine Ecology Progress Series. – 2005. – Vol. 285. – P. 129–135.

164. Titov, O.V. Deep-water aeration and the Barents Sea ecosystem renewal: Natural regulation of the Northeast Arctic cod recruitment / O.V. Titov // Progress in Oceanography. – 2020. – Vol. 189. – Art. 102467.
165. Turner J.T. The importance of small planktonic copepods and their role in pelagic marine food webs / J.T. Turner // Zoological Studies. – 2004. – Vol. 43. – P. 255–266.
166. Unstad, K.H. Depth distribution of *Calanus finmarchicus* and *C. glacialis* in relation to environmental conditions in the Barents Sea / K.H. Unstad, K.S. Tande // Polar Research. – 1991. – Vol. 10. – P. 409–420.
167. Vollenweider, R.A. A manual on methods for measuring primary production in aquatic environments / R.A. Vollenweider. – Oxford: Blackwell Scientific Publication, 1969. – № 12. – 213 p.
168. World Register of Marine Species (WoRMS): website and databases / Flanders Marine Institute. – URL: <http://marinespecies.org/index.php> (дата обращения 01.05.2025).
169. Zooplankton link climate to capelin and polar cod in the Barents Sea / P. Dalpadado, I.P. Prokopchuk, B. Bogstad [et al.] // Progress in Oceanography. – 2024. – Vol. 226. – Art. 103302.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Таблица 1

Нормированные (по стандартному отклонению) аномалии температуры воды основных течений на разрезе «Кольский меридиан» в разных слоях в 1951–2020 гг. Характеристика теплового состояния вод: синий цвет – аномально холодный год; голубой – холодный год; серый – нормальный год; розовый – теплый год, красный – аномально теплый год
[105]

Год	Прибрежная ветвь Мурманского течения (ст. 1–3)			Основная ветвь Мурманского течения (ст. 3–7)				Центральная ветвь Нордкапского течения (ст. 8–10)			
	Слой, м										
	0–50	0–200	50–200	0–50	0–200	50–200	150–200	0–50	0–200	50–200	150–200
1951	–0,1	–0,1	–0,1	0,0	0,5	0,6	0,7	0,0	0,1	0,1	0,3
1952	–0,2	–0,4	–0,4	–0,1	0,0	0,0	0,4	0,1	–0,2	–0,3	–0,6
1953	–0,2	–0,4	–0,5	–0,4	–0,7	–0,8	–0,8	–0,2	–0,6	–0,8	–0,8
1954	0,6	0,6	0,5	0,7	1,0	1,1	1,3	0,8	0,7	0,6	0,8
1955	–0,3	–0,1	0,0	–0,2	0,1	0,2	0,3	0,0	0,1	0,1	0,6
1956	–1,0	–1,5	–1,7	–1,0	–1,1	–1,1	–1,0	–0,7	–0,6	–0,6	–0,5
1957	–0,2	–0,3	–0,4	0,0	–0,1	–0,2	–0,2	0,6	0,7	0,7	0,9
1958	–1,1	–1,1	–1,0	–1,1	–1,0	–0,9	–1,0	–0,8	–0,8	–0,8	–0,7
1959	0,6	0,7	0,8	0,3	0,3	0,3	0,3	–0,2	–0,1	0,0	–0,2
1960	0,2	0,2	0,2	0,1	0,3	0,4	0,3	0,5	0,5	0,5	0,4
1961	0,5	0,3	0,2	0,5	–0,1	–0,3	–0,4	0,6	0,5	0,5	0,5
1962	–0,5	–0,1	–0,1	–0,5	–0,2	–0,1	0,0	–1,3	–0,9	–0,8	–0,5
1963	–0,6	–0,8	–0,7	–1,1	–1,3	–1,4	–1,6	–1,9	–1,5	–1,3	–1,4
1964	0,0	0,1	0,2	–0,1	–0,2	–0,2	–0,3	0,0	0,2	0,2	0,1
1965	–1,2	–1,0	–0,9	–1,1	–0,7	–0,5	–0,3	–1,0	–0,8	–0,7	–0,5
1966	–2,3	–2,4	–2,4	–2,2	–2,3	–2,4	–2,1	–1,9	–1,9	–1,8	–1,7
1967	–0,3	–0,6	–0,7	–0,6	–0,6	–0,6	–0,8	–0,2	–0,4	–0,5	–0,4
1968	–1,7	–0,8	–0,4	–1,9	–1,0	–0,7	–0,5	–2,7	–2,2	–2,0	–1,7
1969	–0,6	–0,6	–0,6	–0,8	–0,9	–1,0	–1,2	–1,2	–1,1	–1,1	–1,1
1970	–0,1	–0,2	–0,3	0,0	0,0	0,0	–0,1	–0,2	–0,1	–0,1	0,2
1971	–1,0	–0,9	–0,9	–1,4	–1,1	–1,0	–0,8	–1,1	–1,0	–1,0	–1,0
1972	0,6	0,3	0,2	0,4	–0,2	–0,4	–0,4	0,2	0,0	–0,1	–0,1
1973	0,4	0,5	0,4	0,4	0,4	0,4	0,3	0,4	0,4	0,4	0,3
1974	0,1	–0,2	–0,2	0,1	–0,3	–0,5	–0,5	0,3	0,0	–0,1	–0,5
1975	–0,1	0,5	0,7	–0,1	0,4	0,5	0,5	–0,2	0,0	0,1	0,0
1976	–0,4	–0,2	–0,2	–0,3	–0,1	0,0	0,1	–0,1	–0,1	–0,1	–0,1
1977	–1,2	–1,1	–0,9	–1,1	–1,0	–1,0	–1,1	–1,2	–1,1	–1,0	–0,8
1978	–1,9	–1,9	–2,0	–1,9	–2,0	–2,0	–1,9	–1,8	–1,8	–1,7	–1,8
1979	–1,9	–2,1	–2,1	–2,0	–2,2	–2,3	–2,3	–1,7	–2,0	–2,1	–2,0
1980	–1,3	–1,5	–1,6	–1,1	–1,0	–0,9	–0,7	–0,8	–1,0	–1,1	–1,1
1981	–1,7	–1,9	–1,9	–1,7	–2,0	–2,0	–2,0	–1,3	–1,3	–1,3	–1,8
1982	–1,2	–0,8	–0,6	–1,2	–0,9	–0,8	–0,8	–1,3	–1,3	–1,2	–1,3
1983	0,4	0,6	0,7	0,4	0,6	0,7	0,8	0,1	0,2	0,2	0,3
1984	–0,5	–0,6	–0,6	–0,2	–0,2	–0,2	0,1	0,0	–0,2	–0,3	–0,5
1985	–1,0	–1,1	–1,1	–0,7	–0,9	–0,9	–0,8	–0,4	–0,5	–0,6	–0,5
1986	–1,0	–1,0	–1,0	–0,8	–0,9	–0,9	–1,0	–0,9	–1,1	–1,2	–1,2
1987	–1,5	–1,5	–1,4	–1,5	–1,3	–1,2	–1,1	–1,1	–1,2	–1,3	–1,3
1988	–0,8	–1,0	–1,1	–0,8	–0,7	–0,7	–0,6	–0,5	–0,6	–0,6	–0,4
1989	1,0	0,7	0,6	0,8	0,5	0,4	0,1	0,5	0,3	0,3	0,1
1990	0,6	0,8	0,8	0,7	0,7	0,7	0,8	0,7	0,9	0,9	0,9

Год	Прибрежная ветвь Мурманского течения (ст. 1–3)			Основная ветвь Мурманского течения (ст. 3–7)				Центральная ветвь Нордкапского течения (ст. 8–10)			
	Слой, м										
	0–50	0–200	50–200	0–50	0–200	50–200	150–200	0–50	0–200	50–200	150–200
1991	0,6	0,4	0,3	0,6	0,6	0,6	0,5	0,5	0,6	0,6	0,7
1992	0,5	0,9	1,1	0,4	0,7	0,7	0,7	0,1	0,5	0,6	0,5
1993	–0,8	–0,5	–0,4	–0,5	–0,2	–0,1	0,1	–0,1	0,0	–0,1	0,0
1994	–0,6	–0,5	–0,4	–0,5	–0,6	–0,6	–0,5	–0,4	0,0	0,2	0,0
1995	0,1	0,3	0,5	0,0	0,3	0,4	0,3	0,1	–0,3	0,0	0,0
1996	–0,5	–0,7	–0,7	–0,6	–0,7	–0,8	–0,9	–1,0	–1,2	–1,3	–1,4
1997	–0,3	–0,5	–0,5	–0,8	–1,1	–1,2	–1,3	–1,0	–1,0	–1,0	–0,9
1998	–1,1	–1,1	–1,2	–0,6	–0,9	–1,0	–1,1	–0,3	–0,9	–1,1	–1,3
1999	0,1	0,0	–0,1	0,3	0,1	0,0	–0,2	0,5	0,5	0,4	0,3
2000	0,5	0,9	1,0	0,7	0,8	0,8	0,9	0,4	0,2	0,2	0,1
2001	0,6	0,5	0,2	0,6	0,5	0,5	0,6	0,5	0,4	0,3	0,2
2002	0,4	0,5	0,6	0,5	0,4	0,4	0,1	0,2	0,2	0,3	0,3
2003	0,3	0,3	0,3	0,0	–0,1	–0,1	–0,1	–0,6	–0,4	–0,3	–0,5
2004	1,3	1,2	1,1	1,5	1,1	1,0	0,8	1,0	0,7	0,6	0,5
2005	1,2	1,2	1,2	1,2	1,1	1,1	0,9	1,3	1,4	1,4	1,2
2006	1,3	1,5	1,5	1,4	1,6	1,6	1,5	1,2	1,4	1,5	1,5
2007	1,6	1,5	1,5	1,5	1,3	1,3	1,3	1,6	1,7	1,7	1,7
2008	0,8	0,9	1,1	0,6	0,8	0,9	1,0	1,0	1,1	1,2	1,2
2009	0,7	1,0	1,2	0,7	0,9	0,9	0,9	0,8	1,1	1,2	1,3
2010	0,7	0,9	1,0	0,9	1,0	1,0	1,0	0,5	0,7	0,8	0,8
2011	0,8	0,4	0,1	0,9	0,3	0,2	0,0	1,0	0,9	0,8	0,8
2012	1,3	1,3	1,3	1,7	2,0	2,2	2,3	1,8	2,1	2,1	2,2
2013	2,0	1,4	1,1	1,8	1,2	1,0	0,9	1,5	1,1	0,9	0,9
2014	0,9	0,9	0,9	0,9	1,0	1,0	1,1	1,1	1,3	1,4	1,3
2015	1,5	1,6	1,6	1,6	1,4	1,4	1,2	1,6	1,7	1,7	1,6
2016	1,6	1,6	1,6	2,0	2,0	1,8	1,8	2,1	2,0	1,9	1,9
2017	1,3	1,4	1,4	1,5	1,7	1,6	1,7	1,5	1,6	1,6	1,6
2018	1,8	1,6	1,5	1,6	1,6	1,6	1,6	1,5	1,6	1,6	1,5
2019	0,8	1,0	1,0	0,6	0,8	0,8	0,9	0,4	0,5	0,5	0,4
2020	1,4	1,0	0,7	0,9	0,7	0,6	0,5	0,9	0,6	0,5	0,5

Таблица 2

Нормированные (по стандартному отклонению) аномалии солёности воды основных течений на разрезе «Кольский меридиан» в разных слоях в 1951–2020 гг. Характеристика халинного состояния вод: зелёный цвет – пониженная солёность; серый – нормальная солёность; оранжевый – повышенная солёность [105]

Год	Прибрежная ветвь Мурманского течения (ст. 1–3)	Основная ветвь Мурманского течения (ст. 3–7)					Центральная ветвь Нордкапского течения (ст. 8–10)
	Слой, м						
	0–200	0–50	0–200	50–200	150–200	0–200	
1951	–0,3	0,5	0,6	0,6	1,3	2,2	
1952	–0,4	0,1	0,8	1,1	1,7	1,1	
1953	1,0	1,7	1,6	1,5	1,7	1,3	
1954	–1,0	–1,2	–1,3	–1,3	–0,8	0,0	
1955	1,1	0,9	0,7	0,6	0,8	1,2	
1956	1,6	1,4	0,9	0,7	0,3	0,9	
1957	1,4	1,6	1,5	1,4	1,1	1,8	
1958	0,6	0,3	0,2	0,1	–0,1	0,3	
1959	–1,0	–0,6	–0,7	–0,8	–1,1	0,1	
1960	1,5	2,1	1,9	1,8	1,4	1,5	
1961	1,9	1,4	1,9	2,0	1,9	0,8	
1962	0,3	0,5	0,7	0,8	1,0	–0,7	
1963	0,7	0,3	–0,3	–0,6	–0,7	–1,0	
1964	0,4	0,4	0,6	0,7	0,9	0,1	
1965	0,6	1,0	0,9	0,8	0,8	0,4	
1966	0,6	0,3	0,0	–0,2	–0,3	–0,7	
1967	–0,6	–1,0	–0,8	–0,7	–0,8	0,2	
1968	–0,5	0,1	0,2	0,3	0,8	–0,7	
1969	1,3	1,1	1,2	1,3	1,1	0,5	
1970	2,2	2,3	2,3	2,2	1,6	1,3	
1971	0,3	0,4	0,5	0,6	1,0	0,6	
1972	1,1	1,1	1,2	1,2	1,0	0,9	
1973	0,9	0,9	0,9	0,9	0,8	1,0	
1974	1,0	0,6	0,7	0,7	0,5	–0,1	
1975	–0,1	0,2	0,0	–0,1	0,0	0,6	
1976	–1,0	–0,8	–1,3	–1,4	–1,1	–0,2	
1977	1,2	0,9	0,5	0,3	0,0	–0,6	
1978	0,7	0,0	–0,6	–0,9	–1,3	–2,1	
1979	–0,4	–1,0	–1,5	–1,6	–2,1	–3,1	
1980	–1,8	–1,9	–2,0	–2,0	–1,9	–1,9	
1981	–0,1	–0,4	–0,7	–0,8	–1,1	–2,0	
1982	–1,1	–1,4	–1,5	–1,5	–1,2	–1,6	
1983	–2,0	–1,7	–1,3	–1,1	–0,3	0,1	
1984	–1,3	–1,3	–1,5	–1,6	–1,2	–0,5	
1985	0,1	–0,1	–0,3	–0,3	–0,5	–0,1	
1986	0,0	–0,6	–0,5	–0,5	–0,3	–0,3	
1987	–0,1	0,1	–0,2	–0,3	–0,7	–0,4	
1988	–0,5	–1,2	–1,1	–1,0	–0,7	–1,0	
1989	–2,9	–2,1	–2,2	–2,1	–2,0	–1,7	
1990	–0,8	–0,5	–0,9	–1,0	–1,1	–0,5	

Год	Прибрежная ветвь Мурманского течения (ст. 1–3)	Основная ветвь Мурманского течения (ст. 3–7)					Центральная ветвь Нордкапского течения (ст. 8–10)
	Слой, м						
	0–200	0–50	0–200	50–200	150–200	0–200	
991	–0,8	–0,4	–0,6	–0,7	–0,5	0,1	
1992	0,4	0,2	–0,1	–0,2	0,0	0,4	
1993	0,3	0,3	0,2	0,1	0,3	0,4	
1994	1,1	1,2	1,0	0,9	0,4	0,3	
1995	–1,0	–1,4	–1,5	–1,4	–1,2	–	
1996	–0,5	–0,6	–0,8	–0,8	–1,0	–0,5	
1997	1,1	1,2	0,8	0,7	0,2	–0,2	
1998	0,5	–0,1	–0,2	–0,2	–0,5	–0,8	
1999	–0,6	–0,7	–0,5	–0,5	–0,7	–0,5	
2000	–1,5	–0,9	–0,4	–0,1	–1,0	0,4	
2001	–1,0	–1,7	–1,2	–0,9	–0,4	–0,4	
2002	–1,0	–1,1	–0,7	–0,5	–0,2	0,4	
2003	–0,7	0,3	0,4	0,5	–	–0,6	
2004	1,1	0,9	1,4	1,5	1,6	0,7	
2005	0,2	0,2	0,4	0,5	–	–	
2006	–0,4	0,0	0,5	0,6	–	–	
2007	0,5	0,7	0,9	0,9	1,0	–	
2008	0,2	–0,1	0,0	0,0	0,3	0,5	
2009	–0,1	0,2	0,2	0,1	0,1	0,2	
2010	0,4	0,5	0,5	0,5	0,5	0,4	
2011	0,9	0,9	1,1	1,1	1,0	1,2	
2012	–1,2	–0,5	0,0	0,2	1,0	0,8	
2013	–0,6	–1,0	–0,4	–0,1	0,5	0,7	
2014	–0,4	–0,7	–0,2	0,0	0,4	0,5	
2015	–1,0	–1,1	–1,0	–0,9	–0,8	0,1	
2016	–	–	–	–	–	–	
2017	–	–	–	–	–	–	
2018	–	–	–	–	–	–	
2019	–	–	–	–	–	–	
2020	–	–0,8	–1,0	–1,2	–1,3	–1,5	

Таблица 3

**Ежемесячное количество определений растворенного кислорода
на разрезе «Кольский меридиан» в 1926–2020 гг.**

Год	Месяц												За год
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
1926	0	0	0	0	0	0	0	49	0	0	0	39	88
1927	0	0	0	0	51	0	0	162	0	0	0	0	213
1928	0	0	67	0	0	0	0	0	106	0	0	82	255
1929	0	0	47	0	69	0	0	0	0	0	0	79	195
1930	0	30	40	21	0	122	0	63	37	0	48	0	361
1931	15	0	0	0	0	0	72	16	0	0	0	0	103
1932	0	0	0	0	0	9	39	47	0	0	0	0	95
1933	8	0	0	22	68	59	112	2	30	44	0	0	345
1934	0	0	0	39	59	58	6	23	17	0	0	19	221
1935	0	0	0	44	46	0	24	38	51	14	49	27	293
1936	7	5	5	12	44	7	25	7	60	71	0	6	249
1937	13	56	58	53	41	52	67	62	67	0	45	7	521
1938	13	0	34	7	0	7	68	0	25	0	0	48	202
1939	0	60	0	68	32	33	7	0	7	0	0	0	207
1940	41	0	0	33	47	0	26	0	0	0	0	0	147
1941	0	0	7	33	0	0	0	0	0	0	0	0	40
1942	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1943	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1944	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1945	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1946	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1947	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1948	0	0	0	0	0	0	0	49	0	0	0	0	49
1949	0	0	30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	30
1950	0	0	62	7	0	41	0	0	0	0	0	0	110
1951	0	0	0	47	0	56	0	13	0	0	0	0	116
1952	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1953	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1954	0	0	0	0	0	17	0	0	0	0	0	0	17
1955	0	0	0	8	0	6	0	70	0	8	0	0	92
1956	0	0	0	0	0	0	53	16	37	7	0	0	113
1957	0	6	0	18	73	0	22	12	0	0	0	0	131
1958	0	90	0	98	69	0	0	88	63	51	0	10	469
1959	125	0	0	60	56	0	108	20	0	47	10	8	434
1960	0	0	0	61	61	0	0	0	52	67	0	45	286
1961	0	89	39	0	0	107	55	0	0	103	96	104	593
1962	113	89	99	114	122	90	81	73	107	107	0	182	1177
1963	79	65	81	79	142	151	146	108	115	115	115	99	1295
1964	87	0	204	115	112	87	90	76	87	127	0	176	1161
1965	88	0	0	0	32	0	44	0	0	0	0	0	164
1966	0	0	0	0	90	58	48	100	18	0	0	0	314
1967	0	0	0	7	68	0	56	0	0	0	0	0	131
1968	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1969	0	0	0	0	57	0	46	0	0	0	0	0	103
1970	59	0	0	2	52	46	56	46	0	0	0	69	330
1971	21	0	4	0	46	0	61	0	0	0	0	59	191
1972	46	0	0	0	99	0	27	27	0	19	116	34	368

