

## ИЗМЕНЧИВОСТЬ ГИДРОХИМИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ В СЕВЕРНОЙ ЧАСТИ ОБСКОГО ЭСТУАРИЯ В 2013—2014 ГГ.

Ю. В. Мурзакова, А. А. Полухин, А. В. Костылева

Институт океанологии имени П. П. Ширшова РАН (Москва, Российская Федерация)

Статья поступила в редакцию 16 июня 2025 г.

### Для цитирования

Мурзакова Ю. В., Полухин А. А., Костылева А. В. Изменчивость гидрохимических параметров в северной части Обского эстуария в 2013—2014 гг. // Арктика: экология и экономика. — 2026. — Т. 16, № 1. — С. 18—27. — DOI: 10.25283/2223-4594-2026-1-18-27.

*Изучение трансформации химического стока в устьевой области Оби крайне важно для понимания формирующихся экосистему Карского моря биохимических процессов. Разрезы в северной части Обской губы были выполнены во время 125-го и 128-го рейсов научно-исследовательского судна «Профессор Штокман». Представлены результаты исследования гидрохимических особенностей структуры вод в северной части Обской губы. Рассмотрены закономерности распределения гидрохимических параметров на границе морских и речных вод и зоны поглощения и выделения биогенных элементов в осенний период 2013 и 2014 гг.*

**Ключевые слова:** Карское море, Обская губа, речной сток, биогенные элементы, гидрохимия, динамика биогенных элементов.

### Введение

Арктический регион в последние десятилетия претерпевает существенные климатические изменения, влияющие на физико-химические процессы в прибрежных и шельфовых морях. Одним из ключевых районов является Карское море — часть Арктической экосистемы, в которой воздействие климатических трендов проявляется особенно ярко. Гидрологический режим Карского моря определяется такими факторами, как материковый сток, атмосферное воздействие, образование и таяние льда, а также водообмен с Баренцевым морем, морем Лаптевых и центральной Арктикой. На структуру вод Карского моря в значительной степени влияет материковый сток, на 82% представленный водами Оби и Енисея [1; 2].

Зоны смешения речной и морской воды, такие как устье Оби, представляют собой уникальные гидрологические и биогеохимические системы, в которых трансформация химических веществ играет ключевую роль в формировании морской среды.

Устье Оби включает обширный залив, где химический состав речных вод претерпевает значительные изменения [3]. В устьевых областях завершается трансформация материкового стока, определяющая реальное поступление растворенных и твердых веществ в океан [4]. Эти переходные зоны служат естественными фильтрами, регулируемыми транспорт веществ от континента к океану.

В эстуариях особенно важны биологические процессы, так как речной сток органических и неорганических веществ велик, и это приводит к высоким скоростям круговорота веществ [5]. По оценкам некоторых ученых [6], на границе река-море оседает до 90% взвешенных и влекомых наносов, а также до 80% химических элементов, которые реки приносят в растворенном виде.

Обская губа — крупнейшая эстуарная система Карского моря — играет важную роль в формировании гидрохимического режима акватории, включая биопродуктивность и распределение биогенных элементов. В связи с сезонными изменениями гидрологического режима и поступления речных вод изучение ключевых гидрохимических показателей,

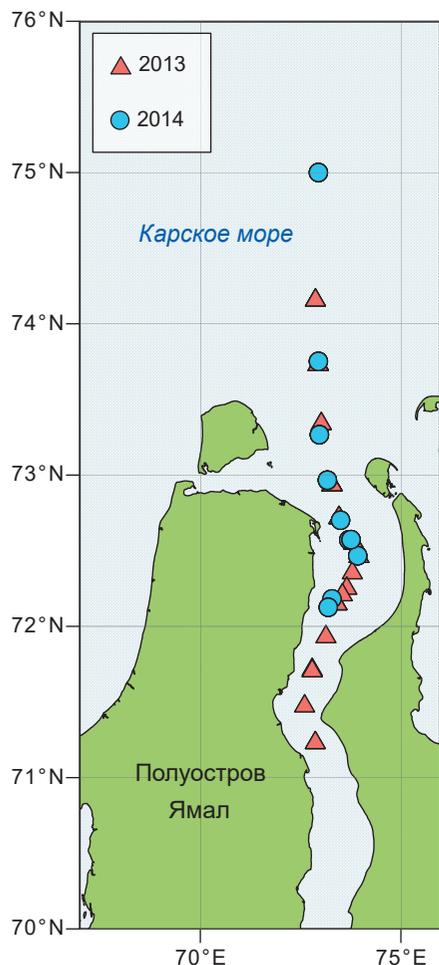


Рис. 1. Расположение станций в Обской губе в 2013 и 2014 гг.

Fig. 1. Location of stations in the Gulf of Ob in 2013 and 2014

таких как содержание биогенных элементов, растворенный кислород и кажущееся потребление кислорода (АОУ), является актуальной задачей. Особый интерес представляет осенний период, когда завершается активное поступление пресной воды с летним стоком и в системе устанавливаются характерные сезонные условия, значительно отличающиеся от периода открытой воды [7].

