

УДК 551.464.32

Т. Г. Ишкулова, Д. Г. Ишкулов

Гидрохимические исследования в Печорском море (июль 2002 года)

T. G. Ishkulova, D. G. Ishkulov

Hydrochemical researches in the Pechora Sea, July 2002

Аннотация. В статье рассматривается распределение гидрохимических параметров, наблюдавшихся в Печорском море в июле 2002 года. Используются данные, собранные в ходе морской экспедиции на борту НИС "Дальние Зеленцы". Представлены качественные и количественные распределения основных гидрохимических параметров: кислорода, кремния и биогенов (PO_4^{3-} , общий и органический P, NO_2^- , NO_3^- , общий и органический N).

Abstract. The distribution of hydrochemical parameters observed in the Pechora Sea in July 2002 has been considered in the paper. The data collected during the sea expedition on board R/V "Dalnie Zelensy" have been used in this study. Qualitative and quantitative distributions of the main hydrochemical parameters – oxygen, silicates and nutrients (PO_4^{3-} , total and organic P, NO_2^- , NO_3^- , total and organic N) – have been presented.

Ключевые слова: гидрохимия, Печорское море, биоген.

Key words: hydrochemistry, the Pechora Sea, nutrient.

Введение

Юго-восточная часть Баренцева моря, ограниченная островами Колгуев и Вайгач, обладает уникальным набором океанографических, гидробиологических и прочих параметров. Именно поэтому она выделяется как отдельный географический регион – Печорское море [1]. Основные особенности данного района определяются его мелководностью и значительным влиянием материкового стока. Таким образом, в Печорском районе Баренцева моря большую часть года формируется прибрежная водная масса, в которой основную роль играет материковый сток (в основном реки Печоры). В весенне-летний период в придонном слое располагаются баренцевоморские воды [2].

В связи с относительной труднодоступностью данного района для регулярных исследований работы здесь проводились только эпизодически. Ситуация изменилась в конце прошлого века благодаря интенсификации работ по поиску и добыче углеводородного сырья на шельфе арктических морей России и строительством здесь нефтеперегрузочных терминалов. За последние десятилетия получено значительное количество данных об особенностях функционирования экосистемы региона [3; 4]. Однако большинство работ проводилось по заказу нефтяных компаний и в связи со спецификой договорных работ (а именно с соглашением о конфиденциальности) не могло быть опубликовано до истечения определенного промежутка времени. В настоящее время появилась возможность опубликовать ряд научных материалов об этой уникальной акватории. В работе рассматриваются результаты гидрохимических исследований, проведенных в июле 2002 г. на НИС "Дальние Зеленцы" в Печорском море.

Материалы и методы

Сбор материала проводился в ходе экспедиции в юго-восточной прибрежной части Печорского моря в июле 2002 г. Расположение и нумерация станций отбора проб представлена на рис. 1–8. Глубина в районе работ не превышала 11 м. Для гидрохимических исследований было отобрано 34 пробы на 17 станциях с двух горизонтов (поверхность, дно). Отбор проб производился батометрами Нискина. Гидрохимический анализ производился непосредственно после пробоотбора, без дополнительной фиксации и хранения материала.

Определение концентраций растворенного в воде кислорода (O_2) производили стандартным методом по Винклеру. Фосфаты (PO_4^{3-}) определяли по методу Морфи – Райли, кремний (Si) – методом Королева, нитриты (NO_2^-) и нитраты (NO_3^-) – методом Бендшнайдера и Робинсона. Нитраты предварительно восстанавливали до нитритов в колонке с омедненным кадмием при добавке ЭДТА и выравнивании pH согласно прописи. Общий и органический азот ($\text{N}_{\text{общ}}$ и $\text{N}_{\text{орг}}$), а также общий и органический фосфор ($\text{P}_{\text{общ}}$ и $\text{P}_{\text{орг}}$) определяли методом "мокрого сжигания" по Вольдерраму, в водяной бане под давлением 1.5 атм в щелочно-кислой среде. Измерение оптической плотности биогенных элементов производилось на фотоколориметре КФК-2МП по стандартным методикам [5; 6].

В таблице представлены данные статистической обработки гидрохимических параметров.

Таблица

Статистические характеристики гидрохимических параметров вод Печорского моря, экспедиция НИС "Дальние Зеленцы", лето 2002 г.

Параметр	Поверхность				Дно			
	средн.	±	max	min	средн.	±	max	min
O ₂ (мл/л)	7.5	0.1	7.7	7.5	7.4	0.1	7.7	7.0
O ₂ (%)	96	1	99	94	90	3	94	84
PO ₄ ³⁻ (мкг/л)	22.4	8.0	36.1	8.7	23.7	9.6	51.3	5.7
P _{общ} (мкг/л)	35.2	9.2	70.3	15.7	34.0	8.5	48.6	12.2
P _{орг} (мкг/л)	13.6	11.3	55.8	0	10.5	6.3	27.2	0
Si (мкг/л)	185	27	273	107	174	35	278	101
NO ₂ (мкг/л)	0.3	0.2	0.9	0	0.3	0.2	1.3	0
NO ₃ (мкг/л)	14.2	3.6	24.6	3.0	20.5	9.6	54.9	6.3
N _{общ} (мкг/л)	480.1	48.9	595.2	370.2	471.6	56.5	700.2	379.2
N _{орг} (мкг/л)	465.9	49.3	581.1	356.4	450.6	55.4	668.4	360.3

Результаты и обсуждение

Для рассматриваемой части Печорского моря характерна пониженная соленость морских вод, в основном обусловленная стоком р. Печоры и водообменом с Белым морем [1]. По гидрологическому состоянию воды исследованного района на момент изучения были определены как трансформированные с более теплым, распресненным поверхностным слоем (max +4.51 °С, min 25.176 ‰) и более соленым и холодным придонным (min -0.58 °С, max 30.250 ‰) (рис. 1–2) [7].