Год	Месяц												За год
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
1973	0	67	102	0	57	0	58	0	0	0	148	53	485
1974	77	0	108	70	98	0	55	0	0	0	0	69	477
1975	70	40	99	57	65	182	51	0	0	0	0	56	620
1976	0	229	65	68	19	34	0	70	0	0	0	82	567
1977	0	8	70	28	61	0	0	0	0	0	0	89	256
1978	0	156	139	0	0	0	0	0	0	80	0	22	397
1979	100	86	70	0	0	0	103	101	182	100	69	52	863
1980	0	0	0	104	100	0	0	58	0	0	69	41	372
1981	101	0	102	0	68	0	100	146	23	0	171	71	782
1982	0	107	104	0	0	0	0	26	73	59	87	122	578
1983	70	101	0	0	0	0	0	102	168	0	115	0	556
1984	0	0	87	86	0	0	0	0	0	0	67	0	240
1985	0	101	0	0	61	0	0	124	0	0	0	0	286
1986	0	102	47	33	90	59	102	0	0	0	95	102	630
1987	23	90	0	0	232	46	104	101	0	0	0	78	674
1988	0	0	0	7	79	0	0	105	0	0	0	0	191
1989	0	70	0	0	48	89	92	0	27	32	70	8	436
1990	0	100	32	16	104	0	102	0	0	0	0	0	354
1991	101	101	0	0	90	63	38	0	0	74	28	0	495
1992	101	0	0	0	102	0	101	0	85	72	69	138	668
1993	102	103	0	0	101	78	100	0	0	97	103	92	776
1994	99	102	0	0	0	0	0	0	0	102	0	104	407
1995	58	0	70	69	0	51	0	0	0	0	0	102	350
1996	46	88	10	0	102	0	71	0	0	0	0	0	317
1997	0	0	0	0	104	0	0	0	0	0	0	0	104
1998	0	0	0	0	67	71	116	97	0	150	0	105	606
1999	105	0	0	105	71	0	72	0	91	8	70	129	651
2000	0	103	102	0	0	0	101	105	0	92	104	103	710
2001	0	0	0	0	105	101	105	105	0	210	92	0	718
2002	0	0	0	0	71	39	0	105	0	105	0	101	421
2003	0	0	0	0	0	0	0	145	38	0	157	105	445
2004	0	72	105	44	61	0	52	104	75	133	117	105	868
2005	0	105	0	105	84	0	0	103	0	198	104	105	804
2006	0	0	15	0	13	0	0	122	0	191	0	105	446
2007	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2008	0	173	103	105	81	0	0	0	53	105	53	0	673
2009	0	8	104	106	11	105	0	104	0	0	114	42	594
2010	0	0	105	0	116	105	0	105	0	0	113	53	597
2011	0	112	104	105	10	105	0	103	0	0	105	115	759
2012	0	91	105	104	0	105	0	0	0	0	105	72	582
2013	0	0	0	0	0	0	0	0	0	104	105	33	242
2014	29	105	0	105	63	105	0	0	0	0	177	0	584
2015	0	94	0	0	105	166	0	0	0	94	0	105	564
2016	0	114	0	103	166	0	0	0	0	0	29	0	412
2017	0	0	0	0	10	123	0	0	0	0	133	0	266
2018	0	111	105	0	0	0	0	0	0	0	0	0	216
2019	0	0	20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	20
2020	0	0	0	0	0	0	128	93	0	0	0	0	221
Σ	1797	3229	2750	2368	4151	2633	2990	3291	1694	2786	3148	3652	34489

Таблица 4

**Ежемесячное количество определений минерального фосфора (фосфатов)
на разрезе «Кольский меридиан» в 1926–2020 гг.**

Год	Месяц												За год
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
1926	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1927	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1928	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1929	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	57	57
1930	0	20	46	21	0	107	0	52	32	0	33	0	311
1931	66	0	0	0	0	0	47	0	0	0	0	0	113
1932	0	0	0	0	32	9	24	51	0	0	0	0	116
1933	50	0	0	27	74	59	77	2	20	40	0	0	349
1934	0	0	0	40	56	56	6	23	17	0	0	11	209
1935	0	0	0	39	0	0	26	42	53	0	46	26	232
1936	4	6	4	13	52	12	28	7	50	74	0	6	256
1937	13	61	44	60	41	54	60	61	67	0	44	7	512
1938	13	0	33	7	0	7	74	0	27	0	0	48	209
1939	0	61	7	69	32	46	23	0	7	0	0	0	245
1940	41	0	0	40	47	0	21	0	0	0	0	0	149
1941	0	0	7	33	0	0	0	0	0	0	0	0	40
1942	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1943	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1944	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1945	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1946	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1947	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1948	0	0	0	0	0	0	0	38	0	0	0	0	38
1949	0	0	40	0	0	0	0	0	0	0	0	0	40
1950	0	0	66	7	0	0	0	0	0	0	0	0	73
1951	0	0	0	52	0	0	0	0	0	0	0	0	52
1952	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1953	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1954	0	0	0	0	0	17	0	0	0	0	0	0	17
1955	0	0	0	8	0	6	0	0	0	8	0	0	22
1956	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	0	0	7
1957	0	6	0	18	0	0	0	11	0	0	0	0	35
1958	0	0	0	0	36	0	0	0	0	0	0	0	36
1959	35	0	0	61	56	0	68	20	0	47	0	0	287
1960	0	0	0	60	0	0	0	0	49	0	0	41	150
1961	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	98	0	98
1962	0	89	0	77	32	90	73	73	108	0	0	0	542
1963	0	0	0	0	46	0	0	0	0	0	26	18	90
1964	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	176	176
1965	0	0	0	0	32	0	0	0	0	0	0	0	32
1966	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1967	0	0	0	0	0	0	58	0	0	0	0	0	58
1968	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1969	0	0	0	0	40	6	39	0	0	0	0	0	85
1970	58	0	0	0	50	0	50	0	0	0	0	46	204
1971	21	0	0	0	58	0	54	0	0	0	0	67	200
1972	46	0	0	0	0	0	46	27	0	17	115	32	283

Год	Месяц												За год
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
1973	0	0	80	0	58	0	58	0	0	0	149	53	398
1974	77	0	107	68	98	0	55	0	0	0	0	69	474
1975	70	40	64	58	58	161	52	0	0	0	0	56	559
1976	0	223	55	0	4	6	0	90	0	0	0	80	458
1977	0	0	69	22	44	0	0	0	0	0	0	90	225
1978	0	157	135	0	0	0	0	0	0	81	0	22	395
1979	99	80	70	0	0	0	103	101	182	98	68	52	853
1980	0	0	0	100	99	0	0	57	0	0	70	41	367
1981	101	0	102	0	68	0	96	143	22	0	170	71	773
1982	0	107	105	0	0	0	0	27	75	44	72	118	548
1983	67	88	0	0	0	0	0	0	168	0	113	0	436
1984	0	0	90	77	0	0	0	0	0	0	70	0	237
1985	0	100	0	0	61	0	0	122	0	0	0	0	283
1986	0	100	47	33	86	49	102	0	0	0	0	101	518
1987	23	90	0	0	230	46	104	101	0	0	0	68	662
1988	0	0	0	0	79	0	0	105	0	0	0	0	184
1989	0	70	0	0	46	88	90	0	27	32	70	0	423
1990	0	99	32	0	104	0	102	0	0	0	0	0	337
1991	101	100	0	0	80	63	38	0	0	74	28	0	484
1992	102	0	0	0	100	0	98	0	0	71	69	140	580
1993	99	102	0	0	41	68	41	0	0	30	102	91	574
1994	98	101	0	0	0	0	0	0	0	101	0	103	403
1995	58	0	70	70	0	51	0	0	0	0	0	101	350
1996	46	88	10	0	103	0	71	0	0	0	0	0	318
1997	0	0	0	0	104	0	0	0	0	0	0	0	104
1998	0	0	0	0	70	71	116	98	0	148	0	105	608
1999	105	0	0	105	71	0	72	0	84	8	70	129	644
2000	0	103	102	0	0	0	101	105	0	93	105	103	712
2001	0	0	0	0	104	102	105	105	0	210	93	0	719
2002	0	0	0	0	72	39	0	105	0	105	0	107	428
2003	0	0	0	0	0	0	0	145	29	0	157	105	436
2004	0	72	105	44	61	0	55	101	76	134	117	105	870
2005	0	97	0	104	84	0	0	103	0	198	104	105	795
2006	0	0	0	0	0	0	0	105	0	105	0	0	210
2007	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2008	0	173	104	105	81	0	0	0	53	105	53	0	674
2009	0	8	104	106	11	105	0	0	0	0	114	42	490
2010	0	0	105	0	116	105	0	105	0	0	113	53	597
2011	0	112	104	105	10	105	0	0	0	0	105	115	656
2012	0	91	95	104	0	105	0	0	0	0	105	72	572
2013	0	0	0	0	0	0	0	0	0	104	105	33	242
2014	29	105	0	105	63	105	0	0	0	0	177	0	584
2015	0	94	0	0	105	166	0	0	0	94	0	105	564
2016	0	114	0	0	166	0	0	0	0	0	29	0	309
2017	0	0	0	0	10	123	0	0	0	0	133	0	266
2018	0	111	105	0	0	0	0	0	0	0	0	0	216
2019	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2020	0	0	0	0	0	0	128	93	0	0	0	0	221
Σ	1422	2868	2107	1838	3171	2027	2361	2218	1146	2028	2923	2970	27079

Таблица 5

**Среднемноголетнее содержание кислорода за 1961–2020 гг.
на ст. 1–10 разреза «Кольский меридиан», мл/л**

Номер и коорд. станции	Стандарт. гориз., м	Месяц											
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1 69°30' с.ш. 33°30' в.д.	0	7,14	7,32	7,47	7,76	8,28	7,67	7,20	6,63	6,69	6,63	6,75	6,91
	10	7,19	7,29	7,48	7,78	8,30	7,80	7,27	6,67	6,66	6,61	6,72	6,91
	20	7,19	7,29	7,46	7,73	8,19	7,79	7,42	6,69	6,59	6,62	6,73	6,92
	30	7,13	7,29	7,44	7,68	8,04	7,73	7,22	6,67	6,64	6,59	6,74	6,90
	50	7,13	7,29	7,43	7,63	7,71	7,55	7,20	6,70	6,61	6,58	6,71	6,91
	75	7,22	7,30	7,46	7,57	7,52	7,33	7,11	6,75	6,59	6,50	6,69	6,91
	100	7,18	7,29	7,43	7,54	7,50	7,32	7,14	6,76	6,65	6,50	6,65	6,89
	150	7,18	7,27	7,43	7,50	7,43	7,25	7,08	6,79	6,72	6,50	6,52	6,83
	200	7,11	7,26	7,42	7,48	7,39	7,26	7,13	6,82	6,75	6,59	6,52	6,68
	250	7,03	7,17	7,34	7,39	7,25	7,19	7,10	6,85	6,79	6,63	6,39	6,46
	261	6,93	7,23	7,41	7,44	7,38	7,24	7,09	6,76	6,87	6,62	6,47	6,55
2 70°00' с.ш. 33°30' в.д.	0	7,15	7,22	7,34	7,45	8,10	7,84	7,11	6,64	6,68	6,60	6,71	6,91
	10	7,13	7,22	7,35	7,48	8,03	7,81	7,19	6,66	6,68	6,61	6,73	6,90
	20	7,17	7,20	7,34	7,45	7,93	7,84	7,39	6,70	6,70	6,58	6,73	6,91
	30	7,13	7,19	7,33	7,45	7,84	7,61	7,16	6,74	6,64	6,56	6,71	6,90
	50	7,14	7,18	7,35	7,42	7,62	7,42	7,12	6,75	6,58	6,51	6,74	6,90
	75	7,14	7,18	7,33	7,42	7,44	7,23	7,03	6,72	6,62	6,42	6,65	6,88
	100	7,11	7,15	7,33	7,37	7,36	7,21	7,04	6,78	6,70	6,43	6,62	6,84
	144	7,09	7,09	7,28	7,35	7,29	7,15	6,97	6,82	6,72	6,49	6,52	6,76
3 70°30' с.ш. 33°30' в.д.	0	7,09	7,19	7,28	7,45	8,17	7,81	7,15	6,62	6,71	6,64	6,75	6,92
	10	7,10	7,19	7,30	7,48	8,16	7,72	7,15	6,62	6,72	6,65	6,77	6,90
	20	7,13	7,18	7,31	7,46	8,04	7,71	7,37	6,72	6,64	6,63	6,78	6,92
	30	7,10	7,17	7,31	7,44	7,90	7,58	7,15	6,82	6,63	6,61	6,77	6,92
	50	7,12	7,17	7,30	7,42	7,67	7,50	7,19	6,81	6,67	6,55	6,78	6,90
	75	7,12	7,15	7,27	7,39	7,43	7,24	7,03	6,75	6,66	6,50	6,70	6,87
	100	7,08	7,13	7,26	7,36	7,40	7,22	6,93	6,83	6,79	6,56	6,67	6,87
	150	7,06	7,10	7,17	7,29	7,25	7,13	6,90	6,87	6,79	6,64	6,60	6,77
	200	6,87	6,96	7,16	7,19	7,27	7,09	6,99	6,88	6,89	6,67	6,63	6,66
	243	6,79	6,89	7,11	7,18	7,20	7,02	6,91	6,79	6,88	6,65	6,56	6,59
4 71°00' с.ш. 33°30' в.д.	0	7,09	7,16	7,25	7,47	8,16	7,61	7,13	6,63	6,70	6,68	6,80	6,93
	10	7,07	7,16	7,24	7,44	8,15	7,55	7,07	6,65	6,71	6,68	6,81	6,92
	20	7,14	7,16	7,26	7,48	8,04	7,61	7,30	6,73	6,71	6,67	6,80	6,93
	30	7,07	7,13	7,24	7,42	7,86	7,48	7,27	6,85	6,72	6,68	6,81	6,91
	50	7,09	7,12	7,24	7,42	7,70	7,33	7,08	6,81	6,69	6,61	6,80	6,93
	75	7,09	7,12	7,22	7,36	7,39	7,08	7,02	6,73	6,68	6,55	6,74	6,91
	100	7,04	7,11	7,22	7,35	7,38	7,13	6,97	6,81	6,78	6,57	6,66	6,85
	150	6,95	6,99	7,12	7,12	7,14	6,99	6,94	6,85	6,83	6,66	6,57	6,75
	200	6,86	6,84	6,98	6,96	7,11	6,85	6,92	6,78	6,73	6,62	6,55	6,58
	216	6,83	6,90	7,02	6,99	7,11	6,94	6,92	6,75	6,74	6,65	6,56	6,60
5 71°30' с.ш. 33°30' в.д.	0	7,12	7,19	7,23	7,44	8,03	7,65	7,13	6,64	6,75	6,67	6,84	6,95
	10	7,10	7,19	7,22	7,44	8,02	7,59	7,13	6,67	6,74	6,67	6,81	6,94
	20	7,13	7,17	7,23	7,44	7,99	7,68	7,26	6,72	6,68	6,69	6,82	6,95
	30	7,10	7,15	7,20	7,39	7,86	7,55	7,19	6,76	6,65	6,65	6,81	6,93
	50	7,10	7,11	7,18	7,40	7,64	7,38	7,09	6,73	6,65	6,64	6,80	6,93
	75	7,08	7,10	7,15	7,44	7,34	7,11	6,97	6,63	6,63	6,55	6,76	6,89
	100	7,07	7,09	7,17	7,20	7,31	7,08	6,92	6,74	6,68	6,55	6,68	6,87
	150	7,04	6,98	7,13	7,10	7,14	6,97	6,91	6,78	6,77	6,58	6,61	6,71
	200	6,91	6,92	7,08	7,02	7,16	6,96	6,94	6,77	6,76	6,63	6,62	6,68
	250	6,83	6,94	6,98	7,06	7,12	6,92	6,93	6,77	6,81	6,57	6,58	6,65
	272	6,86	6,96	7,07	7,10	7,25	6,98	6,95	6,78	6,78	6,63	6,62	6,67