Распределение гидрохимических параметров в зоне речного стока Карского моря изучали многие исследователи, однако большинство работ носит описательный характер. Исследования прошлых лет показывают, что гидрохимические характеристики региона подвержены значительным сезонным колебаниям, однако осенний период остается сравнительно малоизученным. Особенности распространения

и динамики неорганического углерода в открытом море и в зонах смешения были описаны в [8] по результатам 49-го рейса научно-исследовательского судна (НИС) «Дмитрий Менделеев». В 2010 г. была опубликована работа [9], где показана химическая трансформация речных вод в море и предложен метод определения доли вод Оби и Енисея на основе растворенного кремния и щелочности. Комплексная экспедиция 2010 г. легла в основу исследования [10], в котором рассмотрено распределение гидрохимических параметров по Обской губе в разные сезоны, включая фронтальные зоны. По тем же данным в [11] был показан процесс сезонной смены вод в Обской губе. По материалам экспедиций 1993, 2007 и 2011 гг. было выполнено исследование, выявляющее роль абиотических факторов в формировании первичной продукции, где показано, что в конце вегетационного периода уровень первичной продукции слабо связан с содержанием растворенных форм азота и фосфора [12]. В [13] была дана межгодовая оценка первичной продукции различных районов Карского моря, в том числе эстуария Оби и района речного выноса, по спутниковым данным за различные месяцы. Результаты многолетних измерений содержания растворенного органического углерода для Карского моря представлены в [14]. Согласно этим работам факторами, определяющими распределение биогенных элементов, являются как происхождение водных масс, так и различные биохимические процессы.

Несмотря на накопленные знания, остаются открытыми вопросы, касающиеся пространственной и межгодовой изменчивости гидрохимических параметров в осенний период. В связи с высокой чувствительностью Арктики к климатическим изменениям изучение этих процессов приобретает особую актуальность. Установление закономерностей распределения ключевых показателей позволит более точно оценить роль речного стока в трансформации химического состава морских вод.

Настоящее исследование посвящено анализу гидрохимических параметров в северной части Обской губы в осенний период 2013 и 2014 гг. Цель работы — выявление основных тенденций изменения концентрации биогенных веществ и растворенного кислорода, определение факторов, влияющих на их распределение, а также межгодовое сравнение гидрохимических условий в зоне смешения речных и морских вод.

### Материалы и методы

Материалом для данного исследования послужили гидрохимические данные, полученные в Обской губе в 2013—2014 гг. Институтом океанологии РАН. Экспедиция повторяла ряд уже проведенных институтом съемок в данном районе.

В 2013 г. экспедиция проводилась в сентябре на НИС «Профессор Штокман» (125-й рейс). Обский разрез включал 22 станции, выполненные с 3 по 6 сентября в северной части Обской губы и зоне влияния речного стока. Работы были произведены на 65 горизонтах. В 2014 г. работы в Обской губе велись с 18 по 21 августа. На том же судне (128-й рейс) было выполнено 10 станций, содержащих 52 горизонта. Длина обоих разрезов составила около 350 км, однако они были несколько смещены друг относительно друга в меридиональном направлении — первая съемка, выполненная в сентябре 2013 г., была начата примерно на 100 км южнее. Расположение станций показано на рис. 1.

Для анализа гидрохимических особенностей структуры вод в зоне смешения река-море необходимо учитывать характер гидрологического режима реки, так как он определяет объем по-

ступающей пресной воды, изменяющийся как в течение года, так и от года к году.

На рис. 2 показан объем стока Оби в 2013 и 2014 гг. по данным Росгидромета [15]. Расход реки был выше в 2014 г., достигая почти 36 000 м<sup>3</sup>/с, что на 30% выше максимальных значений 2013 г. В период проведения исследований в устьевой зоне Обской губы объем стока также отличался. В 2014 г. значения были выше вдвое, что связано как с абсолютными значениями стока в тот год, так и с несколько более ранними датами экспедиции, попавшими в период спада половодья.

Отбор проб проводился пластмассовыми пятилитровыми батометрами Нискина. Температура и соленость регистрировались при помощи CTD-зонда SBE 911 Plus. В обеих экспедициях гидрохимические определения велись по стандартным методикам, принятым в отечественной практике [16; 17]. Определение растворенного неорганического кремния проводилось колориметрически по голубому кремнево-молибденовому комплексу (метод Королева). Нитратный азот определялся колориметрически после его восстановления на кадмиевых колонках до нитритного азота. Определение содержания растворенного неорганического фосфора проводилось колориметрически по модифицированному методу Морфи и Райли. Содержание кислорода в морской воде определялось методом Винклера.

Важно отметить, что в экспедициях 2013 и 2014 гг. использовались разные методики фильтрации проб для анализа биогенных элементов, что могло повлиять на полученные результаты. В 2013 г. при работе в водах с большим количеством взвешенного вещества пробы для определения биогенных элементов предварительно фильтровались через фильтры 0,45 мкм (Millipore). В 2014 г. подобные пробы для определения биогенных элементов предварительно фильтровались через лавсановый ядерный фильтр с диаметром пор 1 мкм производства Объединенного института ядерных исследований (Дубна). В пробах с заметной глазю окраской воды колориметрические определения минерального фосфора и силикатов велись не против дистиллированной воды, а относительно той же пробы с добавкой всех положенных по методике реактивов, кроме аскорбиновой кислоты [18].