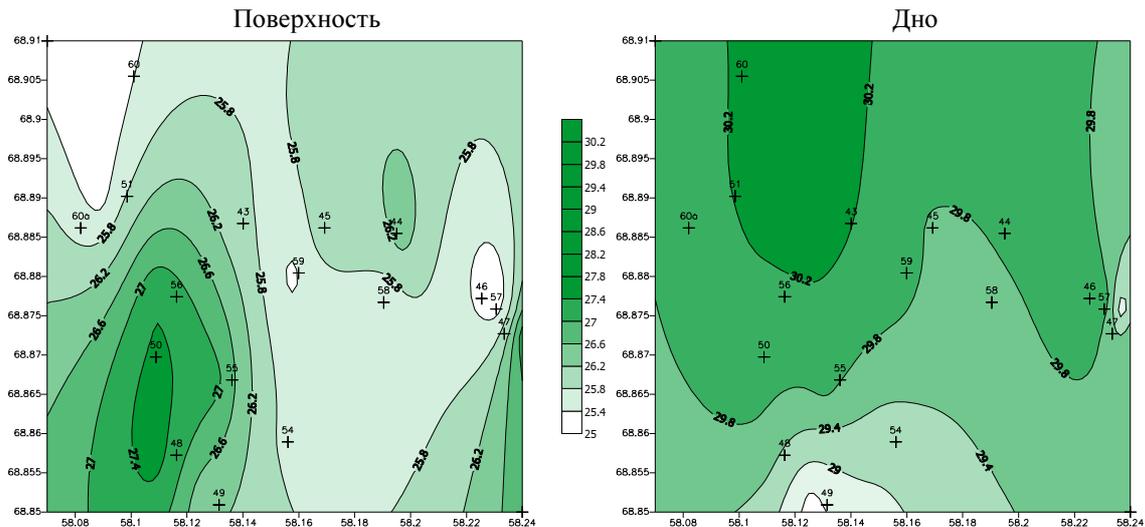


Рис. 1. Распределение солености (‰) (по осям – координаты, + – номера станций)

Кислород. По литературным данным в поверхностном слое прибрежной части Печорского моря очень высокое содержание взвеси, поэтому количество кислорода в этих природных водах самое низкое по Баренцеву морю из-за высокого расхода на окисление органических и минеральных взвесей, вносимых в море речными водами [2; 8].

Наибольшее содержание и насыщенность растворенного кислорода в поверхностном горизонте отмечены в распресненных (25.000–25.400 ‰) водных массах на станциях 46, 54, 55, 57 (рис. 3–4).

Максимальная насыщенность водных масс кислородом (99 %) зафиксирована в поверхностном слое на станции 54. В придонном слое находятся более высокие, по сравнению с поверхностью, величины растворенного кислорода (в среднем около 7.75 мл/л и 94 % насыщения). Такое вертикальное распределение, по литературным данным, характерно для северо-восточной мелководной части Печорского моря [3; 4; 8] и объясняется в основном активностью биоты. Однако в нашем случае не наблюдается заметного запаса питательных веществ, вероятно, из-за постоянного поступления биогенов и взвеси с береговым стоком, которое маскирует невысокую вегетативную деятельность фитопланктона.

Картина распределения насыщенности кислородом в придонном горизонте почти во всем совпадает с таковой для его концентрации. Поверхностные воды несколько отличаются. Например, в центре района располагаются самые теплые (от 4 до 4,4 °С) водные массы с самыми меньшими концентрациями кислорода (около 7,40 мл/л), но довольно насыщенные (96–97 %), что связано, скорее всего, с уменьшением растворимости данного элемента при повышении температуры воды.