Номер и коорд. станции	Стандарт. гориз., м	Месяц											
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
6 72°00' с.ш. 33°30' в.д.	0	7,09	7,11	7,21	7,59	8,15	7,79	7,18	6,67	6,78	6,79	6,89	6,96
	10	7,09	7,10	7,22	7,56	8,15	7,66	7,16	6,69	6,78	6,77	6,89	6,95
	20	7,08	7,11	7,21	7,55	8,04	7,71	7,41	6,75	6,77	6,76	6,89	6,97
	30	7,08	7,08	7,20	7,49	7,88	7,54	7,33	6,75	6,75	6,76	6,87	6,95
	50	7,08	7,06	7,15	7,43	7,68	7,39	7,15	6,72	6,68	6,71	6,87	6,95
	75	7,08	7,06	7,17	7,35	7,36	7,22	6,99	6,76	6,60	6,61	6,82	6,91
	100	7,04	7,03	7,16	7,30	7,33	7,18	7,03	6,76	6,73	6,64	6,73	6,86
	150	7,05	7,02	7,13	7,19	7,23	7,09	7,02	6,79	6,77	6,68	6,69	6,80
	200	6,96	7,03	7,14	7,25	7,27	7,16	7,12	6,89	6,85	6,77	6,68	6,76
	250	7,13	6,92	6,99	7,34	7,28	7,16	7,22	6,89	6,86	6,73	6,69	6,70
	257	6,99	7,08	7,21	7,36	7,36	7,22	7,17	6,89	6,83	6,73	6,68	6,73
7 72°30' с.ш. 33°30' в.д.	0	7,14	7,12	7,25	7,69	8,22	7,78	7,31	6,75	6,88	6,84	6,94	7,00
	10	7,12	7,12	7,25	7,66	8,12	7,69	7,27	6,79	6,86	6,83	6,93	6,99
	20	7,14	7,12	7,24	7,59	8,07	7,74	7,44	6,84	6,87	6,82	6,95	7,01
	30	7,11	7,10	7,24	7,54	7,89	7,54	7,30	6,87	6,82	6,84	6,92	6,98
	50	7,12	7,10	7,22	7,47	7,61	7,31	7,20	6,83	6,78	6,80	6,93	6,97
	75	7,14	7,10	7,21	7,37	7,36	7,14	7,00	6,84	6,77	6,72	6,89	6,94
	100	7,10	7,07	7,21	7,32	7,42	7,09	7,08	6,81	6,81	6,68	6,88	6,97
	150	7,16	7,09	7,24	7,29	7,32	7,05	7,07	6,86	6,89	6,69	6,78	6,92
	200	7,13	7,10	7,29	7,32	7,41	7,14	7,17	6,94	6,97	6,77	6,74	6,90
	250	7,15	7,13	7,30	7,35	7,39	7,23	7,22	6,93	6,99	6,76	6,72	6,83
	279	7,16	7,20	7,36	7,41	7,46	7,24	7,22	6,92	6,93	6,76	6,77	6,81
8 73°00' с.ш. 33°30' в.д.	0	7,26	7,18	7,30	7,68	8,09	8,03	7,42	6,86	6,96	6,91	7,03	7,05
	10	7,24	7,18	7,30	7,64	7,95	8,00	7,36	6,86	6,94	6,92	7,01	7,05
	20	7,23	7,15	7,29	7,60	7,96	7,90	7,49	6,85	6,93	6,91	7,03	7,05
	30	7,22	7,15	7,26	7,53	7,81	7,73	7,52	7,02	6,91	6,91	7,02	7,05
	50	7,26	7,20	7,28	7,52	7,76	7,54	7,33	6,96	6,79	6,86	7,02	7,04
	75	7,24	7,18	7,26	7,40	7,57	7,29	7,18	6,93	6,86	6,76	6,97	7,03
	100	7,26	7,20	7,30	7,41	7,52	7,29	7,24	6,93	6,91	6,77	6,94	7,04
	150	7,31	7,20	7,32	7,32	7,46	7,20	7,22	6,95	6,98	6,81	6,83	6,95
	200	7,30	7,20	7,27	7,33	7,47	7,17	7,11	6,96	6,93	6,76	6,80	6,87
	210	7,28	7,22	7,30	7,30	7,47	7,24	7,18	6,86	6,94	6,80	6,78	6,83
9 73°30' с.ш. 33°30' в.д.	0	7,14	7,17	7,27	7,56	8,16	7,92	7,46	6,86	6,93	6,85	6,95	7,01
	10	7,17	7,21	7,24	7,55	7,99	7,91	7,40	6,83	6,93	6,86	6,95	6,99
	20	7,17	7,17	7,26	7,48	7,98	7,87	7,58	6,86	6,89	6,85	6,96	7,01
	30	7,13	7,17	7,24	7,42	7,85	7,62	7,45	6,86	6,85	6,85	6,93	7,00
	50	7,15	7,14	7,24	7,40	7,81	7,40	7,27	6,78	6,79	6,83	6,95	6,98
	75	7,13	7,15	7,18	7,33	7,58	7,25	7,09	6,84	6,70	6,75	6,91	6,99
	100	7,14	7,14	7,25	7,34	7,56	7,18	7,14	6,78	6,83	6,75	6,93	7,00
	150	7,18	7,13	7,22	7,30	7,40	7,18	7,10	6,84	6,90	6,74	6,81	7,00
	200	7,14	7,12	7,24	7,31	7,40	7,17	7,11	6,88	6,88	6,71	6,81	6,95
	250	7,15	7,12	7,24	7,28	7,35	7,18	7,14	6,91	6,91	6,74	6,68	6,84
	276	7,17	7,11	7,31	7,35	7,37	7,20	7,12	6,98	6,85	6,74	6,75	6,77
10 74°00' с.ш. 33°30' в.д.	0	7,23	7,17	7,26	7,48	8,31	8,13	7,54	6,97	6,97	6,87	6,95	7,02
	10	7,26	7,17	7,23	7,42	8,23	8,04	7,43	6,95	6,97	6,89	6,95	7,01
	20	7,22	7,18	7,26	7,47	8,16	7,99	7,60	6,96	6,95	6,87	6,94	7,04
	30	7,24	7,14	7,21	7,39	8,07	7,82	7,49	7,04	6,94	6,88	6,94	7,04
	50	7,26	7,14	7,27	7,46	7,82	7,60	7,31	6,96	6,88	6,86	6,94	7,03
	75	7,23	7,16	7,19	7,35	7,71	7,46	7,18	6,95	6,82	6,78	6,93	6,99
	100	7,18	7,17	7,27	7,40	7,63	7,29	7,19	6,96	6,92	6,78	6,94	7,02
	150	7,18	7,17	7,25	7,35	7,51	7,26	7,17	6,96	6,93	6,75	6,87	6,99
	200	7,18	7,20	7,28	7,40	7,44	7,43	7,23	7,07	7,10	6,78	6,85	7,00
	250	7,16	7,20	7,33	7,41	7,56	7,43	7,27	7,20	7,08	6,89	6,83	6,96
	300	7,26	7,17	7,27	7,45	7,55	7,44	7,39	7,29	7,03	7,03	6,90	6,97
	314	7,20	7,25	7,39	7,49	7,59	7,49	7,35	7,25	6,97	7,02	6,91	6,96

Таблица 6

**Среднемноголетняя насыщенность воды кислородом за 1961–2020 гг.
на ст. 1–10 разреза «Кольский меридиан», %**

Номер и коорд. станции	Стандарт. гориз., м	Месяц											
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1 69°30' с.ш. 33°30' в.д.	0	96,5	97,0	97,2	101,2	112,2	108,4	109,5	103,5	101,6	97,9	96,9	96,1
	10	96,9	96,7	97,2	101,6	111,8	108,5	107,9	103,6	101,5	97,8	96,5	96,1
	20	96,9	96,9	97,1	100,9	109,4	107,1	107,4	102,8	100,3	97,9	96,7	96,2
	30	96,4	96,7	96,8	99,9	106,7	105,6	102,3	99,9	100,9	97,5	96,8	96,1
	50	96,2	96,7	96,9	99,5	101,6	101,9	100,0	97,7	99,9	97,5	96,6	96,0
	75	96,9	96,7	97,2	99,0	99,3	98,1	96,9	96,5	97,9	97,0	96,5	96,1
	100	96,8	96,7	96,9	98,4	98,4	97,2	96,5	94,3	96,1	95,6	96,0	95,9
	150	96,8	96,4	96,8	97,7	97,2	95,5	94,5	92,5	94,2	93,5	93,8	95,4
	200	96,1	96,3	96,9	97,6	96,6	95,5	94,6	91,4	91,7	91,8	91,7	93,4
	250	96,0	96,3	96,8	97,4	96,1	95,3	93,4	91,4	91,3	90,1	88,5	90,8
	261	94,3	95,9	96,8	97,0	96,7	94,8	93,4	89,5	92,0	90,0	89,3	91,2
2 70°00' с.ш. 33°30' в.д.	0	97,6	97,6	97,7	99,5	110,6	110,4	107,8	104,1	101,7	98,0	96,6	96,8
	10	97,3	97,4	97,6	99,8	109,4	109,7	108,0	103,8	101,6	98,1	96,9	96,7
	20	97,8	97,2	97,6	99,4	107,6	109,3	107,7	102,8	101,4	97,7	96,8	96,8
	30	97,3	97,0	97,4	99,2	106,0	105,4	101,9	100,5	100,1	97,4	96,6	96,8
	50	97,5	97,0	97,7	99,0	102,4	101,6	98,3	96,6	96,7	96,4	97,0	96,7
	75	97,4	97,1	97,3	99,1	99,8	98,2	95,8	94,1	95,0	94,4	96,2	96,7
	100	97,1	96,8	97,8	98,3	98,5	97,6	95,2	93,5	94,7	92,9	95,5	96,2
	144	96,9	96,3	97,1	98,1	97,5	96,4	93,8	93,0	93,2	92,1	93,3	95,0
3 70°30' с.ш. 33°30' в.д.	0	96,7	97,3	97,2	100,0	111,4	109,8	107,6	103,4	101,4	97,8	96,7	96,9
	10	96,7	97,2	97,4	100,3	111,3	108,8	107,0	102,8	101,7	97,8	97,0	96,8
	20	97,2	97,3	97,6	100,1	109,0	107,4	107,7	102,9	100,4	97,6	97,2	96,9
	30	96,8	97,1	97,6	99,7	106,9	105,4	102,0	100,9	99,8	97,2	97,0	97,0
	50	97,1	97,0	97,6	99,5	103,3	102,8	99,0	95,6	96,6	96,0	97,2	96,6
	75	97,2	96,9	97,4	99,2	100,2	98,6	95,6	93,0	94,0	93,5	96,1	96,5
	100	96,8	96,8	97,1	98,7	99,2	97,8	93,7	93,1	94,0	92,9	95,3	96,4
	150	96,7	96,6	96,1	97,8	97,1	96,3	92,5	92,7	92,3	91,8	92,6	94,6
	200	94,0	94,8	95,9	96,5	96,8	95,0	92,5	91,4	91,8	90,2	90,6	91,6
4 71°00' с.ш. 33°30' в.д.	243	92,5	93,9	95,3	96,2	95,5	93,5	91,4	89,8	91,0	89,0	89,0	89,9
	0	96,9	97,2	97,4	101,0	111,4	108,3	107,2	103,0	100,8	97,8	96,8	96,9
	10	96,6	97,1	97,2	100,5	111,5	107,3	105,6	102,8	101,0	97,9	96,9	97,0
	20	97,5	97,2	97,5	101,1	109,6	107,2	107,1	102,9	101,0	97,6	96,8	96,9
	30	96,5	96,9	97,2	100,1	107,0	104,3	103,7	100,4	100,3	97,7	97,0	96,9
	50	97,0	96,8	97,4	100,1	104,1	100,6	97,5	95,7	96,4	96,2	96,8	97,0
	75	96,9	96,7	97,1	99,9	100,3	97,0	95,5	93,0	94,1	93,9	96,0	96,8
	100	96,5	96,8	97,2	99,2	99,6	97,1	94,3	92,9	93,7	92,7	94,5	96,1
	150	95,2	95,7	96,2	96,9	96,7	95,2	94,0	92,9	92,9	91,8	91,7	94,5
	200	93,4	93,6	95,0	94,9	95,9	93,5	92,5	91,0	89,9	89,4	89,2	90,1
5 71°30' с.ш. 33°30' в.д.	216	93,3	94,0	95,0	94,9	95,6	93,6	92,3	90,1	89,8	89,6	89,2	89,9
	0	97,4	97,4	97,7	100,9	110,0	108,8	106,8	103,1	101,4	97,9	97,3	97,0
	10	97,0	97,4	97,5	100,8	110,0	107,6	105,7	103,0	101,2	97,9	97,0	97,0
	20	97,6	97,3	97,7	100,9	109,0	108,2	105,9	103,2	100,4	98,2	97,1	97,0
	30	97,0	97,0	97,3	100,1	107,1	105,6	102,9	100,6	98,9	97,7	97,0	96,9
	50	97,3	96,7	97,1	100,3	103,8	102,0	98,8	96,2	96,8	97,0	96,8	96,9
	75	96,9	96,6	97,0	101,3	100,2	98,0	95,8	93,1	94,4	94,6	96,2	96,5
	100	97,2	96,8	97,2	98,2	99,4	97,0	94,7	93,4	93,9	93,6	95,1	96,3
	150	96,7	95,8	96,5	97,1	97,3	95,7	93,9	93,2	93,6	92,6	93,2	94,1
	200	95,0	95,0	96,0	96,1	96,9	95,3	94,0	92,4	92,3	91,8	92,3	92,6
	250	93,6	94,2	94,9	95,5	95,3	94,3	92,4	91,5	92,8	90,6	90,6	91,3
	272	93,1	93,7	95,1	95,1	95,5	93,8	92,3	90,6	91,0	90,2	90,4	91,0

Номер и коорд. станции	Стандарт. гориз., м	Месяц											
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
6	0	97,2	96,9	97,4	103,0	111,4	109,3	107,0	102,3	101,0	98,2	97,0	96,7
72°00' с.ш.	10	97,0	96,8	97,3	102,6	111,4	107,3	106,3	102,2	101,1	98,2	97,0	96,6
33°30' в.д.	20	97,1	96,7	97,5	102,4	109,6	107,7	107,8	101,9	100,7	97,9	97,1	96,9
	30	96,9	96,6	97,2	101,6	107,2	104,7	104,8	98,9	99,7	97,8	96,8	96,7
	50	97,1	96,3	96,7	100,7	104,2	101,5	98,7	94,4	95,9	96,4	96,7	96,6
	75	96,9	96,4	97,2	100,2	100,2	99,2	95,6	93,8	93,0	93,6	95,9	96,2
	100	96,6	96,1	96,9	99,0	99,0	98,2	95,6	92,7	93,5	92,9	94,4	95,5
	150	96,7	95,8	96,3	97,4	97,2	96,3	94,7	92,8	93,0	92,7	93,2	94,3
	200	94,8	95,4	95,9	97,1	96,5	96,2	94,6	92,4	93,0	92,4	91,9	92,8
	250	92,9	93,8	94,1	95,8	94,7	94,2	92,1	89,8	91,5	89,9	89,9	90,3
	257	93,8	94,2	94,8	95,8	95,2	94,0	92,6	89,3	89,8	89,5	89,2	90,2
7	0	96,9	96,8	97,4	104,2	111,9	109,0	107,9	102,3	101,1	98,3	97,1	96,7
72°30' с.ш.	10	96,7	96,9	97,3	103,6	111,0	107,6	107,2	102,7	101,2	98,1	97,1	96,8
33°30' в.д.	20	97,0	97,0	97,5	102,7	109,7	107,8	107,8	102,3	101,3	98,0	97,2	96,8
	30	96,5	96,7	97,3	102,0	107,4	104,6	103,8	99,9	100,4	98,1	96,8	96,5
	50	96,6	96,6	97,3	101,0	103,0	100,4	99,2	94,9	96,6	97,0	96,9	96,4
	75	96,6	96,6	97,3	99,8	100,0	98,0	95,5	94,1	94,2	95,2	96,2	96,3
	100	96,3	96,2	97,0	98,7	99,9	96,8	96,1	93,1	93,7	93,5	95,9	96,1
	150	96,6	96,2	96,7	98,1	98,3	95,9	94,8	92,7	93,8	92,8	93,9	95,2
	200	95,6	95,4	96,4	97,2	97,8	95,7	94,5	92,0	92,9	91,9	92,1	94,2
	250	94,0	94,5	95,1	96,1	95,4	94,7	92,1	88,6	89,7	89,0	89,1	91,2
	279	93,3	94,4	94,8	95,6	95,1	93,3	91,8	87,7	88,4	87,5	88,3	89,3
8	0	96,8	96,7	97,3	103,6	108,0	110,6	107,4	102,7	100,9	97,9	96,7	96,2
73°00' с.ш.	10	96,4	96,9	97,2	103,2	106,3	110,0	107,2	102,6	100,5	98,0	96,5	96,2
33°30' в.д.	20	96,4	96,4	97,3	102,4	106,4	108,2	106,7	101,9	100,6	98,0	96,7	96,2
	30	96,2	96,3	96,7	101,6	104,3	105,5	105,0	101,4	100,3	97,9	96,7	96,1
	50	96,7	96,8	96,9	101,1	103,0	102,4	99,3	96,0	95,5	96,8	96,4	96,1
	75	96,2	96,6	96,9	99,8	100,3	99,0	96,4	94,6	94,3	94,6	96,0	95,9
	100	96,5	96,5	96,6	99,0	98,9	97,2	96,4	93,6	93,4	93,2	95,0	95,8
	150	96,4	95,9	95,9	97,0	96,5	95,4	94,1	91,7	92,6	91,6	92,2	94,1
	200	95,2	94,9	94,2	95,4	94,7	93,2	90,3	89,2	88,5	87,9	88,9	91,0
	210	94,8	94,8	94,1	94,9	94,6	93,2	91,0	87,7	88,8	88,3	88,1	89,8
9	0	96,4	96,8	97,0	101,9	110,0	109,5	108,3	102,7	101,1	97,6	96,7	96,4
73°30' с.ш.	10	96,7	97,2	96,7	101,7	108,0	109,7	107,5	102,3	101,1	97,8	96,8	96,3
33°30' в.д.	20	96,7	96,9	97,2	100,6	107,7	108,8	108,7	101,9	100,5	97,6	96,8	96,4
	30	96,3	96,9	97,0	99,8	105,9	105,0	104,7	99,8	99,9	97,6	96,5	96,4
	50	96,5	96,7	97,1	99,8	105,0	101,5	100,5	95,4	97,0	97,1	96,7	96,0
	75	96,3	96,8	96,8	98,9	102,3	99,8	96,7	94,7	93,8	95,7	96,4	96,1
	100	96,4	96,9	97,1	98,9	101,4	98,0	96,9	93,4	94,7	94,9	96,5	96,1
	150	96,7	96,5	96,7	98,1	99,2	97,5	95,5	93,5	94,5	93,8	94,7	95,9
	200	95,9	96,3	96,6	97,4	98,3	96,5	95,0	92,9	93,3	92,0	93,6	94,8
	250	95,5	95,4	96,0	96,3	96,8	95,2	93,1	91,0	90,5	90,2	89,9	91,8
	276	95,4	94,8	95,8	96,1	95,4	93,5	92,1	89,5	87,9	88,9	89,6	90,0
10	0	96,5	97,2	97,1	100,5	110,7	112,5	108,0	103,1	100,7	97,4	96,9	96,6
74°00' с.ш.	10	96,7	97,0	96,8	100,2	109,4	111,4	107,3	102,6	100,8	97,7	96,9	96,6
33°30' в.д.	20	96,4	97,1	97,1	100,3	108,6	110,0	108,2	102,5	100,5	97,3	96,8	96,7
	30	96,5	96,7	96,6	99,7	107,4	107,8	105,6	102,6	100,4	97,6	96,7	96,9
	50	96,9	96,6	97,2	100,0	103,9	104,0	100,0	97,2	97,7	97,1	96,7	96,6
	75	96,5	97,0	96,7	99,2	102,8	101,7	97,8	95,6	94,9	96,0	96,5	96,3
	100	96,3	96,7	97,1	98,7	101,3	98,7	97,1	94,8	94,3	95,1	96,4	96,3
	150	96,2	96,5	96,7	98,3	99,0	97,5	95,9	93,6	93,2	93,8	95,3	95,8
	200	96,1	96,3	96,7	97,5	97,3	98,8	95,5	93,4	93,6	92,3	93,8	95,3
	250	95,9	95,2	96,0	97,2	96,7	97,4	93,5	92,1	90,3	91,2	91,7	93,4
	300	94,9	93,5	94,3	96,1	95,2	95,0	92,1	90,5	87,0	89,0	89,5	90,6
	314	94,1	94,0	95,1	95,7	95,5	94,9	91,9	89,6	86,0	88,1	88,7	90,2