Для разрезов было рассчитано кажущееся потребление кислорода (apparent oxygen utilization, AOU) — параметр, определяемый как разница между расчетной концентрацией кислорода O<sub>2</sub> и его наблюдаемой концентрацией. При AOU = 0 содер-

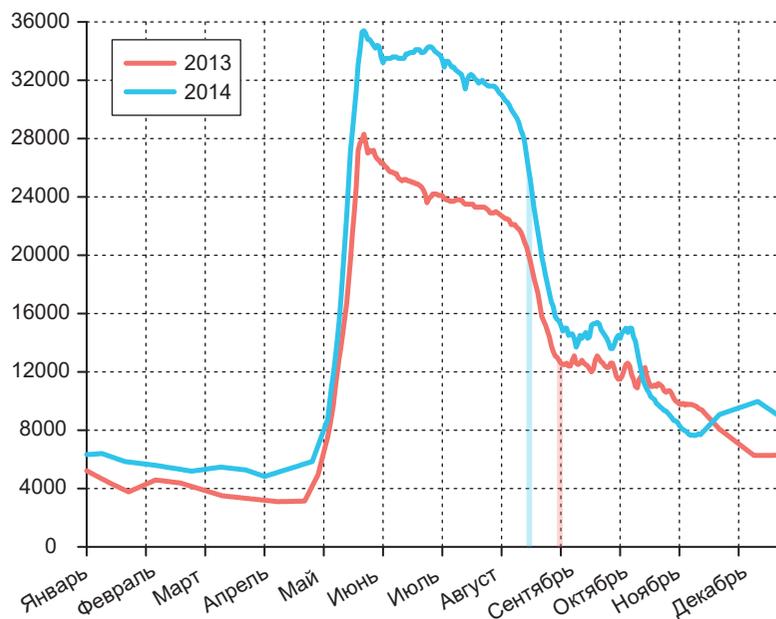


Рис. 2. Объем стока реки Обь в 2013 и 2014 гг., м<sup>3</sup>/с  
Fig. 2. The flow volume of the Ob River in 2013 and 2014, m<sup>3</sup>/s

жание кислорода в воде такое же, какое было бы в равновесии с воздухом в поверхностном слое при тех же значениях температуры и солености. Избыток кислорода (AOU > 0) свидетельствует о преобладающих продукционных процессов над деструкционными, его дефицит (AOU < 0) говорит об увеличении доли деструкционных процессов [19—21].

Для оценки поведения биогенных элементов в зоне смешения речной и морской воды использовано уравнение линейного смешения двух водных масс. Подобная методика была применена ранее в нескольких работах [8; 22; 23]. Предполагается, что если элемент ведет себя консервативно, то его концентрация изменяется линейно и напрямую зависит от солености, отражающей степень гидродинамического смешения двух водных масс [24].

Расчетная концентрация анализируемого параметра в точке смешения определялась по уравнению

$$C_i = C_2 + (C_1 - C_2) \frac{S_i - S_2}{S_1 - S_2}, \quad (1)$$

где  $C_i$  — расчетное значение концентрации элемента или соединения в  $i$ -й точке при солености  $S_i$ ;  $C_1$ ,  $C_2$  — измеренные концентрации соответствующего параметра в морской и речной воде;  $S_1$ ,  $S_2$  — соленость морской и речной воды соответственно;  $S_i$  — соленость в исследуемой точке смешения.

В качестве источников морской и речной воды выбирались точки, расположенные в северной и южной частях разреза, где значения солености и концентраций исследуемых параметров наиболее близки к исходным водам соответствующего происхождения (численные значения приведены в табл. 1). Значения, полученные из расчета по уравнению, отражают идеальное поведение вещества при отсутствии биологических, химических или фи-

Таблица 1. Концентрации биогенных элементов и соленость в исходных водных массах  
Table 1. Nutrient concentrations and salinity in the source water masses

Показатель	2013		2014	
	Морские воды	Речные воды	Морские воды	Речные воды
Соленость, psu	32,639	0,216	32,665	0,032
Si, мкМ	17,4	27,33	12,3	9,48
PO <sub>4</sub> , мкМ	0,86	2,57	0,84	0,94
NO <sub>3</sub> , мкМ	1,32	0	3,82	0,15

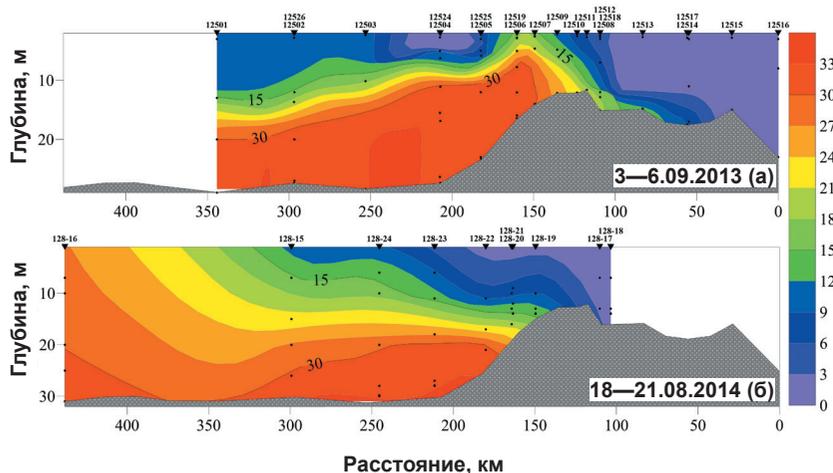


Рис. 3. Распределение солености на разрезе в Обской губе (0 км — южная точка) в 2013 г. (а) и 2014 г. (б)  
Fig. 3. Sectional distribution of salinity in the Gulf of Ob (the 0 km mark is at the southern point) in 2013 (a) and 2014 (b)

зико-химических взаимодействий (например, осаждения, поглощения или трансформации).