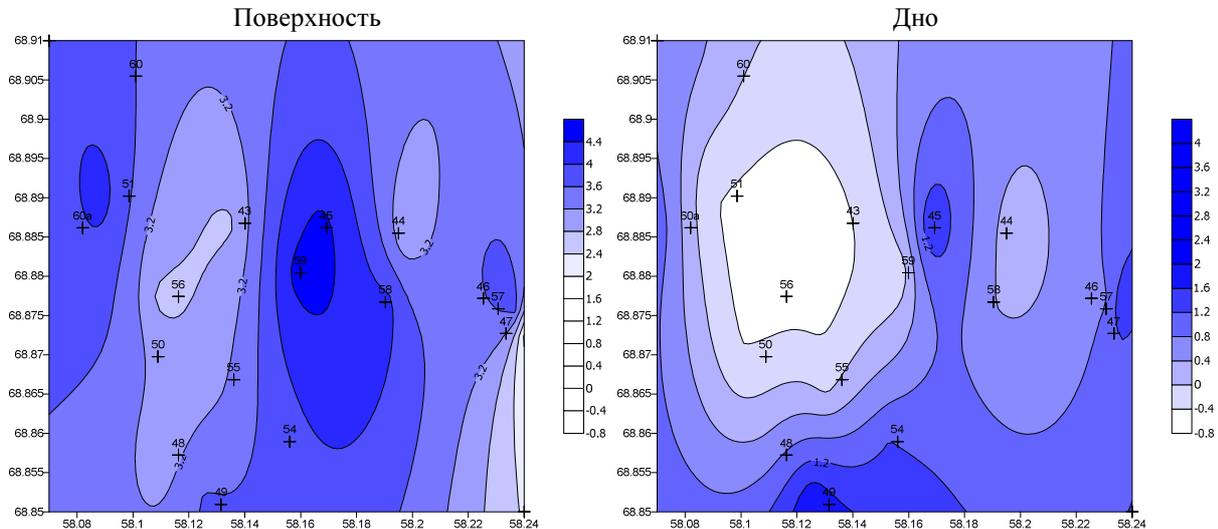


Рис. 2. Распределение температуры (°С) (по осям – координаты, + – номера станций)

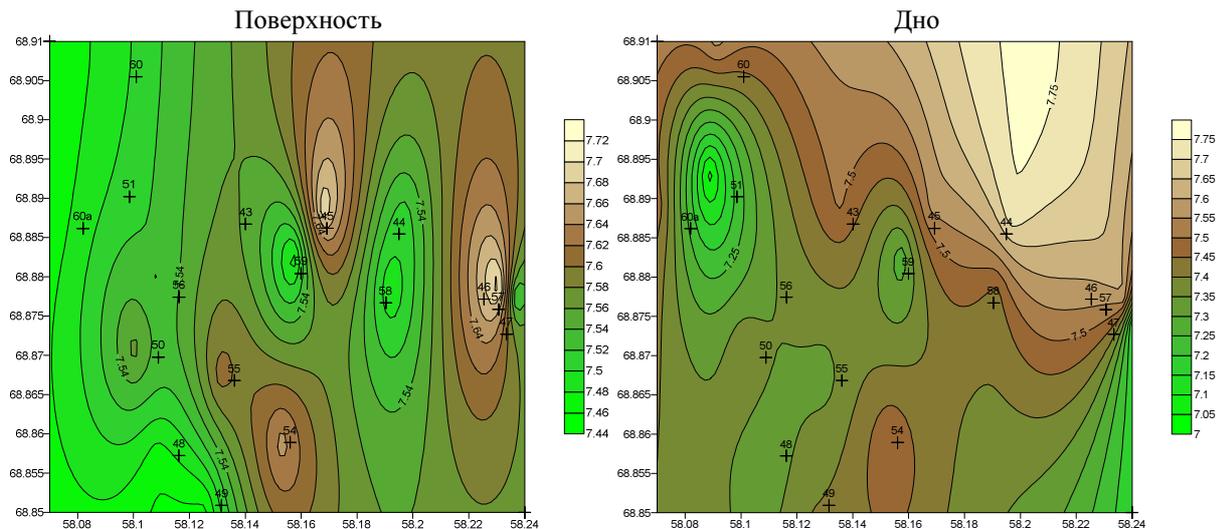


Рис. 3. Распределение кислорода (мл/л) (по осям – координаты, + – номера станций)

Кремний. В летний период воды Печорского моря в среднем содержат около 100 мкг/л кремния [4]. Основным источником кремния в прибрежных районах, как правило, является речной сток. Соответственно пространственное распределение данного элемента зачастую совпадает с распределением распресненных водных масс. Однако, как показывают данные литературы [8] и наши исследования, эта зависимость далеко не всегда носит столь однозначный характер. Так, максимальные значения концентрации кремния в поверхностном слое обнаруживаются на станциях 43 и 44 (до 270 мкг/л) (рис. 5), кроме того соленость на этих станциях более 26 ‰, температура – около 3,2 °С.

К тому же на этих станциях наблюдаются максимальные для района количества общего и органического фосфора и невысокие – нитритов (0–0,2 мкг/л) и органического азота (около 400 мкг/л). На станции 45 содержание кремния в поверхностном слое самое низкое (107 мкг/л) при максимальной температуре (4,4 °С) и невысокой солености. Такое пространственное распределение, скорее всего, связано с локальным развитием диатомовых фитопланктонных комплексов морского происхождения, которые являются основными поставщиками "биотического" кремния [4; 8]. Влияние биоты подтверждает также величина и насыщенность вод кислородом. Здесь же прослеживается и общая тенденция к увеличению концентраций кремния к глубинным горизонтам.

Что касается вертикального распределения кремния, то оно характеризуется значительной однородностью. Средние величины концентраций данного элемента для поверхности и дна различаются всего на 11 мкг/л.