Таблица 7

**Среднегодовое содержание фосфатов за 1961–2020 гг.
на ст. 1–10 разреза «Кольский меридиан», μM**

Номер и координаты станции	Стандарт. гориз., м	Месяц											
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1 69°30' с.ш. 33°30' в.д.	0	0,61	0,55	0,65	0,54	0,29	0,17	0,15	0,19	0,21	0,32	0,45	0,54
	10	0,61	0,56	0,64	0,50	0,30	0,17	0,14	0,17	0,22	0,33	0,46	0,54
	20	0,64	0,57	0,66	0,55	0,35	0,19	0,19	0,22	0,21	0,33	0,45	0,55
	30	0,65	0,57	0,66	0,52	0,39	0,24	0,29	0,32	0,25	0,35	0,48	0,54
	50	0,66	0,58	0,67	0,58	0,51	0,37	0,43	0,41	0,37	0,38	0,49	0,55
	75	0,64	0,59	0,65	0,56	0,54	0,53	0,57	0,50	0,46	0,38	0,51	0,56
	100	0,68	0,59	0,68	0,60	0,62	0,53	0,62	0,60	0,55	0,48	0,53	0,56
	150	0,65	0,59	0,67	0,60	0,62	0,58	0,63	0,68	0,63	0,63	0,59	0,58
	200	0,70	0,61	0,70	0,63	0,66	0,61	0,68	0,73	0,72	0,70	0,68	0,62
	250	0,64	0,60	0,62	0,64	0,65	0,66	0,71	0,77	0,70	0,76	0,77	0,75
	261	0,73	0,64	0,72	0,66	0,69	0,66	0,77	0,78	0,72	0,79	0,75	0,72
2 70°00' с.ш. 33°30' в.д.	0	0,69	0,58	0,66	0,62	0,41	0,22	0,14	0,15	0,18	0,33	0,47	0,57
	10	0,68	0,59	0,65	0,58	0,42	0,23	0,12	0,15	0,23	0,35	0,48	0,56
	20	0,66	0,59	0,67	0,61	0,45	0,25	0,18	0,24	0,23	0,37	0,48	0,57
	30	0,66	0,60	0,66	0,60	0,48	0,31	0,26	0,33	0,28	0,37	0,49	0,57
	50	0,67	0,60	0,68	0,64	0,56	0,46	0,52	0,55	0,44	0,45	0,50	0,58
	75	0,66	0,62	0,67	0,63	0,58	0,55	0,59	0,64	0,61	0,49	0,52	0,58
	100	0,69	0,62	0,70	0,66	0,64	0,59	0,66	0,73	0,66	0,58	0,57	0,61
	144	0,71	0,66	0,71	0,68	0,69	0,64	0,73	0,78	0,69	0,65	0,64	0,67
3 70°30' с.ш. 33°30' в.д.	0	0,67	0,61	0,68	0,62	0,41	0,24	0,15	0,11	0,23	0,37	0,47	0,57
	10	0,68	0,62	0,68	0,59	0,42	0,23	0,13	0,09	0,22	0,37	0,49	0,56
	20	0,68	0,62	0,68	0,62	0,45	0,25	0,16	0,13	0,23	0,37	0,49	0,57
	30	0,68	0,63	0,69	0,60	0,47	0,29	0,24	0,24	0,33	0,39	0,50	0,57
	50	0,69	0,63	0,70	0,64	0,53	0,41	0,46	0,57	0,50	0,45	0,51	0,58
	75	0,68	0,65	0,69	0,64	0,61	0,52	0,64	0,67	0,65	0,57	0,53	0,58
	100	0,71	0,64	0,72	0,67	0,65	0,57	0,67	0,71	0,70	0,65	0,60	0,61
	150	0,72	0,67	0,72	0,68	0,67	0,65	0,68	0,76	0,79	0,72	0,70	0,67
	200	0,80	0,72	0,76	0,73	0,71	0,67	0,74	0,81	0,81	0,77	0,79	0,77
4 71°00' с.ш. 33°30' в.д.	243	0,85	0,78	0,79	0,76	0,77	0,74	0,81	0,88	0,89	0,82	0,86	0,84
	0	0,68	0,63	0,69	0,62	0,39	0,27	0,16	0,14	0,28	0,35	0,48	0,58
	10	0,70	0,64	0,68	0,60	0,38	0,27	0,14	0,11	0,25	0,35	0,49	0,57
	20	0,69	0,62	0,70	0,62	0,42	0,29	0,16	0,14	0,27	0,35	0,50	0,58
	30	0,71	0,64	0,70	0,61	0,43	0,32	0,25	0,27	0,35	0,37	0,50	0,59
	50	0,71	0,64	0,71	0,63	0,51	0,40	0,47	0,52	0,51	0,44	0,51	0,60
	75	0,73	0,66	0,70	0,64	0,60	0,56	0,64	0,64	0,67	0,58	0,53	0,61
	100	0,73	0,66	0,73	0,62	0,63	0,59	0,71	0,69	0,74	0,69	0,64	0,64
	150	0,76	0,70	0,74	0,71	0,68	0,67	0,72	0,76	0,82	0,74	0,76	0,71
	200	0,81	0,75	0,78	0,76	0,73	0,75	0,78	0,82	0,98	0,80	0,83	0,83
5 71°30' с.ш. 33°30' в.д.	216	0,84	0,77	0,82	0,76	0,79	0,75	0,85	0,84	0,93	0,81	0,85	0,86
	0	0,71	0,67	0,73	0,61	0,41	0,25	0,17	0,12	0,26	0,36	0,51	0,60
	10	0,70	0,68	0,73	0,59	0,38	0,25	0,13	0,13	0,25	0,37	0,51	0,60
	20	0,71	0,67	0,74	0,61	0,45	0,26	0,17	0,17	0,26	0,37	0,52	0,62
	30	0,72	0,69	0,74	0,61	0,45	0,33	0,25	0,29	0,35	0,38	0,54	0,61
	50	0,72	0,69	0,75	0,64	0,54	0,47	0,42	0,54	0,56	0,44	0,57	0,62
	75	0,73	0,72	0,74	0,64	0,59	0,60	0,57	0,68	0,71	0,55	0,60	0,63
	100	0,74	0,72	0,77	0,70	0,67	0,66	0,66	0,71	0,70	0,67	0,65	0,66
	150	0,77	0,76	0,78	0,74	0,70	0,74	0,74	0,81	0,80	0,73	0,76	0,75
	200	0,82	0,80	0,80	0,77	0,75	0,80	0,76	0,82	0,82	0,80	0,82	0,77
	250	0,85	0,85	0,83	0,81	0,76	0,77	0,83	0,88	0,97	0,83	0,85	0,87
	272	0,90	0,87	0,87	0,82	0,82	0,87	0,85	0,91	0,89	0,87	0,90	0,85

Номер и коорд. станции	Стандарт. гориз., м	Месяц											
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
6 72°00' с.ш. 33°30' в.д.	0	0,72	0,68	0,76	0,63	0,39	0,24	0,16	0,16	0,24	0,40	0,57	0,66
	10	0,74	0,69	0,76	0,64	0,38	0,26	0,15	0,18	0,24	0,39	0,57	0,65
	20	0,74	0,69	0,77	0,64	0,43	0,26	0,16	0,19	0,26	0,41	0,58	0,66
	30	0,76	0,71	0,76	0,64	0,44	0,29	0,26	0,32	0,35	0,43	0,59	0,65
	50	0,76	0,72	0,78	0,67	0,52	0,45	0,50	0,59	0,59	0,50	0,61	0,68
	75	0,77	0,74	0,78	0,69	0,60	0,55	0,65	0,74	0,79	0,68	0,65	0,69
	100	0,79	0,73	0,79	0,73	0,68	0,59	0,72	0,78	0,85	0,71	0,73	0,73
	150	0,80	0,77	0,81	0,75	0,72	0,65	0,76	0,80	0,90	0,77	0,78	0,79
	200	0,83	0,79	0,82	0,78	0,75	0,69	0,80	0,83	0,90	0,81	0,85	0,80
	250	0,73	0,79	0,79	0,78	0,74	0,75	0,83	0,84	0,98	0,85	0,86	0,88
	257	0,87	0,84	0,86	0,77	0,82	0,76	0,90	0,91	1,01	0,88	0,92	0,87
7 72°30' с.ш. 33°30' в.д.	0	0,76	0,71	0,76	0,64	0,40	0,23	0,15	0,12	0,26	0,40	0,59	0,67
	10	0,74	0,72	0,77	0,64	0,38	0,24	0,16	0,13	0,25	0,40	0,60	0,69
	20	0,75	0,72	0,77	0,65	0,42	0,25	0,18	0,16	0,26	0,40	0,61	0,71
	30	0,75	0,73	0,78	0,66	0,43	0,34	0,25	0,32	0,30	0,41	0,61	0,69
	50	0,76	0,73	0,80	0,69	0,57	0,47	0,45	0,59	0,50	0,49	0,64	0,73
	75	0,76	0,77	0,78	0,69	0,62	0,61	0,64	0,72	0,78	0,59	0,66	0,72
	100	0,78	0,76	0,80	0,73	0,66	0,64	0,71	0,75	0,85	0,72	0,71	0,76
	150	0,78	0,79	0,82	0,73	0,69	0,72	0,77	0,76	0,88	0,78	0,75	0,76
	200	0,82	0,81	0,82	0,74	0,75	0,73	0,79	0,81	0,88	0,80	0,85	0,80
	250	0,84	0,81	0,85	0,76	0,78	0,77	0,85	0,87	0,88	0,87	0,90	0,86
	279	0,90	0,84	0,86	0,79	0,84	0,81	0,89	0,90	1,00	0,89	0,95	0,87
8 73°00' с.ш. 33°30' в.д.	0	0,81	0,74	0,77	0,64	0,55	0,33	0,18	0,13	0,25	0,39	0,59	0,70
	10	0,81	0,75	0,76	0,64	0,59	0,33	0,16	0,12	0,21	0,39	0,60	0,70
	20	0,81	0,73	0,78	0,67	0,60	0,34	0,23	0,16	0,26	0,39	0,61	0,70
	30	0,80	0,76	0,76	0,64	0,63	0,39	0,24	0,22	0,29	0,40	0,61	0,69
	50	0,82	0,76	0,78	0,69	0,63	0,46	0,53	0,52	0,59	0,47	0,63	0,71
	75	0,79	0,77	0,77	0,68	0,71	0,58	0,65	0,69	0,77	0,62	0,64	0,71
	100	0,84	0,78	0,80	0,73	0,76	0,63	0,75	0,73	0,82	0,76	0,70	0,73
	150	0,80	0,79	0,80	0,74	0,82	0,74	0,79	0,76	0,87	0,80	0,78	0,77
	200	0,83	0,81	0,82	0,80	0,86	0,83	0,87	0,87	0,96	0,86	0,85	0,84
	210	0,87	0,83	0,85	0,78	0,86	0,84	0,90	0,89	0,96	0,88	0,90	0,89
9 73°30' с.ш. 33°30' в.д.	0	0,80	0,74	0,78	0,72	0,49	0,28	0,18	0,15	0,23	0,44	0,63	0,74
	10	0,81	0,74	0,77	0,71	0,51	0,28	0,16	0,14	0,22	0,44	0,63	0,74
	20	0,80	0,75	0,79	0,73	0,52	0,29	0,19	0,17	0,24	0,44	0,64	0,75
	30	0,81	0,75	0,78	0,72	0,53	0,41	0,25	0,28	0,33	0,43	0,64	0,74
	50	0,80	0,75	0,81	0,73	0,55	0,53	0,46	0,56	0,47	0,48	0,66	0,76
	75	0,79	0,76	0,79	0,73	0,62	0,62	0,65	0,68	0,76	0,56	0,67	0,75
	100	0,81	0,75	0,82	0,74	0,64	0,71	0,75	0,76	0,76	0,66	0,69	0,77
	150	0,79	0,76	0,81	0,74	0,67	0,74	0,78	0,75	0,77	0,74	0,75	0,77
	200	0,81	0,79	0,83	0,79	0,71	0,78	0,80	0,78	0,79	0,80	0,81	0,83
	250	0,81	0,80	0,82	0,78	0,74	0,88	0,84	0,84	0,85	0,84	0,87	0,87
	276	0,88	0,80	0,87	0,84	0,78	0,94	0,90	0,85	0,87	0,86	0,91	0,91
10 74°00' с.ш. 33°30' в.д.	0	0,81	0,75	0,78	0,75	0,49	0,29	0,21	0,16	0,26	0,48	0,63	0,75
	10	0,81	0,75	0,76	0,73	0,51	0,28	0,20	0,15	0,26	0,47	0,63	0,73
	20	0,82	0,76	0,79	0,75	0,52	0,31	0,23	0,15	0,33	0,48	0,64	0,75
	30	0,84	0,76	0,76	0,73	0,54	0,35	0,31	0,22	0,38	0,48	0,65	0,73
	50	0,83	0,77	0,81	0,76	0,59	0,45	0,56	0,50	0,50	0,54	0,66	0,75
	75	0,81	0,79	0,79	0,75	0,61	0,51	0,62	0,66	0,75	0,59	0,66	0,74
	100	0,83	0,78	0,80	0,79	0,70	0,62	0,74	0,70	0,72	0,66	0,69	0,76
	150	0,82	0,79	0,80	0,76	0,68	0,69	0,78	0,77	0,79	0,73	0,71	0,71
	200	0,84	0,81	0,82	0,81	0,76	0,66	0,80	0,75	0,80	0,79	0,78	0,73
	250	0,79	0,81	0,80	0,78	0,75	0,70	0,83	0,78	0,89	0,80	0,80	0,81
	300	0,75	0,82	0,80	0,81	0,73	0,78	0,87	0,83	0,99	0,80	0,86	0,82
	314	0,90	0,86	0,84	0,81	0,83	0,82	0,88	0,85	0,99	0,87	0,89	0,88

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Таблица 1

Количество проб зоопланктона, собранных на разрезе «Кольский меридиан» в уловах сетью Джеди в слое 0–50 м в мае–июле 1960–2017 гг.

Год	Май	Кол-во проб	Июнь	Кол-во проб	Июль	Кол-во проб
1960	23–24.05	12	25–27.06	10	–	–
1961	19–21.05	15	–	–	04–06.07	11
1962	16–18.05	16	–	–	09–11.07	19
1963	16–19.05	10	–	–	10–12.07	9
1964	20–23.05	11	–	–	09–11.07	8
1965	26–28.05	12	–	–	25–27.07	10
1966	–	–	05–06.06	5	–	–
1967	–	–	–	–	08–09.07	11
1968	17–18.05	18	–	–	07–09.07	19
1969	19–23.05	19	–	–	05–07.07	21
1970	17–20.05	18	–	–	11–13.07	15
1971	23–25.05	19	–	–	08–10.07	18
1972	24–25.05	15	–	–	08–10.07	17
1973	24–26.05	19	–	–	10–12.07	19
1974	21–24.05	16	–	–	14–17.07	20
1975	24–29.05	20	–	–	04–06.07	20
1976	29.05– 01.06	20	–	–	13–16.07	15
1977	26–29.05	20	–	–	12–14.07	20
1978	22–25.05	17	–	–	12–14.07	20
1979	–	–	28.06–01.07	19	–	–
1980	24–26.05	20	–	–	–	–
1981	21–24.05	21	–	–	–	–
1982	27–30.05	17	–	–	12–16.07	17
1983	22–24.05	10	–	–	11–14.07	19
1984	24–27.05	17	–	–	–	–
1985	26–27.05	9	–	–	11–13.07	18
1986	–	–	31.05–03.06	20	–	–
1987	26–29.05	9	–	–	09–11.07	8
1988	24–27.05	10	–	–	11–13.07	10
1989	–	–	01–04.06	10	10–13.07	10
1990	–	–	–	–	–	–
1991	–	–	–	–	26.06– 01.07	11
1992	17–25.05	11	10–13.06	11	–	–
2008	30–31.05	7	–	–	–	–
2009	–	–	05–06.06	8	–	–
2010	–	–	06–07.06	10	–	–
2011	–	–	01–03.06	10	–	–
2012	–	–	04–06.06	10	–	–
2013	–	–	–	–	–	–
2014	–	–	08–10.06	10	–	–
2015	–	–	20–23.06	9	–	–
2016	28–30.05	10	–	–	–	–
2017	–	–	05–08.06, 17.06	10	–	–
Всего:		417		142		362

Таблица 2

Таксономический состав зоопланктона и частота встречаемости (ЧВ) организмов зоопланктона на разрезе «Кольский меридиан» в уловах сетью Джеди в слое 0–50 м в мае–июле 1960–2017 гг., %

Тип	Класс	Подкласс	Отряд	Семейство	Таксон	Стадия развития	ЧВ		
							Май	Июнь	Июль
Foraminifera					Foraminifera g. sp.		3,6	28,9	3,9
Radiozoa					Radiozoa g. sp.		5,8	2,8	8,6
	Polycystina		Nassellaria	Collozoidae	<i>Collozoum</i> sp.		1,9	5,6	6,1
Ciliophora	Oligotrichea	Oligotrichia	Choreotrichida	Xystonellidae	<i>Parafavella</i> sp.		3,4	33,8	20,4
Cnidaria	Hydrozoa				Hydrozoa g. sp.		2,2	7,7	3,0
		Trachylinae	Narcomedusae	Solmundaeginidae	<i>Aeginopsis laurentii</i> Brandt, 1838		22,3	13,4	33,7
				Rhopalonematidae	<i>Aglantha digitale</i> (O. F. Muller, 1776)		30,2	64,8	59,7
				Ptychogastriidae	<i>Ptychogastria polaris</i> Allman, 1878		–	0,7	–
		Hydroidolina	Anthoathecata	Bougainvilliidae	<i>Bougainvillia superciliaris</i> (L. Agassiz, 1849)		1,2	4,2	3,9
				Pandeidae	<i>Halitholus cirratus</i> Hartlaub, 1914		–	–	1,9
				Corymorphidae	<i>Euphysa</i> sp.	juv.	0,5	–	0,6
					<i>Euphysa flamea</i> Hartlaub, 1902		–	–	0,6
				Margelopsidae	<i>Margelopsis hartlaubii</i> Browne, 1903		0,2	–	–
				Corynidae	<i>Rathkea octopunctata</i> (M. Sars, 1835)		1,0	1,4	25,1
				Corynidae	<i>Sarsia princeps</i> (Haeckel, 1879)		1,2	0,7	0,6
			Leptothecata	Mitrocomidae	<i>Halopsis ocellata</i> Agassiz, 1865		0,7	–	8,6
				Meliceridae	<i>Melicerium octocostatum</i> (M. Sars, 1835)		–	–	0,3
				Mitrocomidae	<i>Mitrocomella cruciata</i> (Agassiz, 1865)		0,5	2,8	4,4
				Mitrocomidae	<i>Mitrocomella polydiademata</i> (Romanes, 1876)		2,4	0,7	8,6
				Campanulariidae	<i>Obelia longissima</i> (Pallas, 1766)		–	0,7	1,9
				Laodiceidae	<i>Staurostoma mertensii</i> (Brandt, 1835)		–	–	0,3
				Tiaropsidae	<i>Tiaropsis multicirrata</i> (M. Sars, 1835)		–	–	6,6
			Siphonophorae		Siphonophora g. sp.		1,0	2,1	2,8
				Diphyidae	<i>Dimophyes arctica</i> (Chun, 1897)		24,0	14,1	22,7
	Hexacorallia		Ceriantharia	Synarachnactidae	<i>Synarachnactis lloydii</i> (Gosse, 1859)		–	1,4	0,6
Ctenophora	Nuda				Ctenophora g. sp.	ova	2,6	13,4	33,1
					Ctenophora g. sp.	juv.	4,8	7,0	8,0
			Beroida	Beroidae	<i>Beroe cucumis</i> Fabricius, 1780	juv.	11,3	9,2	17,4
Nemertea					Nemertea g. sp.	larvae	0,5	14,1	0,3
					Nemertea g. sp.	juv.	0,2	3,5	–