Для выявления отклонений от консервативного поведения рассчитывалась разность между измеренной  $C_{in situ}$  и расчетной  $C_i$  концентрациями:

$$\Delta C = C_{in situ} - C_i. \quad (2)$$

Положительные значения  $\Delta C$  свидетельствуют о выделении вещества в воду, отрицательные — о поглощении вещества из воды, а приближенные к нулю значения отражают консервативное поведение параметра.

### Результаты и обсуждение

#### Распределение биогенных элементов

Распределение солености по данным обеих съемок имеет схожие черты, присущие эстуарным зонам крупных рек: соленость увеличивается с глубиной и по направлению к мористой части разреза. Присутствуют горизонтальная фронтальная зона в речной части и вертикальная зона на протяжении практически всего разреза. В 2013 г. (рис. 3) на станциях 12506 и 12507 наблюдалось разрушение галоклина, приводившее к понижению температуры и повышению солености в поверхностном слое,

что может объясняться увеличением влияния метеорологических факторов [7]. Мористее станции 12506 вновь наблюдалось опресняющее воздействие речного стока, соленость на поверхности снижалась до 4 psu на станции 12504. При проведении обеих съемок на поверхности разрезов не достигались чисто морские воды (30 psu).

Концентрация кремния в 2013 г. в исследуемом районе изменялась от 17 до 75,9 мкМ. Максимальные концентрации были отмечены на станции 12513, где мог протекать процесс реминерализации речного фитопланктона. Выявлено, что данные максимумы концентрации совпадают по локализации с вертикальной фронтальной зоной (рис. 4а).

Концентрация кремния вдоль разреза в 2014 г. варьировалась от 2,04 до 150 мкМ, достигая максимальных значений в придонном слое на станции 128-24, где предположительно интенсивно осаждалась взвесь и разлагалось органическое вещество. Повышенные значения также отмечались выше пикноклина на станциях 128-19—128-23 (рис. 4б).

Концентрация фосфатов на разрезе 2013 г. увеличивалась с глубиной и по направлению к приустьевой зоне, что показано на рис. 4в. Максимум содержания фосфора в 2013 г. составил 2,8 мкМ в придонном слое на станции 12518. На самой речной станции (12516) концентрация менялась от 1,54 мкМ у поверхности до 2,5 мкМ у дна. В поверхностном слое мористой части разреза концентрация фосфатов падала до 0,1 мкМ.

Содержание фосфатов на разрезе 2014 г. отличалось от распределения предыдущего года характером распределения и относительно низкими значениями, изменяясь от аналитического нуля на горизонте 14 м на станции 128-18 до 1,75 мкМ на глубине 20 м на станции 128-22 (рис. 4г). В отличие от предыдущего года зона максимума содержания

неорганического фосфора располагалась вертикально перед орографическим барьером и совпадала с максимумом нитратного азота. Второй локальный максимум, как и в 2013 г., сохранялся в водах с нулевой соленостью.

Содержание нитратного азота во время съемок также значительно разнилось как в абсолютных значениях, так и в характере распределения по разрезу (рис. 4д). В 2013 г. концентрация нитратного азота увеличивалась с глубиной. Максимум был зафиксирован на станции 12524 на горизонте 27 м и составил 3,44 мкМ. Подобные значения могут быть связаны с истощением нитратного азота по завершении вегетационного периода. В 2014 г. содержание нитратов было значительно выше и имело два максимума — первый находился на станциях 128-21 и 128-22 и достигал на глубине 17 м значения 8,1 мкМ, что может отражать активный процесс окисления органического вещества в данной области (рис. 4е). Второй максимум был зафиксирован на глубине 20 м на станции 128-15 и составил 6,77 мкМ. Воды речной части были бедны биогенными элементами. Характер распределения совпадал с описанным в [25].

Кажущееся потребление кислорода (АОУ) — косвенный показатель биологической активности, в 2013 г. его значения на станциях 12524 и 12525 достигали 115 мкМ (рис. 5), а положительные значения этого параметра согласно теории указывают на окисление органического вещества. На станции 12517 АОУ достигал значения -44 мкМ, содержание кислорода было 9 мл/л, а степень насыщения — 112%, что может являться маркером происходящих в этой части разреза продукционных процессов. В меньшей степени фотосинтетическая активность заметна в поверхностном слое между станциями 12509 и 12525.