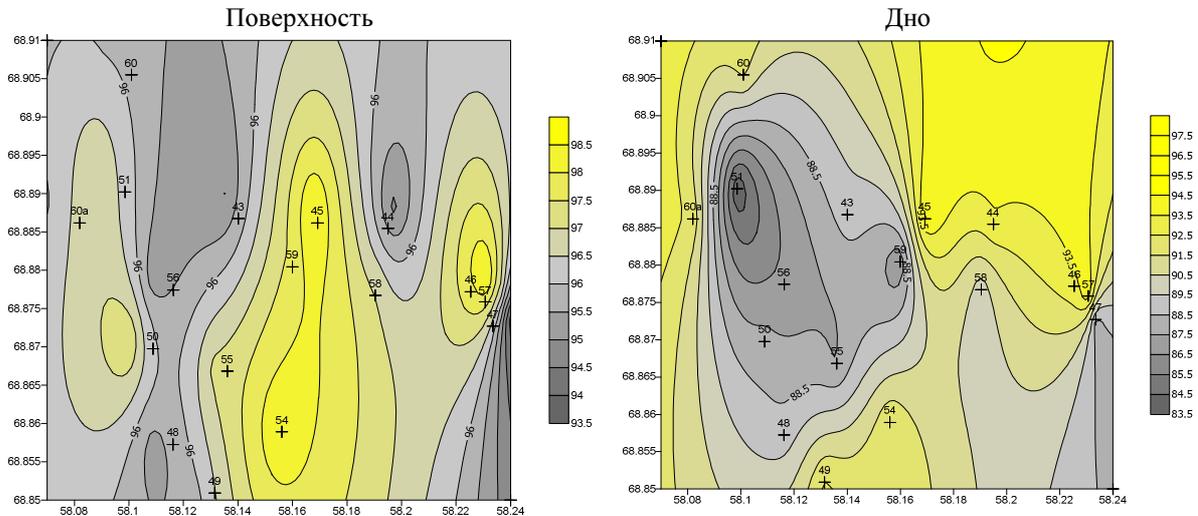


Рис. 4. Насыщенность кислородом (%) (см. подписи к рис. 1)

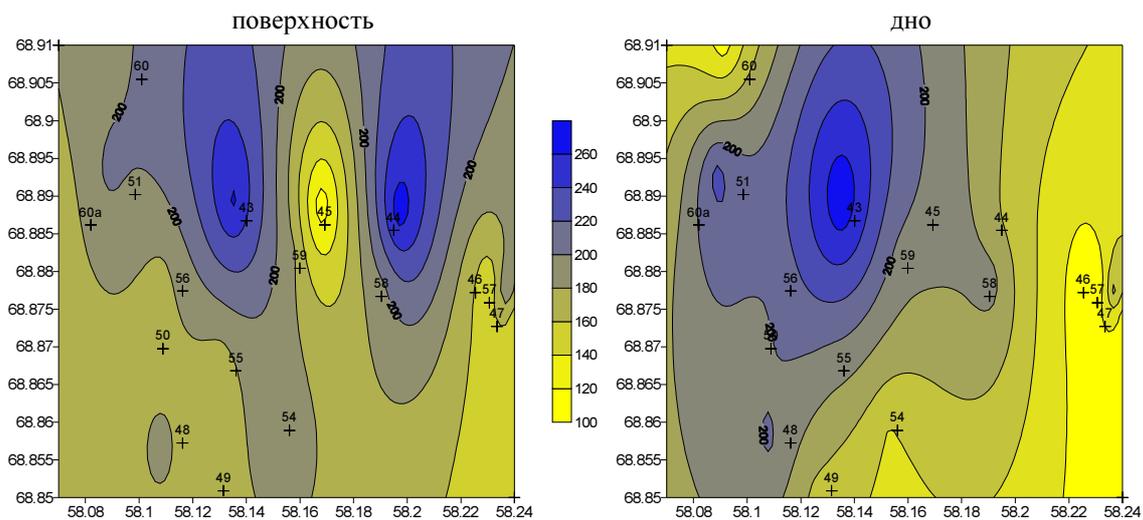


Рис. 5. Распределение кремния (мкг/л) (см. подписи к рис. 1)

Формы фосфора

Диапазон изменения концентрации минерального фосфора (рис. 6) в рассматриваемом районе довольно широк – 5–50 мкг/л, что соответствует литературным данным [4; 8].

Средняя концентрация фосфора в поверхностном горизонте 22 мкг/л, в придонном – несколько выше. По горизонтальному распределению минерального фосфора видна прямая зависимость от берегового стока. Именно в поверхностном слое выявлено увеличение концентрации этого показателя с севера на юг. В придонном горизонте выделяется повышенными концентрациями юго-западная область исследованной акватории. Максимальное количество фосфатов обнаружено на станциях 47, 48 и 49 в поверхностном слое (около 40.0 мкг/л). На последних двух станциях их содержание увеличивается ко дну в 1.2 раза. Для Печорского моря в летний период характерно увеличение концентрации фосфатов от поверхности ко дну [4; 8]. Также зафиксировано увеличение концентрации общего фосфора от поверхности ко дну на станциях, находящихся в областях его низких поверхностных концентраций (рис. 7). Это является следствием частичного выведения органического фосфора из фотического слоя в процессе осаждения взвеси [10].

Минеральные фосфаты поверхностного горизонта в среднем составляют 64 % от общего фосфора, средняя величина органического фосфора (13.6 мкг/л) – 38 % от суммы всех форм данного элемента. Количество органической и минеральной форм фосфора в процентном соотношении от общего фосфора в придонном горизонте 30.9 % и 69.7 % соответственно. То есть по вертикали доля фосфатов в общем

фосфоре увеличилась на почти 6 %, а органического фосфора – уменьшилась на 7 %, что является следствием большего влияния биотических факторов в поверхностных водных массах по сравнению с придонными.