Продолжение табл. 2

Тип	Класс	Подкласс	Отряд	Семейство	Таксон	Стадия развития	ЧВ		
							Май	Июнь	Июль
Annelida	Polychaeta				Polychaeta g. sp.	larvae	39,3	60,6	62,7
					Polychaeta g. sp.	juv.	4,6	40,8	–
Arthropoda	Branchiopoda	Errantia Phyllopoda	Phyllodocida Onychopoda	Tomopteridae Podonidae	<i>Tomopteris</i> sp.		0,5	0,7	0,8
					<i>Evadne nordmanni</i> Lovén, 1836		34,3	56,3	65,7
	Copepoda				<i>Podon leuckartii</i> (G.O. Sars, 1862)		3,8	26,1	7,7
					Copepoda g. sp.	ova	9,6	5,6	0,6
					Copepoda g. sp.	nauplii	2,4	2,8	13,0
					Calanoida g. sp.		–	1,4	–
					Acartiidae <i>Acartia</i> sp.		18,0	52,1	51,9
					Aetideidae <i>Aetideus armatus</i> (Boeck, 1873)		0,5	2,1	–
					Pontellidae <i>Anomalocera patersonii</i> Templeton, 1837		–	2,1	–
					Calanidae <i>Calanus</i> sp.	ova	54,4	33,1	12,4
					<i>Calanus</i> sp.	nauplii	99,5	97,2	88,1
					<i>Calanus finmarchicus</i> (Gunnerus, 1770)		96,9	99,3	100
					<i>Calanus glacialis</i> Jaschnov, 1955		9,4	17,6	2,2
					<i>Calanus hyperboreus</i> Krøyer, 1838		42,2	26,1	14,9
				Centropagidae	<i>Centropages</i> sp.	juv.	2,2	23,2	–
					<i>Centropages hamatus</i> (Lilljeborg, 1853)		8,4	31,0	13,5
					<i>Centropages typicus</i> Krøyer, 1849		2,2	8,5	0,6
				Aetideidae	<i>Gaetanus tenuispinus</i> (Sars G.O., 1900)		0,5	–	0,3
					<i>Heterorhabdus norvegicus</i> (Boeck, 1873)		0,2	0,7	0,6
				Metridinidae	<i>Metridia</i> sp.	ova	15,8	10,6	1,1
					<i>Metridia</i> sp.	nauplii	54,9	54,9	49,7
					<i>Metridia</i> sp.	juv.	53,2	64,1	81,8
				Clausocalanidae	<i>Metridia longa</i> (Lubbock, 1854)		18,7	15,5	12,2
					<i>Metridia lucens</i> Boeck, 1865		9,1	5,6	3,9
					<i>Microcalanus</i> sp.		50,6	56,3	71,0
				Clausocalanidae	<i>Paraeuchaeta</i> sp.	nauplii	0,7	0,7	2,5
					<i>Paraeuchaeta</i> sp.	juv.	9,8	12,0	8,0
					<i>Pseudocalanus</i> sp.	nauplii	–	–	1,4
				Rhincalanidae	<i>Pseudocalanus</i> sp.		88,5	96,5	99,4
					<i>Rhincalanus nasutus</i> Giesbrecht, 1888	nauplii	–	–	0,8
					<i>Rhincalanus nasutus</i> Giesbrecht, 1888		–	–	0,3
				Scolecitrichidae	<i>Scolecithricella minor</i> (Brady, 1883)		3,1	0,7	2,8
				Temoridae	<i>Temora longicornis</i> (Müller O.F., 1785)	nauplii	2,6	12,7	4,1

Продолжение табл. 2

Тип	Класс	Подкласс	Отряд	Семейство	Таксон	Стадия раз- вития	ЧВ		
							Май	Июнь	Июль
			Cyclopoida	Oithonidae	<i>Temora longicornis</i> (Muller O.F., 1785)	nauplii	15,8	39,4	23,8
					<i>Oithona similis</i> Claus, 1866		54,4	27,5	43,9
					<i>Oithona similis</i> Claus, 1866		95,9	99,3	99,7
					<i>Oithona atlantica</i> Farran, 1908		52,8	73,2	86,5
			Harpacticoida	Oncaeidae	<i>Triconia borealis</i> (Sars G.O., 1918)		78,9	84,5	88,4
					Harpacticoida g. spp.		3,6	3,5	3,6
				Ectinosomatidae	<i>Microsetella norvegica</i> (Boeck, 1865)		35,7	28,9	38,1
				Thalestridae	<i>Parathalestris croni</i> (Krøyer in Gaimard, 1842)		0,2	–	0,3
			Monstrilloida	Tisbidae	<i>Tisbe furcata furcata</i> (Baird, 1837)		–	–	0,3
				Monstrillidae	<i>Caromiobenella</i> sp.		0,2	–	–
	Thecostraca	Cirripedia			Cirripedia g. sp.	nauplii	8,2	13,4	13,8
					Cirripedia g. sp.	cypriis	16,5	26,8	18,0
	Malacostraca	Eumalacostraca	Euphausiacea	Euphausiidae	Euphausiacea g. sp.	ova	17,0	5,6	4,7
					Euphausiacea g. sp.	nauplii	91,8	52,8	21,3
					Euphausiacea g. sp.	metanauplii	88,2	61,3	21,0
					Euphausiacea g. sp.	calyptopis	85,9	93,0	66,6
					Euphausiacea g. sp.	furcilia	40,0	77,5	76,8
					<i>Meganyctiphanes norvegica</i> (M. Sars, 1857)		0,5	–	–
					<i>Thysanoessa inermis</i> (Krøyer, 1846)	ova	41,0	16,9	8,3
					<i>Thysanoessa inermis</i> (Krøyer, 1846)		3,1	–	1,1
					<i>Thysanoessa longicaudata</i> (Krøyer, 1846)		1,2	1,4	2,2
					<i>Meganyctiphanes norvegica</i> (M. Sars, 1857)		0,5	–	–
					<i>Thysanoessa inermis</i> (Krøyer, 1846)	ova	41,0	16,9	8,3
					<i>Thysanoessa inermis</i> (Krøyer, 1846)		3,1	–	1,1
					<i>Thysanoessa longicaudata</i> (Krøyer, 1846)		1,2	1,4	2,2
					<i>Thysanoessa raschii</i> (M. Sars, 1864)	ova	54,4	26,1	7,2
					<i>Thysanoessa raschii</i> (M. Sars, 1864)		–	0,7	1,1
		Eumalacostraca	Decapoda		Decapoda g. sp.	larvae	13,9	9,2	4,1
				Oregoniidae	<i>Hyas</i> sp.	larvae	4,8	2,1	2,2
		Eumalacostraca	Amphipoda	Hyperiidae	Hyperiidae g. sp.	juv.	9,1	2,1	1,9
					<i>Themisto</i> sp.	juv.	8,4	16,9	7,2
					<i>Themisto abyssorum</i> (Boeck, 1871)		1,9	5,6	5,5

Тип	Класс	Подкласс	Отряд	Семейство	Таксон	Стадия развития	ЧВ		
							Май	Июнь	Июль
					<i>Themisto compressa</i> Goës, 1866		0,2	–	–
					<i>Themisto libellula</i> (Lichtenstein in Mandt, 1822)		1,0	5,6	0,3
	Oligostraca	Myodocopa	Halocyprida	Halocyprididae	Halocyprididae g. sp.	juv.	2,9	0,7	2,2
					<i>Boroecia borealis</i> (Sars, 1866)		1,4	1,4	0,3
					<i>Discoconchoecia elegans</i> (Sars, 1866)		5,3	1,4	4,7
					<i>Obtusoecia obtusata</i> (Sars, 1866)		1,2	1,4	1,9
Mollusca	Gastropoda				Gastropoda g. sp.	larvae	8,4	34,5	1,9
		Heterobranchia	Pteropoda	Clionidae	<i>Clione limacina</i> (Phipps, 1774)	larvae	7,9	4,9	6,9
					<i>Clione limacina</i> (Phipps, 1774)	juv.	4,8	8,5	6,9
				Limacinidae	<i>Limacina</i> sp.	juv.	15,1	44,4	35,1
					<i>Limacina helicina</i> (Phipps, 1774)		1,7	2,8	9,4
					<i>Limacina retroversa</i> (J. Fleming, 1823)		3,6	2,1	19,3
	Bivalvia				Bivalvia g. sp.	larvae	3,6	45,1	65,7
Bryozoa					Bryozoa g. sp.	larvae	3,1	12,0	7,2
Chaetognatha					Chaetognatha g. sp.	ova	48,7	60,6	13,5
					Chaetognatha g. sp.	juv.	71,0	85,2	81,8
			Phragmophora		<i>Eukrohnia hamata</i> (Möbius, 1875)		5,3	7,7	4,4
			Aphragmophora		<i>Parasagitta elegans</i> (Verrill, 1873)		13,7	29,6	35,4
Echinodermata	Asteroidea				Asteroidea g. sp.	larvae	–	0,7	0,3
	Echinoidea				Echinoidea g. sp.	larvae	2,4	21,1	2,2
	Holothuroidea				Holothuroidea g. sp.	larvae	0,7	7,0	–
	Ophiuroidea				Ophiuroidea g. sp.	larvae	63,8	85,2	77,1
					Ophiuroidea g. sp.	juv.	2,4	19,7	9,1
Chordata	Appendicularia		Copelata	Fritillariidae	<i>Fritillaria borealis</i> Lohmann, 1896		81,3	86,6	78,7
					<i>Oikopleura</i> sp.		25,7	33,1	56,1
Chordata	Teleostei				Teleostei g. spp.	ova	12,7	14,8	2,5
					Teleostei g. spp.	larvae	–	7,7	4,4
			Gadiformes	Gadidae	<i>Gadus morhua</i> Linnaeus, 1758	larvae	–	–	0,6
			Pleuronectiformes	Pleuronectidae	<i>Hippoglossoides platessoides</i> (Fabricius, 1780)	ova	0,7	–	–
					<i>Hippoglossoides platessoides</i> (Fabricius, 1780)	larvae	0,7	–	–
					<i>Reinhardtius hippoglossoides</i> (Walbaum, 1792)	larvae	–	0,7	–
			Osmeriformes	Osmeridae	<i>Mallotus villosus</i> (Müller, 1776)	larvae	1,4	7,0	0,8

ПРИЛОЖЕНИЕ В

Таблица

**Систематический список таксонов зообентоса, встреченных на станциях разреза «Кольский меридиан»
в разные периоды: 1930–1935 (I), 1947–1950 (II), 1968–1969 (III) и 2003–2019 гг. (IV)**

Тип	Класс	Отряд	Семейство	Таксон	Период			
					I	II	III	IV
Porifera	Demospongiae			Porifera g. sp.	+	+	+	+
		Biemnida	Biemnidae	<i>Biemna</i> sp.				+
				<i>Biemna variantia papillifera</i> (Koltun, 1958)				+
		Haplosclerida	Chalinidae	<i>Gellius flagellifer</i> Ridley & Dendy, 1886				+
				<i>Haliclona</i> sp.				+
		Poecilosclerida	Cladorhizidae	<i>Asbestopluma (Asbestopluma) pennatula</i> (Schmidt, 1875)		+		
			Coelosphaeridae	<i>Lissodendoryx (Lissodendoryx) indistincta</i> (Fristedt, 1887)				+
			Crellidae	<i>Crellidae</i> g. sp.				+
			Hymedesmiidae	<i>Phorbas salebrosus</i> Koltun, 1958				+
			Myxillidae	<i>Myxilla</i> sp.		+		
			Tedaniidae	<i>Tedania (Tedania) suctoria</i> (Schmidt, 1870)				+
		Polymastiida	Polymastiidae	<i>Polymastia affinis</i> Thiele, 1898				+
				<i>Polymastia hemisphaerica</i> (Sars, 1872)				+
				<i>Polymastia mammillaris</i> (Müller, 1806)				+
				<i>Polymastia uberrima</i> (Schmidt, 1870)				+
				<i>Quasillina brevis</i> (Bowerbank, 1861)				+
				<i>Spinularia sarsii</i> (Ridley & Dendy, 1886)				+
				<i>Tentorium semisuberites</i> (Schmidt, 1870)		+		
		Suberitida	Halichondriidae	<i>Hymeniacidon assimilis</i> (Levinsen, 1887)				+
				<i>Hymeniacidon caruncula</i> Bowerbank, 1866				+
				<i>Vosmaeria crustacea</i> Fristedt, 1885				+
			Stylocordylidae	<i>Stylocordyla borealis</i> (Lovén, 1868)				+
			Suberitidae	<i>Protosuberites epiphytum</i> (Lamarck, 1814)				+
				<i>Rhizaxinella schaudinni</i> Hentschel, 1929				+
				<i>Suberites domuncula</i> (Olivi, 1792)				+
				<i>Suberites ficus</i> (Johnston, 1842)				+
				<i>Suberites montalbidus</i> Carter, 1880				+
				<i>Suberites</i> sp.				+
				<i>Suberites spermatozoon</i> (Schmidt, 1875)				+
		Tethyida	Tethyidae	<i>Tethya aurantium</i> (Pallas, 1766)		+		+
		Tetractinellida	Ancorinidae	<i>Stelletta normani</i> Sollas, 1880				+

Тип	Класс	Отряд	Семейство	Таксон	Период			
					I	II	III	IV
Cnidaria				<i>Stryphnus ponderosus</i> Bowerbank, 1866				+
			Pachastrellidae	<i>Pachastrella monilifera</i> Schmidt, 1868				+
			Tetillidae	<i>Craniella cranium</i> (Müller, 1776)				+
				<i>Craniella polyura</i> (Schmidt, 1870)				+
				<i>Tetilla</i> sp.				+
			Theneidae	<i>Thenea muricata</i> (Bowerbank, 1858)		+		+
				<i>Thenea</i> sp.		+		
				Anthozoa g. sp.		+		+
	Hydrozoa	Leptothecata		Hydrozoa g. sp.	+	+	+	+
			Haleciidae	<i>Halecium muricatum</i> (Ellis & Solander, 1786)				+
				<i>Halecium tenellum</i> Hincks, 1861				+
			Lafoeidae	<i>Grammaria abietina</i> (M. Sars, 1850)		+		
				<i>Lafoea dumosa</i> (Fleming, 1820)				+
			Laodiceidae	<i>Ptychogena crocea</i> Kramp & Damas, 1925				+
	Hexacorallia	Actiniaria	Actiniidae	<i>Actinia</i> sp.		+		
				<i>Bolocera tuediae</i> (Johnston, 1832)				+
			Edwardsiidae	<i>Edwardsia andresi</i> Danielssen, 1890				+
				<i>Edwardsia arctica</i> Carlgren, 1921				+
				<i>Edwardsia finmarchica</i> Carlgren, 1921				+
				<i>Edwardsia fusca</i> Danielssen, 1890				+
				<i>Edwardsia</i> sp.			+	+
				<i>Edwardsia vitrea</i> (Danielssen, 1890)				+
				Edwardsiidae g. sp.	+	+		+
				<i>Paraedwardsia arenaria</i> Carlgren in Nordgaard, 1905				+
			Halcampidae	<i>Halcompa arctica</i> Carlgren, 1893				+
			Haliactinidae	<i>Haliactis arctica</i> Carlgren, 1921				+
			Limnactiniidae	<i>Limnactinia laevis</i> Carlgren, 1921			+	+
		Ceriantharia	Cerianthidae	<i>Cerianthus lloydi</i> Gosse, 1859		+		+
				<i>Cerianthus</i> sp.	+			
		Zoantharia	Epizoanthidae	Epizoanthidae g. sp.		+		
				<i>Epizoanthus incrustatus</i> (Düben & Koren, 1847)			+	
				<i>Epizoanthus</i> sp.	+	+		
	Octocorallia	Malacalcyonacea	Alcyoniidae	Alcyonacea g. sp.	+			
				<i>Gersemia rubiformis</i> (Ehrenberg, 1834)				+
				<i>Gersemia</i> sp.	+	+		

Тип	Класс	Отряд	Семейство	Таксон	Период			
					I	II	III	IV
			Capnellidae	<i>Duva florida</i> (Rathke, 1806)			+	+
Nematoda				Nematoda g. sp.				+
Nemertea				Nemertea g. sp.	+	+	+	+
Platyhelminthes				Platyhelminthes g. sp.				+
Annelida	Sipuncula		Sipunculidae	Sipunculidae g. sp.				+
				<i>Golfingia (Golfingia) elongata</i> (Keferstein, 1862)				+
				<i>Golfingia (Golfingia) margaritacea</i> (Sars, 1851)	+			+
				<i>Golfingia (Golfingia) vulgaris vulgaris</i> (de Blainville, 1827)				+
				Golfingiidae g. sp.	+			
				<i>Nephasoma (Nephasoma) abyssorum abyssorum</i> (Koren & Danielssen, 1876)				+
				<i>Nephasoma (Nephasoma) diaphanes diaphanes</i> (Gerould, 1913)				+
				<i>Nephasoma (Nephasoma) eremita</i> (M. Sars, 1851)	+	+		+
				<i>Nephasoma (Nephasoma) lilljeborgi</i> (Danielssen & Koren, 1880)				+
				<i>Nephasoma (Nephasoma) minutum</i> (Keferstein, 1862)	+	+		+
				<i>Nephasoma</i> sp.				+
				<i>Phascolion</i> sp.		+		
				<i>Phascolion (Phascolion) strombus strombus</i> Montagu, 1804	+	+	+	+
	Polychaeta		Capitellidae	Polychaeta g. sp.	+	+	+	+
				<i>Capitella capitata</i> (Fabricius, 1780)				+
				<i>Capitella</i> sp.				+
				<i>Heteromastus filiformis</i> (Claparède, 1864)				+
				<i>Heteromastus filiformis laminariae</i> Zachs, 1925				+
				<i>Notomastus latericeus</i> M. Sars, 1851	+			+
			Chaetopteridae	<i>Spiochaetopterus typicus</i> M. Sars, 1856	+	+	+	+
				<i>Cossura longocirrata</i> Webster & Benedict, 1887				+
			Cossuridae	<i>Cossura</i> sp.				+
				<i>Chirimia biceps biceps</i> (Sars, 1861)	+	+	+	+
				<i>Clymenura borealis</i> (Arwidsson, 1906)				+
				<i>Clymenura</i> sp.				+
				<i>Euclymeninae</i> g. sp.				+
				<i>Lumbriclymene minor</i> Arwidsson, 1906	+			+
			Maldanidae	<i>Lumbriclymene</i> sp.				+