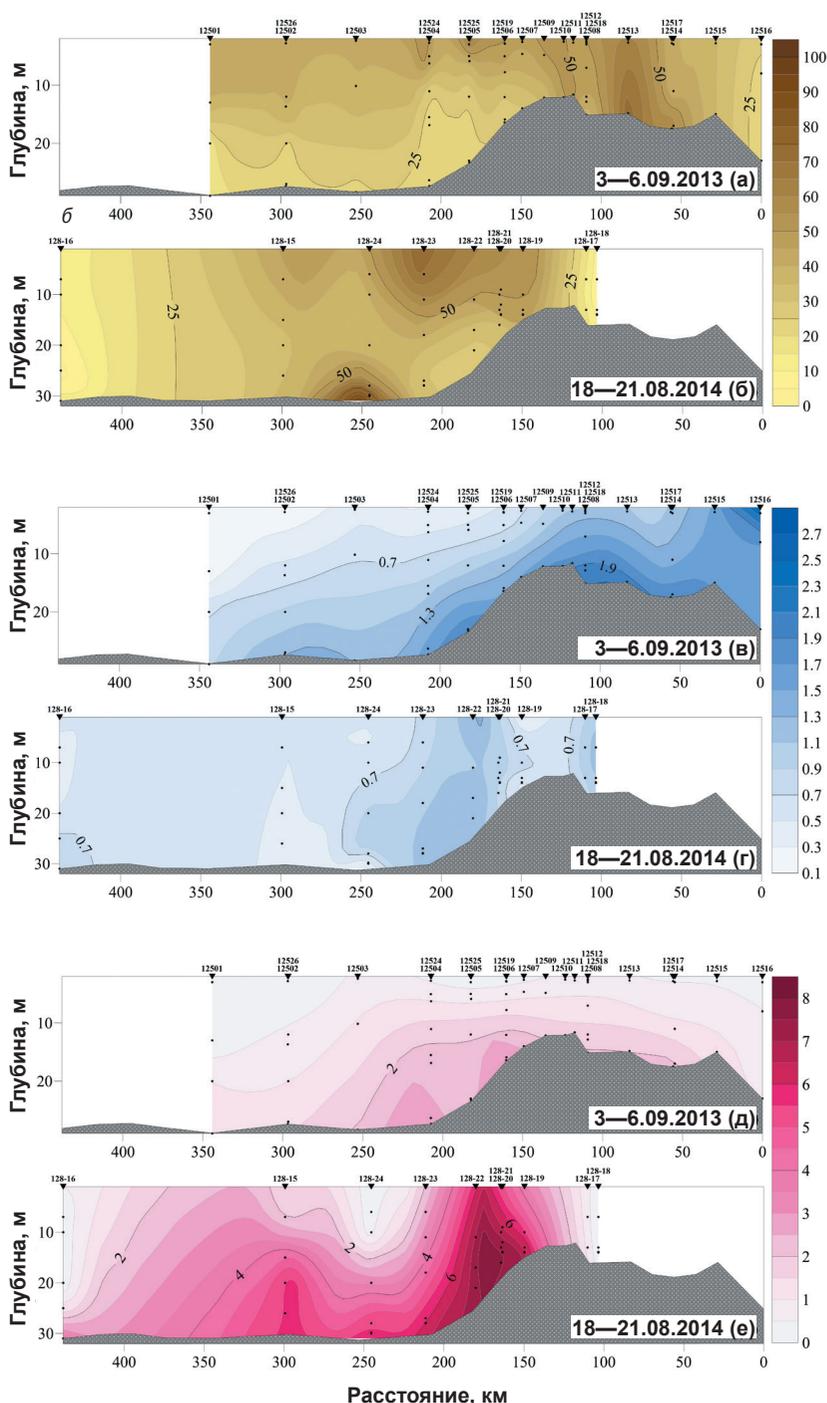


Рис. 4. Распределение содержаний биогенных элементов на разрезе в Обской губе (0 км — южная точка) в 2013 и 2014 гг.: а, б — растворенный кремний ( $\text{SiO}_3$ , мкМ) в 2013 и 2014 гг. соответственно; в, г — растворенный неорганический фосфор ( $\text{PO}_4$ , мкМ) в 2013 и 2014 гг. соответственно; д, е — нитратный азот ( $\text{NO}_3$ , мкМ) в 2013 и 2014 гг. соответственно

Fig. 4. Sectional distribution of content of nutrients in the Gulf of Ob (the 0 km mark is at the southern point) in 2013 and 2014: а, б — dissolved silicon ( $\text{SiO}_3$ ,  $\mu\text{M}$ ) in 2013 and 2014, respectively; в, г — dissolved inorganic phosphorus ( $\text{PO}_4$ ,  $\mu\text{M}$ ) in 2013 and 2014, respectively; д, е — nitrate nitrogen ( $\text{NO}_3$ ,  $\mu\text{M}$ ) in 2013 and 2014, respectively

В 2014 г. практически на протяжении всего разреза АОУ > 0, что отражает преобладание деструкционных процессов в области исследования. Максимальных значений кажущееся потребление кислорода достигало у дна на станциях 128-24 и 128-23, где шел наиболее интенсивный про-

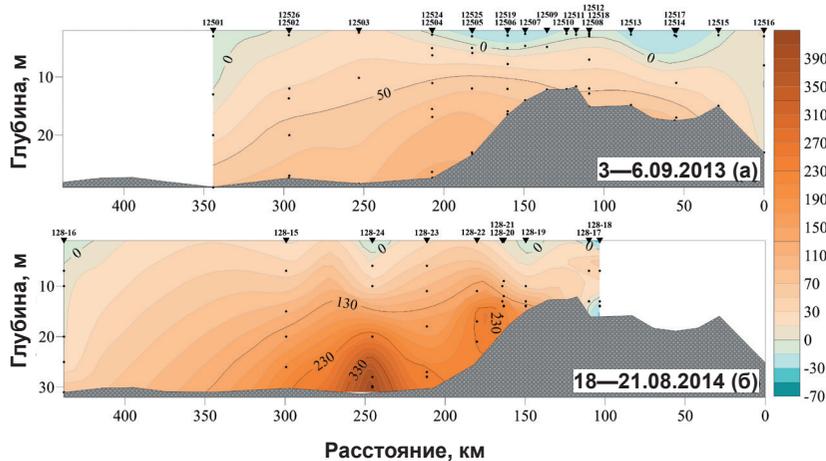


Рис. 5. Распределение кажущегося потребления кислорода на разрезе в Обской губе (0 км — южная точка) в 2013 г. (а) и 2014 г. (б), мкМ  
 Fig. 5. Sectional distribution of apparent oxygen utilization in the Gulf of Ob (the 0 km mark is at the southern point) in 2013 (a) and 2014 (б), μM

цесс окисления органического вещества (см. рис. 5). Распределение AOU согласуется с распределением степени насыщения кислородом. В придонном слое на тех же станциях этот параметр принимал наименьшие значения (менее 70%).