Пространственное распределение общего и органического фосфора в водных массах исследованной акватории весьма сходно. Максимальные значения концентраций этих форм фосфора в поверхностном горизонте отмечены на станциях 43 и 44 (70.3 мкг/л общего фосфора и 55.8 мкг/л органического), а в придонном – на станции 45 (48.6 и 27.2 мкг/л соответственно). Минимальное количество общего фосфора (12.2 мкг/л) зафиксировано в придонном горизонте на станции 54. На станциях 45, 47, 58 содержание органического фосфора достигает нулевых величин в поверхностном водном слое. Низкие концентрации органического фосфора одновременно и в поверхностном, и в придонном горизонтах обнаружены в юго-восточной части района исследований, где зафиксированы также минимальные величины кремния и нитратов.

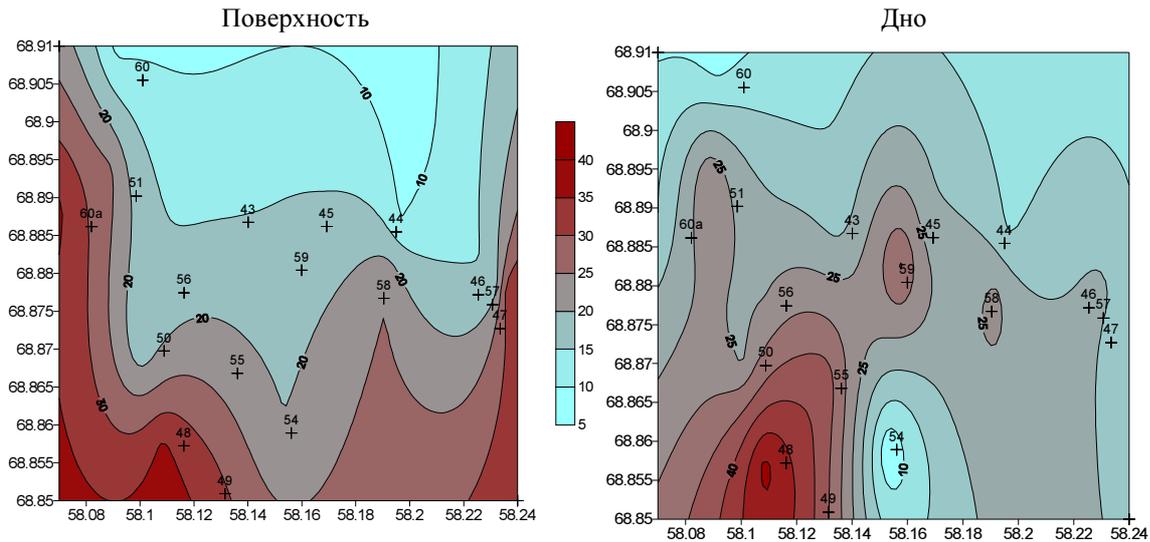


Рис. 6. Распределение фосфатов (мкг/л) (см. подписи к рис. 1)

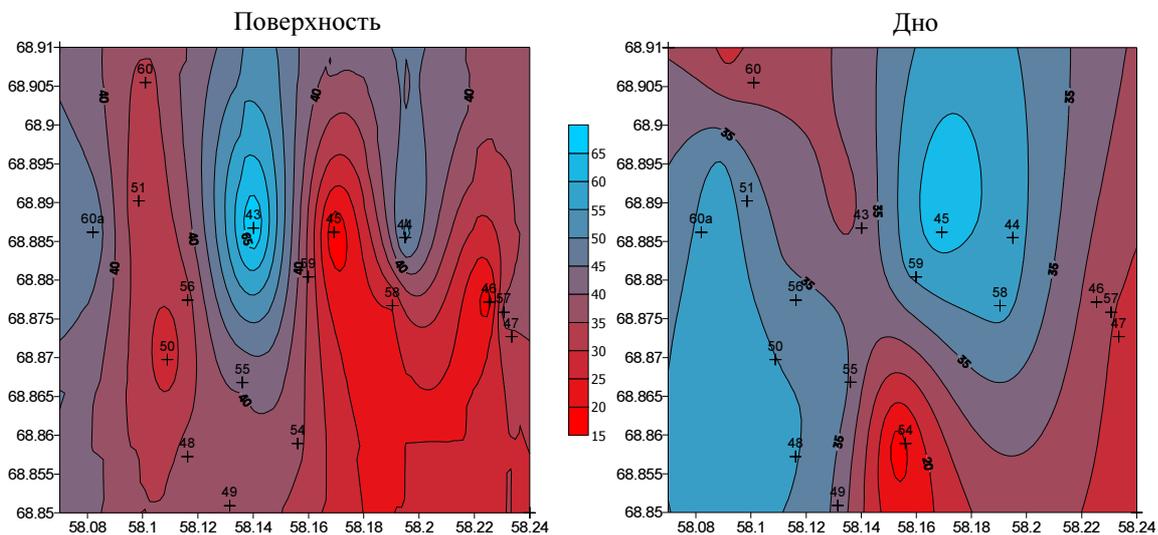


Рис. 7. Распределение общего фосфора (мкг/л) (см. подписи к рис. 1)

Формы азота

Вертикальное распределение нитритов в водной толще весьма однородно. Для исследованной акватории средняя его концентрация составляет 0.3 мкг/л (рис. 8). Максимальная величина зафиксирована у дна на станции 47 (1.3 мкг/л), в центре исследованного участка – 0 мкг/л на обоих горизонтах. Это довольно низкие показатели. По литературным данным, лето в этом районе характеризуется несколько большим содержанием данного биогенного вещества – 2.8–4.2 мкг/л [4; 8]. Скорее всего, это следствие влияния безнитритных водных масс, пришедших в данный район после ледотаяния Печорского моря [4]. Принимая во внимание количества нитритного, нитратного и органического азота, а также распределение

в водной толще нитритов, можно констатировать незначительность окислительных процессов органического вещества в районе исследований [8; 9].