Тип	Класс	Отряд	Семейство	Таксон	Период			
					I	II	III	IV
				<i>Maldane arctica</i> Detinova, 1985				+
				<i>Maldane sarsi</i> Malmgren, 1865	+	+	+	+
				<i>Maldanidae</i> g. sp.	+	+	+	+
				<i>Microclymene</i> sp.				+
				<i>Nicomache (Loxochona) quadrispinata</i> Arwidsson, 1906				+
				<i>Nicomache (Loxochona) trispinata</i> Arwidsson, 1906	+	+		
				<i>Nicomache lumbricalis</i> (Fabricius, 1780)	+	+	+	+
				<i>Nicomache personata</i> Johnson, 1901				+
				<i>Nicomache</i> sp.	+		+	
				<i>Nicomachinae</i> g. sp.				+
				<i>Notoproctus oculatus</i> Arwidsson, 1906			+	+
				<i>Petaloproctus tenuis</i> (Théel, 1879)				+
				<i>Praxillella gracilis</i> (M. Sars, 1861)	+	+	+	+
				<i>Praxillella praetermissa</i> (Malmgren, 1865)	+	+		+
				<i>Praxillella</i> sp.	+	+		
				<i>Praxillura longissima</i> Arwidsson, 1906	+			+
				<i>Praxillura</i> sp.	+	+		
				<i>Rhodine gracilior</i> Tauber, 1879				+
				<i>Rhodine loveni</i> Malmgren, 1867		+		
				<i>Rhodine</i> sp.		+		
			Opheliidae	<i>Ophelia limacina</i> (Rathke, 1843)				+
				<i>Ophelina abranchiata</i> Støp-Bowitz, 1948				+
				<i>Ophelina acuminata</i> Örsted, 1843	+	+		+
				<i>Ophelina cylindrica</i> (Hansen, 1879)				+
				<i>Ophelina</i> sp.	+			+
			Orbiniidae	<i>Orbinia</i> sp.	+			
				<i>Scoloplos (Scoloplos) armiger</i> (Müller, 1776)	+	+		+
				<i>Scoloplos acutus</i> (Verrill, 1873)				+
				<i>Scoloplos</i> sp.				+
			Oweniidae	<i>Galathowenia fragilis</i> (Nilsen & Holthe, 1985)				+
				<i>Galathowenia oculata</i> (Zachs, 1923)	+	+		+
				<i>Galathowenia</i> sp.				+
				<i>Myriochele danielsseni</i> Hansen, 1878				+
				<i>Myriochele heeri</i> Malmgren, 1867				+
				<i>Myriochele</i> sp.	+	+		+

Тип	Класс	Отряд	Семейство	Таксон	Период			
					I	II	III	IV
				<i>Owenia assimilis</i> (Sars, 1851)	+			
				<i>Owenia</i> gr. <i>fusiformis</i> Delle Chiaje, 1844				+
				<i>Owenia polaris</i> Koh & Jirkov, 2003				+
				<i>Owenia</i> sp.	+			
			Paraonidae	<i>Aricidea</i> (<i>Strelzovia</i>) <i>quadrilobata</i> Webster & Benedict, 1887				+
				<i>Aricidea hartmani</i> Strelzov, 1968				+
				<i>Aricidea nolani</i> Webster & Benedict, 1887				+
				<i>Aricidea</i> sp.		+		+
				<i>Cirrophorus branchiatus</i> Ehlers, 1908				+
				<i>Levinsenia gracilis</i> (Tauber, 1879)				+
				<i>Paradoneis lyra</i> (Southern, 1914)				+
				Paraonidae g. sp.				+
				<i>Paraonides nordica</i> Strelzov, 1968				+
			Scalibregmatidae	<i>Polyphysia baffinensis</i> (Blake, 1972)				+
				<i>Polyphysia crassa</i> (Örsted, 1843)		+	+	+
				<i>Pseudoscalibregma parvum</i> (Hansen, 1879)				+
				<i>Scalibregma inflatum</i> Rathke, 1843				+
		Amphinomida	Amphinomidae	<i>Paramphionome jeffreysii</i> (McIntosh, 1868)				+
		Eunicida	Dorvilleidae	Dorvilleidae g. sp.				+
			Eunicidae	<i>Eunice norvegica</i> (Linnaeus, 1767)		+	+	
			Lumbrineridae	<i>Abyssoninoe scopae</i> (Fauchald, 1974)				+
				Lumbrineridae g. sp.				+
				<i>Lumbrineris latreilli</i> Audouin & Milne-Edwards, 1834				+
				<i>Lumbrineris minuta</i> (Théel, 1879)				+
				<i>Lumbrineris</i> sp.	+	+		+
				<i>Scoletoma fragilis</i> (O. F. Müller, 1776)	+	+	+	+
				<i>Scoletoma tetraura</i> (Schmarda, 1861)				+
			Onuphidae	<i>Nothria hyperborea</i> (Hansen, 1878)	+	+	+	+
				<i>Nothria</i> sp.		+		
		Phyllodocida	Aphroditidae	Aphroditidae g. sp.			+	
			Glyceridae	<i>Glycera capitata</i> Örsted, 1843	+		+	
				<i>Glycera lapidum</i> Quatrefages, 1866				+
			Goniadidae	<i>Glycinde nordmanni</i> (Malmgren, 1866)		+		
				<i>Goniada maculata</i> Örsted, 1843			+	+
			Hesionidae	Hesionidae g. sp.				+

Тип	Класс	Отряд	Семейство	Таксон	Период			
					I	II	III	IV
				<i>Nereimyra aphroditoides</i> (O. Fabricius, 1780)				+
			Lopadorrhynchidae	Lopadorchinchinae g. sp.				+
			Nephtyidae	<i>Aglaophamus malmgreni</i> (Théel, 1879)			+	+
				<i>Bipalponephtys neotena</i> (Noyes, 1980)				+
				<i>Micronephthys minuta</i> (Théel, 1879)				+
				Nephtyidae g. sp.				+
				<i>Nephtys caeca</i> (Fabricius, 1780)		+	+	
				<i>Nephtys ciliata</i> (Müller, 1788)	+	+	+	+
				<i>Nephtys longosetosa</i> Örsted, 1842		+	+	
				<i>Nephtys paradoxa</i> Malm, 1874	+	+	+	+
				<i>Nephtys</i> sp.	+	+	+	+
			Nereididae	<i>Nereis</i> sp.	+	+		
				<i>Nereis zonata</i> Malmgren, 1867		+		
			Phyllodocidae	<i>Eteone barbata</i> Malmgren, 1865				+
				<i>Eteone flava</i> (Fabricius, 1780)				+
				<i>Eteone longa</i> (Fabricius, 1780)				+
				<i>Eteone spetsbergensis spetsbergensis</i> Malmgren, 1865				+
				<i>Eulalia</i> sp.	+			
				<i>Mystides borealis</i> Théel, 1879				+
				<i>Nereiphylla lutea</i> (Malmgren, 1865)				+
				<i>Phyllodoce groenlandica</i> Örsted, 1842		+	+	+
				<i>Phyllodoce maculata</i> (L., 1767)		+		
				<i>Phyllodoce</i> sp.	+			
				Phyllodocidae g. sp.	+			
			Polynoidae	<i>Bathyfauvelia affinis</i> (Fauvel, 1914)				+
				<i>Bylgides elegans</i> (Théel, 1879)				+
				<i>Bylgides groenlandicus</i> (Malmgren, 1867)				+
				<i>Bylgides</i> sp.				+
				<i>Eucranta villosa</i> Malmgren, 1866				+
				<i>Gattyana amondseni</i> (Malmgren, 1867)				+
				<i>Gattyana cirrhosa</i> (Pallas, 1766)				+
				<i>Harmothoe fratherthomsoni</i> McIntosh, 1897				+
				<i>Harmothoe impar</i> (Johnston, 1839)				+
				<i>Harmothoe</i> sp.			+	+
				Macellicephalinae g. sp.				+

Тип	Класс	Отряд	Семейство	Таксон	Период			
					I	II	III	IV
				<i>Neopolynoe paradoxa</i> (Storm, 1888)				+
				Polynoidae g. sp.				+
			Sigalionidae	<i>Pholoe assimilis</i> Örsted, 1845				+
				<i>Pholoe longa</i> (O. F. Müller, 1776)				+
				<i>Pholoe pallida</i> Chambers, 1985				+
				<i>Pholoe</i> sp.				+
				Sigalionidae g. sp.				+
			Sphaerodoridae	Sphaerodoridae g. sp.				+
				<i>Sphaerodoridium minutum</i> (Webster & Benedict, 1887)				+
				<i>Sphaerodoropsis philippi</i> (Fauvel, 1911)				+
				<i>Sphaerodorum gracilis</i> (Rathke, 1843)				+
			Syllidae	Eusyllinae g. sp.				+
				<i>Eusyllis blomstrandii</i> Malmgren, 1867				+
				<i>Exogone verugera</i> (Claparède, 1868)				+
				Exogoninae g. sp.				+
				Syllidae g. sp.				+
				Syllinae g. sp.				+
				<i>Syllis oerstedii</i> (Malmgren, 1867)				+
		Sabellida	Sabellidae	<i>Branchiomma infarctum</i> (Krøyer, 1856)	+			
				<i>Chone dunerii</i> Malmgren, 1867				+
				<i>Chone infundibuliformis</i> Krøyer, 1856				+
				<i>Chone murmanica</i> Lucash, 1910				+
				<i>Chone</i> sp.				+
				<i>Euchone analis</i> (Krøyer, 1856)		+		+
				<i>Euchone papillosa</i> (M. Sars, 1851)	+	+		+
				<i>Euchone perseyi</i> (Zenkewitsch, 1925)				+
				<i>Laonome kroyeri</i> Malmgren, 1866				+
				<i>Potamilla neglecta</i> (Sars, 1851)				+
				Sabellidae g. sp.	+	+	+	+
			Serpulidae	<i>Bushiella (Jugaria) quadrangularis</i> (Stimpson, 1854)				+
				<i>Bushiella (Jugaria) similis</i> (Bush, 1905)				+
				<i>Filograna implexa</i> Berkeley, 1835		+		+
				<i>Hydroides norvegica</i> Gunnerus, 1768		+		+
				<i>Placostegus tridentatus</i> (Fabricius, 1779)		+	+	
				<i>Protula tubularia</i> (Montagu, 1803)		+	+	

Тип	Класс	Отряд	Семейство	Таксон	Период			
					I	II	III	IV
		Spionida		Spirorbinae g. sp.				+
				<i>Spirorbis spirorbis</i> (L., 1758)				+
			Siboglinidae	Pogonophora g. sp.				+
			Apistobranchidae	<i>Apistobranchus tullbergi</i> (Théel, 1879)				+
			Spionidae	<i>Laonice cirrata</i> (M. Sars, 1851)	+		+	+
				<i>Polydora caeca</i> (Örsted, 1843)				+
				<i>Polydora</i> sp.				+
				<i>Prionospio cirrifera</i> Wirén, 1883				+
				<i>Scolecopsis korsuni</i> Sikorski, 1994				+
				<i>Spio armata</i> (Thulin, 1957)				+
				<i>Spio limicola</i> Verrill, 1879				+
				Spionidae g. sp.	+	+	+	+
				<i>Spiophanes kroyeri</i> Grube, 1860				+
		Terebellida	Ampharetidae	<i>Amage auricula</i> Malmgren, 1866				+
				<i>Ampharete finmarchica</i> (M. Sars, 1866)				+
				<i>Ampharete</i> gr. <i>lindstroemi</i> Malmgren in Hessle 1917				+
				<i>Ampharete</i> sp.	+			+
				Ampharetidae g. sp.	+	+	+	+
				<i>Amphicteis gunneri</i> (M. Sars, 1835)				+
				<i>Amphicteis ninonae</i> Jirkov, 1985				+
				<i>Amphicteis sundevalli</i> (Malmgren, 1865)		+		
				<i>Anobothrus gracilis</i> (Malmgren, 1866)				+
				<i>Anobothrus laubieri</i> (Desbruyères, 1978)				+
				<i>Glyphanostomum pallescens</i> (Théel, 1879)				+
				<i>Lysippe labiata</i> Malmgren, 1865	+			+
				<i>Sabellides</i> sp.	+			
				<i>Samyrella elongata</i> Verrill, 1873				+
				<i>Sosane gracilis</i> (Malmgren, 1865)	+			+
				<i>Sosanopsis wireni</i> Hessle, 1917				+
			Cirratulidae	<i>Aphelochaeta marioni</i> (Saint-Joseph, 1894)				+
				<i>Aphelochaeta</i> sp.				+
				<i>Chaetozone setosa</i> Malmgren, 1867	+			+
				<i>Chaetozone</i> sp.				+
				Cirratulidae g. sp.				+
			Flabelligeridae	<i>Brada granulata</i> Malmgren, 1867	+			

Тип	Класс	Отряд	Семейство	Таксон	Период			
					I	II	III	IV
				<i>Brada granulosa</i> Hansen, 1882				+
				<i>Brada inhabilis</i> (Rathke, 1843)				+
				<i>Brada villosa</i> (Rathke, 1843)				+
				<i>Diplocirrus glaucus</i> (Malmgren, 1867)				+
				<i>Diplocirrus hirsutus</i> (Hansen, 1879)				+
				<i>Diplocirrus longisetosus</i> (Marenzeller, 1890)				+
				<i>Diplocirrus</i> sp.				+
				Flabelligeridae g. sp.				+
				<i>Pherusa plumosa</i> (O.F. Müller, 1776)	+	+		+
				<i>Pherusa</i> sp.	+			
			Melinnidae	<i>Melinna cristata</i> (M. Sars, 1851)	+	+		+
				<i>Melinna elisabethae</i> McIntosh, 1914				+
			Pectinariidae	<i>Cistenides hyperborea</i> Malmgren, 1866			+	+
			Terebellidae	<i>Amphitrite affinis</i> Malmgren, 1865				+
				<i>Amphitrite cirrata</i> Müller, 1776	+			
				<i>Amphitrite grayi</i> Malmgren, 1865				+
				<i>Amphitrite</i> sp.	+			+
				<i>Artacama proboscidea</i> Malmgren, 1865				+
				<i>Lanassa nordenskioldi</i> Malmgren, 1866				+
				<i>Lanassa venusta venusta</i> (Malmgren, 1874)				+
				<i>Laphania boeckii</i> Malmgren, 1865	+			+
				<i>Leaena abranchiata</i> Malmgren, 1865	+			+
				<i>Lysilla loveni</i> Malmgren, 1866				+
				<i>Neoamphitrite groenlandica</i> (Malmgren, 1866)	+			+
				<i>Nicolea venustula</i> (Montagu, 1818)				+
				<i>Paramphitrite birulai</i> (Ssolowiew, 1899)				+
				<i>Pista bansei</i> Safronova, 1988				+
				<i>Pista cristata</i> O.F. Müller, 1776				+
				<i>Pista maculata</i> (Dalyell, 1853)				+
				Polycirrinae g. sp.				+
				<i>Polycirrus arcticus</i> M. Sars, 1865				+
				<i>Polycirrus medusa</i> Grube, 1850				+
				<i>Polycirrus</i> sp.	+			
				<i>Proclea graffi</i> (Langerhans, 1880)				+
				Terebellidae g. sp.	+	+	+	+

Тип	Класс	Отряд	Семейство	Таксон	Период			
					I	II	III	IV
				Terebellinae g. sp.				+
			Trichobranchidae	<i>Terebellides gracilis</i> Malm, 1874				+
				<i>Terebellides irinae</i> Gagaev, 2009				+
				<i>Terebellides stroemi</i> Sars, 1835	+	+		+
Priapulida		Priapulomorpha	Priapulidae	<i>Priapulopsis bicaudatus</i> (Koren & Danielssen, 1868)		+		+
Arthropoda	Malacostraca	Amphipoda		<i>Priapulus caudatus</i> Lamarck, 1816	+			+
				Crustacea g. sp.	+	+		
				Amphipoda g. sp.	+	+	+	+
				Acanthonotozomatidae				+
				<i>Acanthonotozoma rusanovae</i> Bryazgin, 1974				+
				Acidostomatidae				+
				<i>Acidostoma obesum</i> (Bate, 1862)				+
				Ambasiidae			+	
				<i>Ambasiella murmanica</i> (Brüggen, 1905)				
				Ampeliscidae				+
				<i>Ampelisca eschrichtii</i> Krøyer, 1842				+
				<i>Ampelisca macrocephala</i> Liljeborg, 1852				+
				<i>Ampelisca</i> sp.				+
				Ampeliscidae g. sp.			+	
				<i>Byblis crassicornis</i> Metzger, 1875				+
				<i>Byblis erythrops</i> G.O. Sars, 1883				+
				<i>Byblis gaimardii</i> (Krøyer, 1846)				+
				<i>Byblis</i> sp.				+
				<i>Haploops setosa</i> Boeck, 1871				+
				<i>Haploops similis</i> Stephensen, 1925				+
				<i>Haploops</i> sp.		+		+
				<i>Haploops tenuis</i> Kannevorff, 1966				+
				<i>Haploops tubicola</i> Liljeborg, 1856		+		+
				Amphilochidae				+
				<i>Amphilochopsis hamatus</i> Stephensen, 1925				+
				<i>Amphilochus manudens</i> Bate, 1862				+
				<i>Amphilochus tenuimanus</i> (Boeck, 1870)				+
				<i>Gitanopsis bispinosa</i> (Boeck, 1871)				+
				Aoridae				+
				<i>Autonoe borealis</i> (Myers, 1976)				+
				<i>Autonoe megacheir</i> G.O. Sars, 1879				+
				<i>Autonoe</i> sp.				+
				Atylidae				+
				<i>Nototropis nordlandicus</i> (Boeck, 1871)				+
				Calliopiidae				+
				<i>Apherusa megalops</i> (Buchholz, 1874)				+
				<i>Apherusa sarsi</i> Schoemaker, 1930				+
				<i>Haliragoides inermis</i> (G.O. Sars, 1882)				+