#### Динамика биогенных элементов

При анализе данных было необходимо учесть, что в 2013 и 2014 гг. использовались фильтры с разным диаметром пор (0,45 мкм и 1 мкм соответственно), а это может влиять на абсолютные значения концентрации биогенных элементов, особенно в мутных речных водах, где значительная часть вещества может быть связана с коллоидной или взвешенной фракцией. Поэтому различия в абсолютных концентрациях могут частично отражать методические особенности фильтрации, а не только природные процессы. В то же время анализ поведения биогенных элементов относительно оси солености — в частности, оценка их консервативности, — представляет собой более устойчивый методический подход, так как позволяет отслеживать тренды распределения веществ в пределах одного года, не зависящие в этом случае напрямую от абсолютных значений.

Расчет динамики содержания растворенного кремния  $dSiO_3$ , растворенного неорганического фосфора  $dPO_4$  и нитратного азота  $dNO_3$  для оценки поведения биогенных элементов по линии смешения река-море был проведен по методике, описанной выше. Как было указано, положительные значения отражают выделение изучаемого вещества в воду, отрицательные — поглощение вещества из воды. На обоих разрезах, показанных на рис. 6,  $dSiO_3$  в толще вод преимущественно принимает положительные значения, изменяясь вдоль разреза 2014 г. от -15 до 65, а в 2013 г. — от -6 до 48. Наблюдаемое увеличение содержания растворенного кремния в зоне смешения речных и морских вод может быть ре-

зультатом минерализации органического вещества, в частности остатков диатомовых водорослей.

Большое различие наблюдается в зонах поглощения и выделения неорганического фосфора в изучаемые периоды. В 2013 г. характер распределения был достаточно равномерным — фосфор выделялся в придонном слое, а поглощался практически по всей толще вод. Поглощение заметно усиливалось к поверхности. Диапазон значений несколько шире (от -2 до 1,6) по сравнению с 2014 г. (от -1,5 до 0,8). Отрицательные значения  $dPO_4$  могут свидетельствовать о переходе фосфора

в неорганические соединения либо о потреблении фитопланктоном в процессе первичной продукции, что, однако, не подтверждается значениями кажущегося потребления кислорода. В 2014 г. характер распределения  $dPO_4$  был неравномерным, зоны выделения чередовались с зонами поглощения вертикально. Зона поглощения перед орографическим барьером отчетливо совпадала с зоной максимума содержания нитратного азота, что отражало возможный процесс разложения органического вещества.

Динамика нитратного азота также отличается от разреза к разрезу. Наибольшее отклонение от консервативности в данном случае происходило в 2014 г., где зоны выделения резко контрастировали с зонами поглощения (от -3,5 до 6,5). Обогащение воды нитратным азотом в более морской части разреза совпадало с минимумом содержания растворенного кислорода, что может свидетельствовать о протекании процесса окисления органического вещества и нитрификации, для которых требуется кислород.

Вторая зона выделения нитратов находится на границе скачка плотности, где процессы нитрификации протекают особенно быстро из-за достаточного количества кислорода из морских вод и наличия аммония из речных. В 2013 г. диапазон изменчивости был ниже, можно говорить о практически консервативном поведении параметра на большей части разреза, однако сохраняется закономерность увеличения  $dNO_3$  от поверхности ко дну, что совпадает и с характером распределения фосфатов и кислорода.

#### Заключение

Сравнительный анализ распределения гидрохимических параметров в Обской губе в осенний период 2013 и 2014 гг. показал, что, несмотря на общую сезонную схожесть, пространственная структура

и величины концентраций биогенных элементов и кислорода существенно различаются между годами. Эти различия могут быть связаны с вариациями объема и режима речного стока, а также с биогеохимическими особенностями акватории.

В 2014 г. половодье началось в те же сроки, что и в 2013 г., однако расход воды в Оби был значительно выше (36 тыс. м<sup>3</sup>/с в 2014 г., 28 тыс. м<sup>3</sup>/с в 2013 г.), что привело к более интенсивному распространению пресных вод на север и увеличению толщины опресненного слоя. Температура в речной части разреза в 2013 г. была выше на 2°C по сравнению с 2014 г., что могло повлиять на протекание биологических процессов. В оба года наблюдалась структура так называемого сложного фронта, представленного вертикальным фронтом в южной части разреза и горизонтальным фронтом, распространяющимся в сторону моря, что способствовало формированию локальных аномалий в распределении гидрохимических параметров.

Наиболее заметные различия в содержании среди биогенных элементов отмечены в распределении фосфора и кремния. В 2013 г. концентрации фосфатов распределялись относительно равномерно по вертикали, однако отклонения от консервативного поведения были значительными. В 2014 г., напротив, максимальные концентрации фосфора регистрировались в районе орографического барьера с четким вертикальным максимумом, но степень отклонения от консервативной линии была меньше. Кремний и нитратный азот демонстрировали наиболее сильные отклонения от консервативного распределения именно в 2014 г., но при этом их абсолютные концентрации были существенно