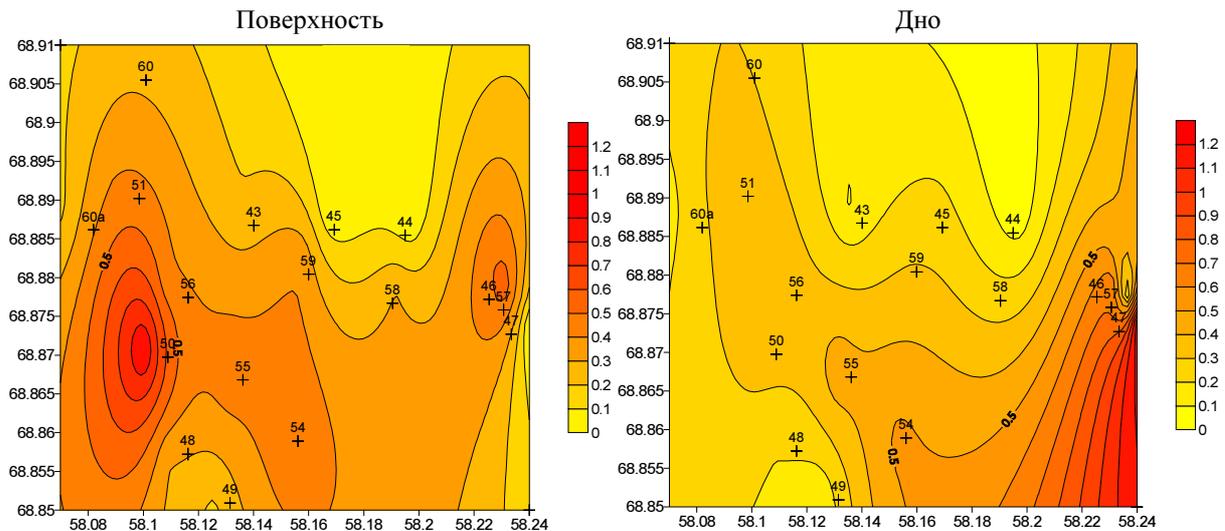


Рис. 8. Распределение нитритов (мкг/л) (см. подписи к рис. 1)

Для границы смешения речной и морской воды в районе характерны концентрации нитратного азота 20–40 мкг/л [8]. В наших исследованиях максимальное содержание этого вещества составляет 55 мкг/л в придонном слое на станции 48, а среднее – 14.2 и 20.5 мкг/л в верхнем и нижнем водных слоях соответственно. Горизонтальное распределение нитратов имеет тенденцию к уменьшению с запада на восток во всей водной толще (рис. 9).

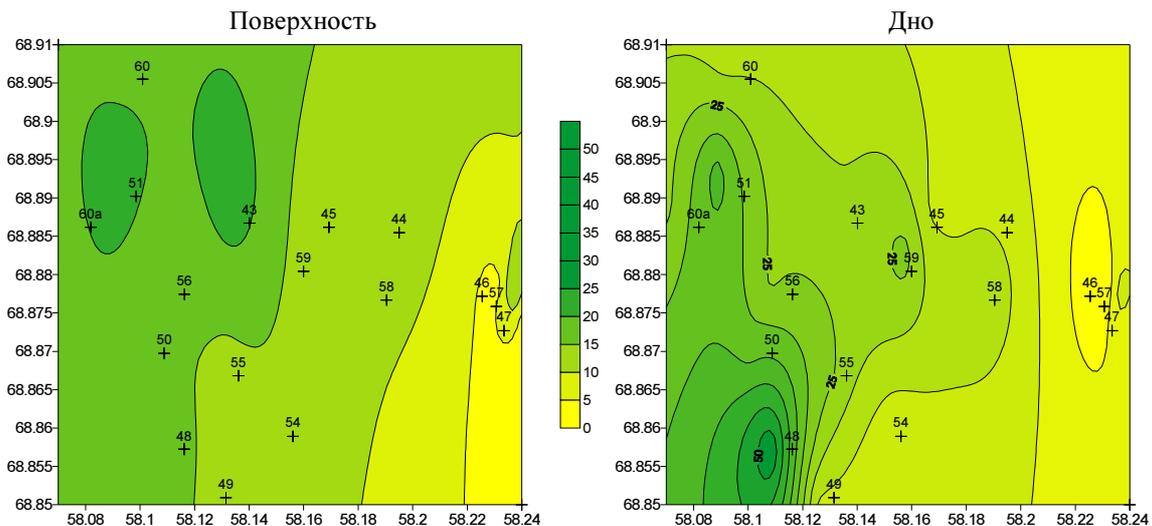


Рис. 9. Распределение нитратов (мкг/л) (см. подписи к рис. 1)