Тип	Класс	Отряд	Семейство	Таксон	Период			
					I	II	III	IV
			Corophiidae	Corophiidae g. sp.		+	+	
				<i>Protomedeia fasciata</i> Krøyer, 1842				+
			Cressidae	<i>Cressa dubia</i> (Bate, 1856)				+
				<i>Cressa minuta</i> Boeck, 1871				+
				<i>Cressa</i> sp.				+
			Dulichiiidae	<i>Dulichia falcata</i> (Bate, 1857)				+
				<i>Dyopedos monacanthus</i> (Metzger, 1875)				+
				<i>Dyopedos porrectus</i> Bate, 1857				+
				<i>Paradulichia typica</i> Boeck, 1870				+
			Eriopisidae	<i>Eriopisa elongata</i> (Bruzellius, 1850)				+
			Gammaridae	Gammaridae g. sp.		+	+	
			Ischyroceridae	<i>Erichthonius rubricornis</i> (Stimpson, 1853)				+
				<i>Ischyrocerus commensalis</i> Chevreux, 1900				+
				<i>Ischyrocerus megacheir</i> (Boesk, 1871)				+
				<i>Ischyrocerus megalops</i> G.O. Sars, 1894				+
				<i>Ischyrocerus nanoides</i> (Hansen, 1887)				+
			Kergueleniidae	<i>Kerguelenia borealis</i> G.O. Sars, 1891				+
			Lepechinellidae	<i>Lepechinella arctica</i> Schelenberg, 1926				+
			Liljeborgiidae	<i>Idunella aeqvicornis</i> (G.O. Sars, 1876)				+
				<i>Lilljeborgia fissicornis</i> (Sars, 1858)				+
			Melitidae	<i>Quasimelita formosa</i> Murdoch, 1865				+
			Melphidippidae	<i>Melphidippa borealis</i> Boeck, 1870				+
				<i>Melphidippa goesi</i> Stebbing, 1899				+
				<i>Melphidippa</i> sp.				+
			Odiidae	<i>Odius carinatus</i> (Bate, 1862)				+
			Oedicerotidae	<i>Aceroides latipes</i> (G.O. Sars, 1882)				+
				<i>Arrhis phyllonyx</i> (M. Sars, 1858)				+
				<i>Bathymedon longimanus</i> (Boeck, 1871)				+
				<i>Bathymedon obtusifrons</i> (Hansen, 1883)				+
				<i>Bathymedon saussurei</i> (Boeck, 1871)				+
				<i>Deflexilodes subnudus</i> (Norman, 1889)				+
				<i>Monoculodes packardi</i> Boeck, 1871				+
				<i>Monoculodes</i> sp.				+
				Oedicerotidae g. sp.				+
				<i>Paroedicerus lynceus</i> (M. Sars, 1858)				+

Тип	Класс	Отряд	Семейство	Таксон	Период			
					I	II	III	IV
				<i>Paroediceros propinquus</i> (Goës, 1866)				+
				<i>Pontocrates arcticus</i> G.O. Sars, 1895				+
				<i>Rostroculodes borealis</i> (Boeck, 1871)				+
			Pardaliscidae	<i>Nicippe tumida</i> Bruzelius, 1859				+
			Photidae	<i>Gammaropsis melanops</i> G.O. Sars, 1882				+
				<i>Photis reinhardi</i> Krøyer, 1842				+
				<i>Photis</i> sp.				+
				<i>Photis tenuicornis</i> G.O. Sars, 1882				+
			Phoxocephalidae	<i>Harpinia crenulata</i> Boeck, 1871				+
				<i>Harpinia laevis</i> G.O. Sars, 1891				+
				<i>Harpinia mucronata</i> G.O. Sars, 1879				+
				<i>Harpinia plumosa</i> Krøyer, 1842				+
				<i>Harpinia propinqua</i> G.O. Sars, 1891				+
				<i>Harpinia</i> sp.				+
				<i>Leptophoxus falcatus</i> G.O. Sars, 1882				+
				<i>Paraphoxus oculatus</i> (G.O. Sars, 1879)				+
			Pleustidae	<i>Pleustes panoplus</i> (Krøyer, 1838)				+
				Pleustidae g. sp.				+
				<i>Pleustomesus medius</i> (Goës, 1866)				+
				<i>Pleusymtes pulchella</i> (G.O. Sars, 1876)				+
			Podoceridae	<i>Laetmatophilus tuberculatus</i> Bruzelus, 1859				+
			Stegocephalidae	<i>Andaniexis abyssi</i> A. Boeck, 1871				+
				<i>Phippsiella similis</i> (G.O. Sars, 1891)				+
			Stenothoidae	<i>Metopa boeckii</i> Sars, 1892				+
				<i>Metopa</i> sp.				+
			Synopiidae	<i>Bruzelia tuberculata</i> Sars, 1882				+
				<i>Syrrhoe crenulata</i> Goës, 1866				+
				<i>Tiron spiniferus</i> (Stimpson, 1853)				+
			Tryphosidae	<i>Hippomedon holbolli</i> (Krøyer, 1846)				+
				<i>Hippomedon propinquus</i> G.O. Sars, 1890				+
				<i>Lepidepecreum umbo</i> (Goës, 1866)			+	+
				<i>Orchomene serrata</i> (Boeck, 1861)				+
				<i>Orchomenella pinguis</i> Boeck, 1861				+
				<i>Tryphosella horingi</i> Boeck, 1871				+
				<i>Tryphosella nanoides</i> (Liljeborg, 1865)				+

Тип	Класс	Отряд	Семейство	Таксон	Период			
					I	II	III	IV
				<i>Tryphosella sarsi</i> Bonnier, 1893				+
				<i>Tryphosella schneideri</i> Stephensen, 1925				+
				<i>Tryphosella triangula</i> (Stephensen, 1925)				+
			Unciolidae	<i>Neohela monstrosa</i> (Boesk, 1861)				+
				<i>Unciola leucopis</i> (Krøyer, 1845)	+			+
				<i>Unciola planipes</i> Norman, 1867				+
			Uristidae	<i>Anonyx nugax</i> (Phipps, 1774)				+
				<i>Anonyx sarsi</i> Steele & Brunel, 1968				+
				<i>Boeckosimus plautus</i> Krøyer, 1845				+
				<i>Caeconyx caeculus</i> (Sars, 1891)				+
				<i>Centromedon productus</i> (Goës, 1866)				+
				<i>Centromedon pumilus</i> (Liljeborg, 1865)				+
				<i>Centromedon</i> sp.				+
				<i>Menigrates obtusifrons</i> (Boeck, 1861)				+
				<i>Onisimus normani</i> (G.O. Sars, 1895)				+
				<i>Tmetonyx cicada</i> (Fabricius, 1780)		+		+
				<i>Tmetonyx similis</i> (G.O. Sars, 1891)				+
			Urothoidae	<i>Urothoe elegans</i> Bate, 1857				+
		Cumacea		Cumacea g. sp.	+			+
			Diastylidae	<i>Brachydiastylis resima</i> (Krøyer, 1846)				+
				<i>Diastylis echinata</i> Bate, 1865				+
				<i>Diastylis edwardsii</i> (Krøyer, 1841)				+
				<i>Diastylis goodsiri</i> (Bell, 1855)	+			+
				<i>Diastylis lepechini</i> Zimmer, 1926				+
				<i>Diastylis oxyrhyncha</i> Zimmer, 1926				+
				<i>Diastylis rathkei</i> (Krøyer, 1841)	+			+
				<i>Diastylis rathkei sarsi</i> Norman, 1902			+	
				<i>Diastylis scorpioides</i> (Lepechin, 1780)	+			
				<i>Diastylis</i> sp.	+		+	
				<i>Diastylis spinulosa</i> Heller, 1875				+
				<i>Diastylis sulcata</i> Calman, 1912		+		
				<i>Ektonodiastylis nimia</i> (Hansen, 1920)				+
				<i>Leptostylis macrura</i> G.O. Sars, 1869				+
				<i>Leptostylis</i> sp.				+
				<i>Leptostylis villosa</i> G.O. Sars, 1869				+

Тип	Класс	Отряд	Семейство	Таксон	Период			
					I	II	III	IV
			Lampropidae	<i>Hemilamprops assimilis</i> Sars, 1883				+
				<i>Hemilamprops cristata</i> (G.O. Sars, 1870)				+
				<i>Hemilamprops roseus</i> (Norman, 1863)				+
				<i>Lamprops fasciatus</i> G.O. Sars, 1863				+
				<i>Platysympus tricarinatus</i> Hansen, 1920				+
			Leuconidae	<i>Eudorella</i> cf. <i>arctica</i> Hansen, 1920				+
				<i>Eudorella emarginata</i> (Krøyer, 1846)		+		+
				<i>Eudorella hispida</i> G.O. Sars, 1871				+
				<i>Eudorella</i> sp.				+
				<i>Leucon acutirostris</i> G.O. Sars, 1864	+			+
				<i>Leucon nasica</i> Krøyer, 1841				+
				<i>Leucon nathorsti</i> Ohlin, 1901				+
				<i>Leucon pallidus</i> G.O. Sars, 1864				+
				<i>Leucon</i> sp.	+			+
			Nannastacidae	<i>Campylaspis horrida</i> G.O. Sars, 1870				+
				<i>Campylaspis intermedia</i> Hansen, 1920				+
				<i>Campylaspis</i> sp.				+
		Decapoda		Decapoda g. sp.				+
			Crangonidae	<i>Pontophilus norvegicus</i> (M. Sars, 1861)				+
			Hippolytidae	<i>Caridion gordonii</i> (Spence Bate, 1858)				+
			Lithodidae	<i>Paralithodes camtschaticus</i> (Tilesius, 1815)				+
			Oregoniidae	<i>Hyas coarctatus</i> Leash, 1816		+		
			Pandalidae	<i>Pandalus borealis</i> Krøyer, 1838				+
		Isopoda		Isopoda g. sp.	+			
			Aegidae	<i>Aega psora</i> Linnaeus, 1758		+		
			Arcturidae	<i>Astacilla granulata</i> (G. O. Sars, 1873)				+
				<i>Astacilla longicornis</i> (Sowerby, 1806)				+
			Chaetiliidae	<i>Saduria sabini</i> (Krøyer, 1849)				+
			Desmosomatidae	<i>Desmosoma</i> sp.				+
				Desmosomatidae g. sp.				+
			Gnathiidae	<i>Caecognathia elongata</i> (Krøyer, 1849)				+
			Janiridae	<i>Janira maculosa</i> Leach, 1814				+
			Katianiridae	<i>Katianira cornigera</i> Gurjanova, 1930				+
				<i>Katianira bilobata</i> Gurjanova, 1930				+
			Leptanthuridae	<i>Calathura brachiata</i> (Stimpson, 1853)	+	+	+	+

Тип	Класс	Отряд	Семейство	Таксон	Период			
					I	II	III	IV
				<i>Calathura</i> sp.	+			
			Macrostylidae	<i>Macrostylis spinifera</i> G.O. Sars, 1864				+
			Munnidae	<i>Munna acanthifera</i> Hansen, 1916				+
				<i>Munna fabricii</i> Krøyer, 1846				+
				<i>Munna groenlandica</i> Hansen, 1916				+
				<i>Munna hansenii</i> Stappers, 1911				+
			Munnopsidae	<i>Baeonectes muticus</i> (G.O. Sars, 1864)				+
				<i>Echinozone arctica</i> Hansen, 1916				+
				<i>Echinozone coronata</i> (Sars, 1870)				+
				<i>Eurycope producta</i> G.O. Sars, 1868				+
				<i>Eurycope</i> sp.				+
				<i>Ilyarachna bicornis</i> Hansen, 1916				+
				<i>Ilyarachna</i> cf. <i>frami</i> Just, 1980				+
				<i>Ilyarachna hirticeps</i> G.O. Sars, 1870				+
				<i>Ilyarachna</i> sp.				+
				<i>Munnopsis typica</i> M. Sars, 1861				+
				<i>Munnopsurus giganteus</i> (G.O. Sars, 1877)				+
			Nannoniscidae	<i>Nannoniscus oblongus</i> G.O. Sars, 1870				+
				<i>Rapaniscus crassipes</i> (Hansen, 1916)				+
			Paramunnidae	<i>Pleurogonium spinosissimum</i> (G.O. Sars, 1866)				+
		Mysida	Mysidae	<i>Erytrops</i> sp.				+
				<i>Pseudomma</i> sp.				+
		Tanaidacea	Akanthophoreidae	<i>Akanthophoreus gracilis</i> (Krøyer, 1842)				+
			Colletteidae	<i>Collettea cylindrata</i> (Sars G.O., 1882)				+
			Cryptocopidae	<i>Cryptocope arctica</i> (Hansen, 1886)				+
			Leptognathiidae	<i>Leptognathia</i> sp.				+
			Pseudotanaidae	<i>Pseudotanaeis affinis</i> Hansen, 1886				+
				<i>Pseudotanaeis lilljeborgi</i> G.O. Sars, 1882				+
				<i>Pseudotanaeis macrocheles</i> G.O. Sars, 1882				+
			Sphyrapodidae	<i>Pseudosphyrapus anomalus</i> (G.O. Sars, 1899)				+
			Typhlotanaidae	<i>Torquella</i> cf. <i>grandis</i> (Hansen, 1913)				+
				<i>Torquella grandis</i> (Hansen, 1913)				+
				<i>Typhlotanaeis finmarchicus</i> G.O. Sars, 1882				+
				<i>Typhlotanaeis</i> sp.				+
				<i>Typhlotanaeis spinicauda</i> Hansen, 1913				+

Тип	Класс	Отряд	Семейство	Таксон	Период			
					I	II	III	IV
	Ostracoda	Myodocopida		Ostracoda g. sp.	+	+		+
			Cypridinidae	<i>Cypridina norvegica</i> (Baird, 1860)				+
			Philomedidae	<i>Philomedes globosus</i> (Lilljeborg, 1853)				+
		Podocopida	Hemicytheridae	<i>Elofsonella concinna</i> (Jones, 1857)				+
			Macrocyprididae	<i>Macrocypris minna</i> (Baird, 1850)				+
			Trachyleberididae	<i>Actinocythereis dunelmensis</i> (Norman, 1865)				+
				<i>Pterygocythereis mucronata</i> (Sars, 1866)				+
				<i>Rabilimis mirabilis</i> (Brady, 1868)				+
	Pycnogonida	Pantopoda		Pantopoda g. sp.	+	+		
			Callipallenidae	<i>Pseudopallene spinipes</i> (Fabricius, 1780)				+
			Nymphonidae	<i>Nymphon hirtipes</i> Bell, 1853				+
				<i>Nymphon longimanum</i> Sars, 1888				+
				<i>Nymphon macronyx</i> G.O. Sars, 1877				+
				<i>Nymphon</i> sp.		+		
				<i>Nymphon stroemi</i> Krøyer, 1844				+
	Thecostraca	Balanomorpha	Balanidae	<i>Balanus</i> sp.				+
Mollusca	Gastropoda			Mollusca g. sp.		+		
				Gastropoda g. sp.	+	+	+	+
			Lepetidae	<i>Lepeta caeca</i> (O.F. Müller, 1776)		+	+	+
			Epitoniidae	<i>Boreoscala greenlandica</i> (Perry, 1811)		+		
			Newtoniellidae	<i>Lovenella</i> sp.		+		
		Cephalaspidea	Cylichnidae	<i>Cylichna alba</i> (Brown, 1827)	+	+		+
			Diaphanidae	<i>Diaphana hiemalis</i> (Couthouy, 1939)				+
				<i>Diaphana minuta</i> (Brown in Smith, 1839)	+			+
				<i>Diaphana</i> sp.	+			+
			Eoscapandridae	<i>Cylichnoides occultus</i> (Mighels, 1841)				+
				<i>Cylichnoides scalptus</i> (Reeve, 1855)			+	
			Laonidae	<i>Philine lima</i> (Brown, 1827)				+
				<i>Philine quadrata</i> (S. Wood, 1839)				+
			Philinidae	<i>Laona finmarchica</i> (M. Sars, 1859)			+	+
				<i>Philine</i> sp.				+
			Retusidae	<i>Retusa</i> sp.				+
			Scaphandridae	<i>Scaphander punctostriatus</i> (Mighels & Adams, 1842)			+	+
		Littorinimorpha	Eulimidae	<i>Aclis sarsi</i> Dautzenberg & H. Fischer, 1912				+
				Eulimidae g. sp.				+

Тип	Класс	Отряд	Семейство	Таксон	Период			
					I	II	III	IV
				<i>Haliella stenostoma</i> (Jeffreys, 1858)				+
				<i>Hemiacclis glabra</i> G.O.Sars, 1878				+
			Naticidae	<i>Cryptonatica affinis</i> (Gmelin, 1791)	+	+		+
				<i>Euspira pallida</i> (Broderip & Sowerby, 1829)	+	+		+
				Naticidae g. sp.				+
			Rissoidae	<i>Alvania</i> sp.				+
				<i>Frigidoalvania janmayeni</i> (Friele, 1978)	+	+		+
				<i>Onoba aculeus</i> (Gould, 1841)				+
				<i>Pseudosetia turgida</i> (Jeffreys, 1870)				+
				<i>Punctulum wyvillethomsoni</i> (Jeffreys in Friele, 1877)				+
				<i>Rissoa</i> sp.	+			
				Rissoidae g. sp.				+
			Velutinidae	<i>Lamellaria</i> sp.		+		
				<i>Limneria undata</i> (T. Brown, 1839)			+	
				<i>Velutina schneideri</i> Friele, 1886				+
				<i>Velutina</i> sp.				+
		Neogastropoda	Buccinidae	<i>Buccinum finmarkianum</i> Verkrüzen, 1875				+
				<i>Volutopsius norwegicus</i> (Gmelin, 1791)		+		
			Cancellariidae	<i>Admete viridula</i> (Fabricius, 1780)				+
			Colidae	<i>Colus sabini</i> (Gray, 1824)				+
				<i>Turrisipho lachesis</i> (Mörch, 1869)	+			
			Columbellidae	<i>Astyris rosacea</i> (Gould, 1840)				+
			Mangeliidae	<i>Curtitoma</i> sp.				+
				<i>Curtitoma trevelli</i> (Turton, 1834)				+
				Mangeliidae g. sp.		+	+	+
				<i>Oenopota elegans</i> (Møller, 1842)				+
				<i>Propebela</i> sp.				+
			Muricidae	<i>Boreotrophon clathratus</i> (L., 1767)		+		
				<i>Boreotrophon</i> sp.		+		
			Raphitomidae	<i>Nepotilla amoena</i> (G.O. Sars, 1878)				+
				<i>Thesbia nana</i> (Lovén, 1846)				+
		Nudibranchia		Nudibranchia g. sp.		+		+
		Trochida	Margaritidae	<i>Margarites costalis</i> (Gould, 1841)			+	
				<i>Margarites helycinus</i> (Phipps, 1774)				+
				<i>Margarites olivaceus</i> (Brown, 1827)				+

Тип	Класс	Отряд	Семейство	Таксон	Период			
					I	II	III	IV
			Skeneidae	<i>Skeneia</i> sp.				+
				<i>Skeneia trochoides</i> (Friele, 1876)				+
			Solariellidae	<i>Solariella obscura</i> (Couthouy, 1838)				+
				<i>Solariella varicosa</i> (Mighels & Adams, 1842)				+
			Trochidae	<i>Gibbula tumida</i> (Montagu, 1803)				+
				Trochidae g. sp.				+
				Caudofoveata g. sp.				+
		Chaetodermatida	Chaetodermatidae	<i>Chaetoderma nitidulum</i> Lovén, 1844	+	+		
				<i>Chaetoderma productum</i> Wirén, 1892	+			
				<i>Chaetoderma</i> sp.	+	+		+
				<i>Crystallophrisson nitens</i> Möbius, 1875				+
	Polyplacophora	Lepidopleurida	Leptochitonidae	<i>Leptochiton arcticus</i> (G.O. Sars, 1878)		+		
	Bivalvia			Bivalvia g. sp.				+
			Cuspidariidae	<i>Cuspidaria arctica</i> (M. Sars, 1859)	+	+	+	+
				<i>Cuspidaria glacialis</i> (G.O. Sars, 1878)				+
				<i>Cuspidaria lamellosa</i> (G.O. Sars, 1878)				+
				<i>Cuspidaria obesa</i> (Lovén, 1846)				+
				<i>Cuspidaria</i> sp.	+	+		+
				<i>Cuspidaria subtorta</i> (G.O. Sars, 1878)				+
			Lyonsiellidae	<i>Lyonsiella abyssicola</i> (G.O. Sars, 1872)		+		+
				<i>Lyonsiella subquadrata</i> (Jeffreys, 1882)				+
			Lyonsiidae	<i>Lyonsia arenosa</i> (Møller, 1842)				+
			Thraciidae	<i>Thracia myopsis</i> Møller, 1842		+		+
				<i>Thracia septentrionalis</i> Jeffreys, 1872				+
				<i>Thracia</i> sp.				+
		Adapedonta	Hiatellidae	<i>Hiatella arctica</i> (Linnaeus, 1767)				+
				<i>Hiatella</i> sp.				+
				<i>Panomya norvegica</i> (Spengler, 1793)		+		+
		Arcida	Arcidae	<i>Bathyarca glacialis</i> (Gray, 1824)	+	+	+	+
				<i>Bathyarca pectunculoides</i> (Scacchi, 1835)	+	+		+
			Limopsidae	<i>Paracratis minuta</i> (Philippi, 1836)		+		
		Cardiida	Cardiidae	<i>Acanthocardia echinata</i> (Linnaeus, 1758)				+
				Cardiidae g. sp.		+		
				<i>Ciliatocardium ciliatum</i> (Fabricius, 1780)				+
				<i>Goethemia elegantula</i> (Møller, 1842)			+	