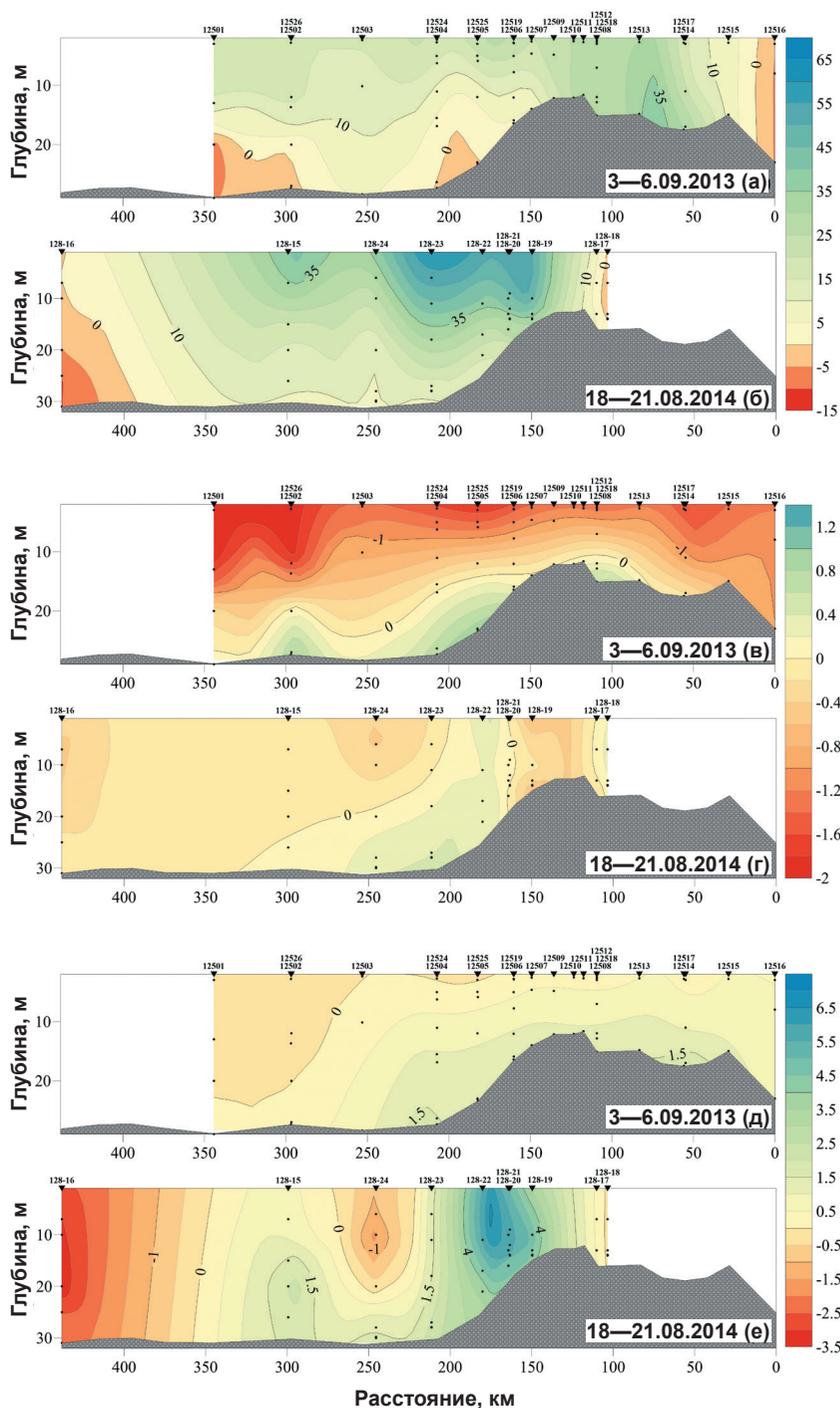


Рис. 6. Области выделения и поглощения биогенных элементов на разрезе в Обской губе (0 км – южная точка) в 2013 и 2014 гг.: а, б – растворенный кремний ( $dSiO_2$ , мкМ) в 2013 и 2014 гг. соответственно; в, г – растворенный неорганический фосфор ( $dPO_4$ , мкМ) в 2013 и 2014 гг. соответственно; д, е – нитратный азот ( $dNO_3$ , мкМ) в 2013 и 2014 гг. соответственно

Fig. 6. Sectional distribution of apparent oxygen utilization (AOU,  $\mu M$ ) in the Gulf of Ob (the 0 km mark is at the southern point) in 2013 and 2014: а, б – dissolved silicon ( $dSiO_2$ ) in 2013 and 2014, respectively; в, г – dissolved inorganic phosphorus ( $dPO_4$ ) in 2013 and 2014, respectively; д, е – nitrate nitrogen ( $dNO_3$ ) in 2013 and 2014, respectively

выше, чем в 2013 г. Однако разница в абсолютных значениях, как указывалось выше, может объясняться не только природными процессами, но и различиями в методике фильтрации.

Локальные аномалии распределения биогенных элементов и кислорода фиксировались на границах морской и речной водных масс, на орографических барьерах и в придонных слоях. Эти аномалии могут быть связаны с рядом процессов: нитрификацией, окислением органического вещества, минерализацией фитопланктона и осаждением взвешенных веществ. Деструкция органического вещества, особенно активная у дна, сопровождается дефицитом кислорода и ростом концентраций нитратного азота. Напротив, в верхнем слое, вероятно, происходили процессы первичной продукции, что подтверждается косвенными оценками отрицательных значений кажущегося потребления кислорода.

Полученные данные демонстрируют, что распределение гидрохимических параметров в Обской губе в разные годы может кардинально отличаться даже при схожих сроках и сезонах проведения наблюдений. Наиболее значимыми факторами, определяющими межгодовую изменчивость, являются различия в объеме речного стока, гидродинамическая структура акватории, формирование и устойчивость фронтов, а также интенсивность биогеохимических процессов.