На станциях 46, 47, 57 содержание нитратного азота самое низкое на обоих горизонтах и достигает аналитического нуля. Вероятно, в этом месте наблюдается "выедание" нитратов фитопланктоном. Это подтверждает и большое количество общего и органического азота в придонном слое в районе этих станций (рис. 8), а также более высокие водородные показатели. Для всей исследованной акватории среднее количество органического азота в поверхностном водном слое – 465.9 мкг/л, что составляет 97.0 % от суммы всех форм азота. Для придонного горизонта эта величина равна 95.5 %, т. е. по вертикали изменение незначительно. Таким образом, на момент исследований в среднем минеральный и органический азот находятся в соотношении 1 : 32, что еще раз указывает на доминирование процессов синтеза органического вещества над процессами минерализации. Однако недостаточное количество минеральных форм азота может способствовать угнетению продукционных процессов [8].

Минимальные концентрации общего азота на исследованной акватории – около 374.5 мкг/л (рис. 10), максимальная величина зафиксирована в придонном горизонте на станции 50 (700.2 мкг/л). Картины распределения общего и органического азота для придонного горизонта почти совпадают, чего нельзя сказать

о поверхностном слое. Это происходит из-за большей подверженности поверхностных водных масс абиотическим и биотическим воздействиям.

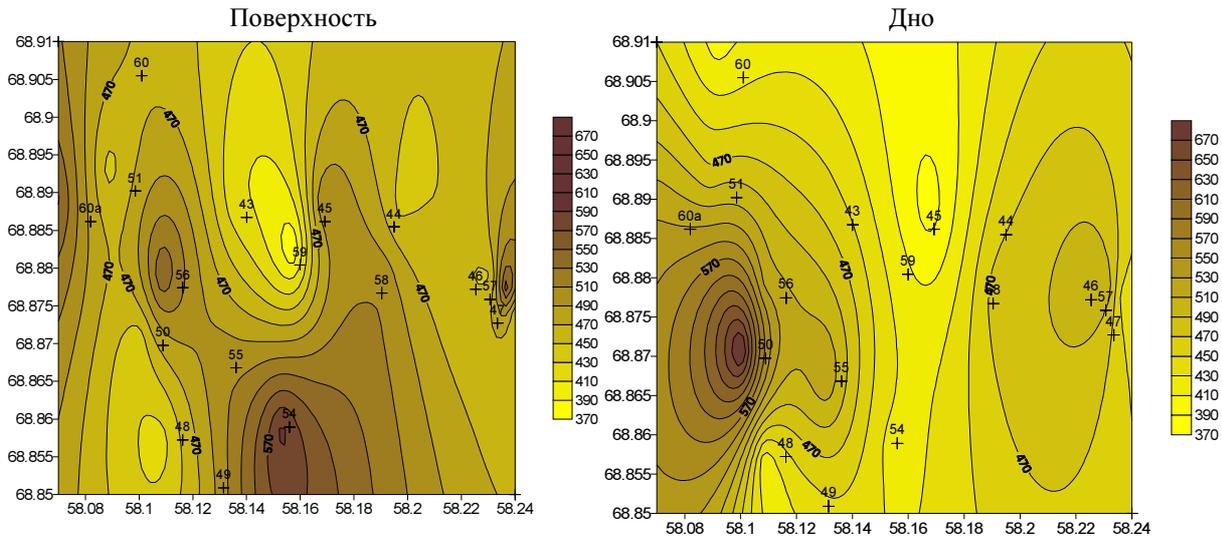


Рис. 10. Распределение общего азота (мкг/л) (см. подписи к рис. 1)

Заключение

Смешение водных масс, приливо-отливное течение и другие гидрологические явления, а также деятельность биоты, сложным образом отразились на распределении гидрохимических параметров на исследованной акватории. Важным фактором являются незначительные глубины района. Распределение гидрохимических параметров имеет заметно выраженные горизонтальные градиенты. По вертикали отмечается в основном однородное распределение биогенов, что может быть следствием перемешивания, характерного для прибрежья.

На наличие активности биоты указывают участки пониженного содержания биогенных элементов одновременно с повышением содержания кислорода (станции 46, 57), а неравномерность его содержания в водной толще объясняется зависимостью от распределения водных масс, глубины и деятельности фитопланктона. Однако невысокие величины растворенного кислорода для данного временного периода указывают на низкую активность продуцентов. В восточной части исследованной акватории определены нулевые величины минеральных форм азота, что может быть причиной лимитирования развития фитопланктона в локальном масштабе.

Соотношение форм азота в водной толще говорит о незначительности окислительных процессов органического вещества.

В придонном горизонте северо-восточной части исследованного района выделяется соленая и довольно холодная (около 30.000 ‰, 0,4–0,8 °С) водная масса, обогащенная кислородом (7,50–7,75 мл/л, около 94 % насыщения) с низкими величинами биогенов.

В юго-восточной части района исследований (станции 54 и 47) в придонном водном слое присутствует водная масса, выделяющаяся самыми низкими показателями всех форм фосфора, нитратов и кремния и самыми высокими – нитритов.