Тип	Класс	Отряд	Семейство	Таксон	Период			
					I	II	III	IV
				<i>Parvicardium minimum</i> (Philippi, 1836)				+
				<i>Parvicardium pinnulatum</i> (Conrad, 1831)				+
			Tellinidae	<i>Macoma calcarea</i> (Gmelin, 1791)				+
		Carditida	Astartidae	<i>Astarte crenata</i> (Gray, 1824)	+	+	+	+
				<i>Astarte</i> sp.				+
				<i>Astarte subaequilatera</i> G. B. Sowerby II, 1854	+			
		Lucinida	Thyasiridae	<i>Axinopsida orbiculata</i> (G.O. Sars, 1878)	+	+		
				<i>Mendicula ferruginosa</i> (Forbes, 1844)		+	+	+
				<i>Thyasira equalis</i> (Verrill & Bush, 1898)	+	+	+	+
				<i>Thyasira gouldi</i> (Philippi, 1845)			+	+
				<i>Thyasira</i> sp.		+	+	+
				Thyasiridae g. sp.				+
		Mytilida	Modiolidae	<i>Modiolula phaseolina</i> (Philippi, 1844)				+
				<i>Modiolus modiolus</i> (Linnaeus, 1758)		+		+
			Mytilidae	<i>Crenella decussata</i> (Montagu, 1808)	+	+	+	+
				<i>Dacrydium</i> sp.				+
				<i>Dacrydium vitreum</i> (Møller, 1842)	+	+		+
				<i>Musculus niger</i> (J.E. Gray, 1824)				+
		Nuculanida	Nuculanidae	<i>Musculus</i> sp.				+
				<i>Nuculana pernula</i> (O.F. Müller, 1779)	+			+
			Yoldiidae	<i>Portlandia</i> sp.	+			
				<i>Yoldia hyperborea</i> (Gould, 1841)			+	
				<i>Yoldiella frigida</i> (Torell, 1859)	+	+		
				<i>Yoldiella intermedia</i> (M. Sars, 1865)	+	+	+	+
				<i>Yoldiella lenticula</i> (Møller, 1842)	+	+	+	+
				<i>Yoldiella lucida</i> (Lovén, 1846)	+	+	+	+
				<i>Yoldiella nana</i> (M. Sars, 1865)	+	+		+
				<i>Yoldiella propinqua</i> (Leche, 1878)				+
				<i>Yoldiella solidula</i> Warén, 1989				+
				<i>Yoldiella</i> sp.			+	+
		Nuculida	Nuculidae	<i>Ennucula corticata</i> (Møller, 1842)	+			+
				<i>Ennucula tenuis</i> (Montagu, 1808)	+		+	+
		Pectinida	Anomiidae	<i>Heteranomia aculeata</i> (Müller, 1776)				+
				<i>Heteranomia squamula</i> (Linnaeus, 1758)	+	+		+
			Pectinidae	<i>Chlamys islandica</i> (O.F. Müller, 1776)				+

Тип	Класс	Отряд	Семейство	Таксон	Период			
					I	II	III	IV
	Scaphopoda		Propeamussiidae	<i>Karnekampia sulcata</i> (O.F. Müller, 1776)				+
				<i>Palliolium tigrinum</i> (O.F. Müller, 1776)				+
				Pectinidae g. sp.				+
				<i>Cyclopecten hoskynsi</i> (Forbes, 1844)		+		+
				<i>Similipecten greenlandicus</i> (G. B. Sowerby II, 1842)	+	+		+
				Scaphopoda g. sp.				+
		Dentaliida	Dentaliidae	<i>Antalis entalis</i> L., 1758		+	+	+
				<i>Antalis occidentalis</i> (Stimpson, 1851)		+		
				<i>Antalis</i> sp.			+	
		Gadilida	Gadilidae	<i>Cadulus subfusiformis</i> (M. Sars, 1865)				+
				<i>Siphonodentalium lobatum</i> (G. B. Sowerby II, 1860)	+	+	+	+
				<i>Siphonodentalium</i> sp.	+	+		
Brachiopoda	Craniata	Craniida	Craniidae	<i>Novocrania anomala</i> (Müller, 1776)				+
	Rhynchonellata	Rhynchonellida	Hemithirididae	<i>Hemithiris psittacea</i> (Gmelin, 1790)		+		
		Terebratulida	Cancellothyrididae	<i>Terebratulina retusa</i> (Linneus, 1758)	+	+	+	+
				<i>Terebratulina</i> sp.	+	+		
			Zeilleriidae	<i>Macandrevia cranium</i> (O. F. Müller, 1776)		+		
Bryozoa	Gymnolaemata	Cheilostomatida		Bryozoa g. sp.	+	+	+	+
				Flustrina g. sp.				+
			Bitectiporidae	<i>Hippomonavella borealis</i> (Waters, 1900)				+
				<i>Hippoporina reticulatopunctata</i> (Hincks, 1877)				+
				<i>Schizomavella auriculata</i> (Hassal, 1842)				+
				<i>Schizomavella porifera</i> (Smitt, 1868)				+
			Bryocryptellidae	<i>Cystisella saccata</i> (Busk, 1856)				+
				<i>Porella aperta</i> Boeck, 1862				+
				<i>Porella compressa</i> (J. Sowerby, 1805)				+
				<i>Porella</i> sp.		+		
				<i>Smittina peristomata</i> (Nordgaard, 1905)				+
			Bugulidae	<i>Bugula</i> sp.		+		
				<i>Bugulina tricuspis</i> (Kluge, 1955)				+
				<i>Corynoporella tenuis</i> Hincks, 1888				+
				<i>Crisularia harmsworthi</i> (Waters, 1900)				+
				<i>Dendrobeania decorata</i> (Verrill, 1879)				+
				<i>Dendrobeania frigida</i> (Waters, 1900)				+
				<i>Dendrobeania murrayana</i> (Bean in Johnston, 1847)		+		

Тип	Класс	Отряд	Семейство	Таксон	Период			
					I	II	III	IV
				<i>Dendrobeania pseudomurrayana</i> Kluge, 1955				+
				<i>Dendrobeania quadridentata</i> (Lovén, 1834)				+
				<i>Kinetoskias arborescens</i> Danielssen, 1868				+
			Calloporidae	<i>Callopora craticula</i> (Alder, 1856)				+
				<i>Callopora lineata</i> (L., 1767)				+
				<i>Callopora sedovi</i> Kluge, 1962				+
				<i>Callopora</i> sp.				+
				<i>Callopora weslawski</i> Kuklinski & Taylor, 2006				+
				<i>Copidozoum smitti</i> (Kluge, 1946)				+
				<i>Tegella armiferoides</i> Kluge, 1955				+
				<i>Tegella</i> sp.				+
			Candidae	<i>Aquiloniella scabra</i> (Van Beneden, 1848)				+
				<i>Caberea ellisii</i> (Fleming, 1814)				+
				<i>Scrupocellaria elongata</i> (Smitt, 1868)				+
				<i>Scrupocellaria minor</i> Kluge, 1915				+
				<i>Scrupocellaria</i> sp.				+
				<i>Tricellaria gracilis</i> (Van Beneden, 1848)				+
				<i>Tricellaria</i> sp.				+
				<i>Tricellaria ternata</i> (Ellis & Solander, 1786)				+
			Celleporidae	<i>Cellepora</i> sp.		+		+
				<i>Turbicellepora canaliculata</i> (Busk, 1881)				+
			Cheiloporinidae	<i>Cheilopora inermis</i> (Busk, 1880)				+
				<i>Cheilopora sincera</i> (Smitt, 1867)				+
			Cribrilinidae	<i>Cribrilina spitzbergensis</i> Norman, 1903				+
				<i>Cribrilina watersi</i> Andersson, 1902				+
			Cryptosulidae	<i>Harmeria scutulata</i> (Busk, 1855)				+
			Escharellidae	<i>Escharella abyssicola</i> (Norman, 1869)				+
				<i>Escharella labiata</i> (Boeck in Smitt, 1868)				+
				<i>Escharella levinseni</i> Hayward, 1994				+
				<i>Escharella ventricosa</i> (Hassall, 1842)				+
			Eucrateidae	<i>Eucratea loricata</i> (Linnaeus, 1758)				+
			Fatkullinidae	<i>Stomacrustula cruenta</i> (Busk, 1854)				+
				<i>Stomacrustula pachystega</i> (Kluge, 1929)				+
			Flustridae	<i>Sarsiflustra abyssicola</i> (G.O. Sars, 1872)				+
			Hippoporidridae	<i>Hippoporella hippopus</i> (Smitt, 1868)				+

Тип	Класс	Отряд	Семейство	Таксон	Период			
					I	II	III	IV
			Hippothoidae	<i>Hippothoa divaricata arctica</i> Kluge, 1906				+
			Myriaporidae	<i>Leieschara coarctata</i> (M. Sars, 1863)				+
				<i>Myriapora</i> sp.	+	+	+	
			Phidoloporidae	<i>Phidolopora elongata</i> (Smitt, 1868)		+		
				<i>Reteporella grimaldii</i> (Jullien, 1903)				+
				<i>Reteporella</i> sp.		+		+
				<i>Schizotheca fissa</i> (Busk, 1856)				+
			Romancheinidae	<i>Arctonula arctica</i> (M. Sars, 1851)				+
				<i>Ragionula rosacea</i> (Busk, 1856)				+
				<i>Temachia microstoma</i> (Norman, 1864)				+
			Schizoporellidae	<i>Schizoporella stylifera</i> (Levinsen, 1887)				+
			Smittinidae	<i>Parasmittina jeffreysi</i> (Norman, 1876)	+			+
				<i>Parasmittina trispinosa</i> (Johnston, 1838)				+
				<i>Pseudoflustra hincksi</i> Kluge, 1915				+
				<i>Pseudoflustra solida</i> (Stimpson, 1854)		+		+
				<i>Pseudoflustra</i> sp.	+	+		
				<i>Raymondcia majuscula</i> (Smitt, 1867)				+
				<i>Smittina bella</i> (Busk, 1860)				+
				<i>Smittina minuscula</i> (Smitt, 1868)				+
				<i>Smittina mucronata</i> Smitt, 1868				+
				<i>Smittina rigida</i> Lorenz, 1886				+
				<i>Smittina</i> sp.	+	+		
			Tessaradomidae	<i>Tessaradoma boreale</i> (Busk, 1860)				+
			Umbonulidae	<i>Posterula sarsii</i> (Smitt, 1868)				+
				<i>Rhamphostomella bilaminata</i> (Hincks, 1877)				+
				<i>Rhamphostomella hincksi</i> Nordgaard, 1906				+
				<i>Rhamphostomella radiatula</i> (Hincks, 1877)				+
				<i>Rhamphostomella scabra</i> (O. Fabricius, 1780)				+
		Ctenostomatida	Alcyonidiidae	<i>Alcyonidium disciforme</i> Smitt, 1872		+		+
				<i>Alcyonidium erectum</i> Silén, 1942				+
				<i>Alcyonidium gelatinosum</i> (L., 1767)				+
				<i>Alcyonidium radicellatum</i> Kluge, 1946				+
				<i>Alcyonidium</i> sp.				+
	Stenolaemata	Cyclostomatida		<i>Idmoneoides arctoflabellaris</i> (Kluge, 1946)				+
			Annectocymidae	<i>Annectocyma major</i> (Johnston, 1847)				+

Тип	Класс	Отряд	Семейство	Таксон	Период			
					I	II	III	IV
			Crisiidae	<i>Crisia eburneodenticulata</i> Smitt ms in Busk, 1875				+
				<i>Crisia</i> sp.	+	+		+
				<i>Crisiella</i> sp.				+
				<i>Filicrisia smitti</i> (Kluge, 1946)				+
			Entalophoridae	<i>Entalophora clavata</i> (Busk, 1859)				+
			Horneridae	<i>Hornera lichenoides</i> (Linnaeus, 1758)		+	+	+
				<i>Hornera</i> sp.		+		
			Idmoneidae	<i>Idmonea</i> sp.	+	+		
			Lichenoporidae	<i>Disporella hispida</i> (Fleming, 1828)				+
				<i>Patinella multacentra</i> (Kluge, 1955)				+
				<i>Patinella</i> sp.				+
				<i>Patinella verrucaria</i> (Linnaeus, 1758)				+
			Oncousoeciidae	<i>Oncousoecia diastoporides</i> (Norman, 1869)				+
			Plagioeciidae	<i>Diplosolen obelium</i> (Johnston, 1838)				+
			Stomatoporidae	<i>Stomatopora</i> sp.		+		
			Tubuliporidae	<i>Exidmonea atlantica</i> (Forbes in Johnston, 1847)		+		+
				<i>Idmidronea</i> sp.		+		
				<i>Pleuronea fenestrata</i> (Busk, 1859)				+
				<i>Tubulipora flabellaris</i> (O. Fabricius, 1780)				+
				<i>Tubulipora murmanica</i> Kluge, 1955				+
				<i>Tubulipora soluta</i> Kluge, 1946				+
				<i>Tubulipora</i> sp.				+
				<i>Tubulipora ventricosa</i> Busk, 1855				+
Echinodermata	Asteroidea			Asteroidea g. sp.	+			+
		Forcipulatida	Astериidae	<i>Asterias</i> sp.	+			
				<i>Icasterias panopla</i> (Stuxberg, 1879)	+			
		Paxillosida	Astropectinidae	<i>Leptychaster arcticus</i> (M. Sars, 1851)		+		
			Benthopectinidae	<i>Pontaster tenuispinus</i> (Düben & Koren, 1846)	+			
			Ctenodiscidae	<i>Ctenodiscus crispatus</i> (Retzius, 1805)	+	+	+	+
		Velatida	Pterasteridae	<i>Pteraster militaris</i> (O.F. Müller, 1776)		+		
	Echinoidea	Camarodonta	Strongylocentrotidae	<i>Strongylocentrotus pallidus</i> (Sars G.O., 1872)				+
		Spatangoida	Schizasteridae	<i>Brisaster fragilis</i> (Düben & Koren, 1844)		+		+
	Holothuroidea	Apodida	Myriotrochidae	<i>Myriotrochus</i> cf. <i>eurycyclus</i> Heding, 1935				+
				<i>Myriotrochus rinkii</i> Steenstrup, 1851				+
			Synaptidae	<i>Labidoplax buskii</i> (McIntosh, 1866)				+

Тип	Класс	Отряд	Семейство	Таксон	Период			
					I	II	III	IV
		Dendrochirotida	Cucumariidae	<i>Thyonidium</i> sp.		+		
			Psolidae	<i>Psolus phantapus</i> Strussenfelt, 1765	+			+
		Molpadida	Eupyrgidae	<i>Eupyrgus scaber</i> Lütken, 1857	+			+
				<i>Eupyrgus</i> sp.	+			
			Molpadiidae	<i>Molpadia borealis</i> Sars M, 1859	+	+	+	+
				<i>Molpadia</i> sp.	+	+		
	Ophiuroidea			Ophiuroidea g. sp.			+	+
		Amphilepidida	Amphiuridae	<i>Amphipholis</i> sp.				+
				<i>Amphipholis squamata</i> (Delle Chiaje, 1828)				+
				<i>Amphiura borealis</i> (G.O. Sars, 1871)		+		
				<i>Amphiura sundevalli</i> (Müller & Troschel, 1842)		+		+
			Ophiopholidae	<i>Ophiopholis aculeata</i> (L., 1767)	+	+		+
		Ophiacanthida	Ophiacanthidae	<i>Ophiacantha bidentata</i> (Bruzellius, 1805)	+	+	+	+
		Ophiurida	Ophiuridae	<i>Ophiocten sericeum</i> (Forbes, 1852)	+	+	+	+
				<i>Ophiura albida</i> Forbes, 1841	+			
				<i>Ophiura robusta</i> (Ayers, 1854)		+		+
				<i>Ophiura sarsii</i> Lütken, 1855	+	+	+	+
				<i>Ophiura</i> sp.		+		+
				Ophiuridae g. sp.				+
Chordata	Ascidiacea			Ascidiacea g. sp.				+
		Aplousobranchia	Polyclinidae	<i>Aplidium pallidum</i> (Verrill, 1871)		+		
		Phlebobranchia	Ascidiidae	<i>Ascidia</i> sp.	+			
		Stolidobranchia	Styelidae	<i>Cnemidocarpa rhizopus</i> (Redikorzev, 1907)				+

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	5
1. Физико-географическая характеристика	7
2. Гидрохимические исследования.....	19
2.1. Материалы и методы	20
2.2. Результаты и обсуждение.....	24
2.3. Выводы.....	72
3. Исследования зоопланктона.....	74
3.1. Материалы и методы	75
3.2. Результаты и обсуждение.....	76
3.3. Выводы.....	93
4. Бентосные исследования	95
4.1. Материалы и методы	95
4.2. Результаты и обсуждение.....	100
4.3. Выводы.....	108
5. Экотоксикологические исследования	109
5.1. Материалы и методы	110
5.2. Результаты и обсуждение.....	112
5.3. Выводы.....	138
Заключение	140
Список использованной литературы.....	142
Приложение А	157
Приложение Б	172
Приложение В.....	178

**ГИДРОХИМИЧЕСКИЕ,
ГИДРОБИОЛОГИЧЕСКИЕ
И ЭКОТОКСИКОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ
НА РАЗРЕЗЕ «КОЛЬСКИЙ МЕРИДИАН»**

Редактор Е.Н. Кривошеева
Техническое редактирование Е.Н. Кривошеевой
Обложка О.С. Морозовой

Подписано в печать 23.07.2025 г.

Уч.-изд. л. 14,3.

Усл. печ. л. 11,8.

Формат 60x84/16.

Тираж 25 экз.

Заказ 10.

183038, Мурманск, ул. Академика Книповича, 6, Полярный филиал ФГБНУ «ВНИРО»
«ПИНРО» им. Н.М. Книповича