Библиографический список

1. Гидрометеорологические условия шельфовой зоны морей СССР. Т. VI. Баренцево море. Вып. 3. Мурманск, 1984. 263 с.
2. Биогеохимия органического вещества арктических морей / Е. А. Романкевич [и др.]. Отв. ред. И. С. Грамберг, Е. А. Романкевич. М. : Наука, 1982. 240 с.
3. Матишов Г. Г., Ильин Г. В., Матишов Д. Г. Летняя океанологическая ситуация в Печорском море (Материалы экспедиции, 67 рейс НИС "Дальние Зеленцы". Июль 1992 года) : препринт. Апатиты, 1993. 32 с.
4. Матишов Г. Г., Павлова Л. Г., Ильин Г. В. Гидрохимические и геохимические процессы в экосистеме Баренцева моря // Химические процессы в экосистемах северных морей. (Гидрохимия, геохимия, нефтяное загрязнение). Часть 1. Апатиты, 1997. С. 5–204.
5. Справочник гидрохимика: рыбное хозяйство. Под ред. В. В. Сапожникова. М. : Агропромиздат, 1991. 224 с.
6. Руководство по химическому анализу морских вод. Руководящий документ. Л. : Гидрометеиздат, 1993, 263 с.

7. Проведение комплексного экологического мониторинга при экспериментальной отработке рейдовой погрузки в Печорском море. Отчет ММБИ КНЦ РАН. Мурманск, 2002.
8. Гидрометеорология и гидрохимия морей СССР. Т. 1. Баренцево море. Вып. 2. Гидрохимические условия и океанологические основы формирования биологической продуктивности. СПб. : Гидрометеиздат, 1992. 181 с.
9. Алекин О. А. Химия океана. Л. : Гидрометеиздат, 1966. 247 с.
10. Романкевич Е. А., Ветров А. А. Цикл углерода в арктических морях России. М. : Наука, 2001. 302 с.

References

1. Gidrometeorologicheskie usloviya shelfovoy zony morey SSSR [Hydrometeorological conditions of the shelf zone of the seas of the USSR]. Т. VI. Barentsevo more. Вып. 3. Мурманск, 1984. 263 p.
2. Biogeochemiya organicheskogo veshchestva arkticheskikh morey [Biogeochemistry of organic substance of the Arctic seas] / E. A. Romankevich [i dr.]. Otv. red. I. S. Gramberg, E. A. Romankevich. M. : Nauka, 1982. 240 p.
3. Matishov G. G., Ilin G. V., Matishov D. G. Letnyaya okeanologicheskaya situatsiya v Pechorskom more [Oceanographic situation in the Pechora Sea in summer] (Materialy ekspeditsii, 67 reys NIS "Dalnie Zelentsy". Iyul 1992 goda) : preprint. Apatity, 1993. 32 p.
4. Matishov G. G., Pavlova L. G., Ilin G. V. Gidrohimiicheskie i geohimiicheskie protsessy v ekosisteme Barentseva morya [Hydrochemical and geochemical processes in the ecosystem of the Barents Sea] // Himicheskie protsessy v ekosistemah severnykh morey. (Gidrohimiya, geohimiya, neftyanoe zagryaznenie). Chast 1. Apatity, 1997. P. 5–204.
5. Spravochnik gidrohimiika: rybnoe hozyaystvo [Reference for hydrochemists: Fisheries]. Pod red. V. V. Sapozhnikova. M. : Agropromizdat, 1991. 224 p.
6. Rukovodstvo po himicheskomu analizu morskikh vod [Guidelines for chemical analysis of sea water]. Rukovodyaschiy dokument. L. : Gidrometeoizdat, 1993, 263 p.
7. Provedenie kompleksnogo ekologicheskogo monitoringa pri eksperimentalnoy otrabotke reydivoy pogruzki v Pechorskom more [Implementation of an integrated environmental monitoring at the experimental development raid loading in the Pechora Sea]. Otchet MMBI KNTs RAN. Мурманск, 2002.
8. Gidrometeorologiya i gidrohimiya morey SSSR [Hydrometeorology and hydrochemistry of seas of the USSR.]. Т. 1. Barentsevo more. Вып. 2. Gidrohimiicheskie usloviya i okeanologicheskie osnovy formirovaniya biologicheskoy produktivnosti. SPb. : Gidrometeoizdat, 1992. 181 p.
9. Alekin O. A. Himiya okeana [Ocean Chemistry]. L. : Gidrometeoizdat, 1966. 247 p.
10. Romankevich E. A., Vetrov A. A. Tsikl ugleroda v arkticheskikh moryah Rossii [Carbon cycle in the Arctic seas of Russia]. M. : Nauka, 2001. 302 p.

Сведения об авторах

Ишкурова Татьяна Геннадьевна – Мурманский морской биологический институт КНЦ РАН, науч. сотрудник; e-mail: ishkulova@mmbi.info

Ishkulova T. G. – Murmansk Marine Biological Institute KSC RAS, Researcher; e-mail: ishkulova@mmbi.info

Ишкулов Дмитрий Геннадиевич – Мурманский морской биологический институт КНЦ РАН, канд. биол. наук, заместитель директора; e-mail: ishkulov@mmbi.info

Ishkulov D. G. – Murmansk Marine Biological Institute KSC RAS, Cand. of Biol. Sci., Deputy Director; e-mail: ishkulov@mmbi.info