Кроме того, выявленные особенности поведения кремния (с выделением в поверхностных слоях и поглощением у дна) расходятся с известными закономерностями для других арктических регионов, например, моря Лаптевых, где наблюдалось поглощение кремния в поверхностном слое, а выделение — в придонном [22]. Эти различия подчеркивают уникальность гидрохимического режима Обской губы и необходимость дальнейшего исследования механизмов, определяющих поведение биогенных элементов в высокоширотных эстуарных системах.

### Финансирование

Исследование выполнено в рамках государственного задания Института океанологии им. П. П. Ширшова РАН FMWE-2024-0021.

### Благодарность

Авторы выражают искреннюю признательность принимавшим участие в экспедиционных работах коллегам из лаборатории биогидрохимии за проведение отбора и предварительной обработки проб в условиях сурового арктического климата.

### Литература/References

1. Полухин А. А., Маккавеев П. Н. Особенности распространения материкового стока по акватории Карского моря // *Океанология*. — 2017. — Т. 57, № 1. — С. 25—37.  
*Polukhin A. A., Makkaveev P. N.* Features of the distribution of continental runoff over the Kara Sea water area. *Okeanologiya [Oceanology]*, 2017, vol. 57, no. 1, pp. 25—37. (In Russian).

2. Михайлов В. Н. Устья рек России и сопредельных стран: Прошлое, настоящее и будущее. — М.: ГЕОС, 1997. — 413 с.

*Mikhailov V. N.* Estuaries of rivers in Russia and adjacent countries: Past, present and future. Moscow, GEOS, 1997, 413 p. (In Russian).

3. Лапин С. А. Особенности формирования пресноводного стока в эстуарных системах Оби и Енисея // *Тр. ВНИРО*. — 2017. — Т. 166. — С. 139—150.

*Lapin S. A.* Features of freshwater runoff formation in the estuarine systems of the Ob and Yenisei rivers. *Trudy VNIRO [Proceedings of VNIRO]*, 2017, vol. 166, pp. 139—150. (In Russian).

4. Лисицын А. П., Лукашин В. Н., Гурвич Е. Г. и др. О соотношениях выноса элементов реками и их накопления в донных осадках океанов // *Геохимия*. — 1982. — № 1. — С. 106—113.

*Lisitsyn A. P., Lukashin V. N., Gurchich E. G., Gordeev V. V., Demina L. L.* On the ratios of element discharge by rivers and their accumulation in bottom sediments of oceans. *Geokhimiya [Geochemistry]*, 1982, no. 1, pp. 106—113. (In Russian).

5. Head P. C. Organic processes in estuaries. *Estuarine chemistry*, 1976, pp. 54—91.

6. Гордеев В. В. Геохимия системы река-море. — М.: Матушкина И. И., 2012. — 452 с.

*Gordeev V. V.* Geochemistry of the river-sea system. Moscow, I. I. Matushkin Publ., 2012, 452 p. (In Russian).

7. Лапин С. А. Специфика формирования зон повышенной продуктивности в Обском эстуарии // *Тр. ВНИРО*. — 2014. — Вып. 152. — С. 146—154.

*Lapin S. A.* Specifics of high-productivity zones formation in the Ob estuary. *Trudy VNIRO [Proceedings of VNIRO]*, 2014, iss. 152, pp. 146—154. (In Russian).

8. Маккавеев П. Н. Растворенный неорганический углерод в водах Карского моря и устьях рек Обь и Енисей // *Океанология*. — 1994. — Т. 34, № 5. — С. 668—672.

*Makkaveev P. N.* Dissolved inorganic carbon in the waters of the Kara Sea and the mouths of the Ob and Yenisei rivers. *Okeanologiya [Oceanology]*, 1994, vol. 34, no. 5, pp. 668—672. (In Russian).

9. Маккавеев П. Н., Стунжас П. А., Хлебопашев П. В. О выделении вод Оби и Енисея в распресненных линзах Карского моря в 1993 и 2007 гг. // *Океанология*. — 2010. — Т. 50, № 5. — С. 740—747.

*Makkaveev P. N., Stunzhas P. A., Khlebopashev P. V.* Identification of the Ob and Yenisei waters in the desalinated lenses of the Kara Sea in 1993 and 2007. *Okeanologiya [Oceanology]*, 2010, vol. 50, no. 5, pp. 740—747. (In Russian).

10. Артамонова К. В., Лапин С. А., Лукьянова О. Н. и др. Особенности гидрохимического режима Обской губы в период открытой воды // *Океанология*. — 2013. — Т. 53, № 3. — С. 357—366.

*Artamonova K. V., Lapin S. A., Lukyanova O. N., Makkaveev P. N., Polukhin A. A.* Hydrochemical regime of the Ob Bay during the open-water period. *Okeanologiya*

[Oceanology], 2013, vol. 53, no. 3, pp. 357—366. (In Russian).

11. Стунжас П. А., Маккавеев П. Н. Объем вод Обской губы как фактор формирования гидрохимической неоднородности // Океанология. — 2014. — Т. 54, № 5. — С. 622—632.

Stunzhas P. A., Makkaveev P. N. The volume of the Ob Bay waters as a factor of hydrochemical heterogeneity formation. Okeanologiya [Oceanology], 2014, vol. 54, no. 5, pp. 622—632. (In Russian).

12. Демидов А. Б., Мошаров С. А., Маккавеев П. Н. Роль абиотических и биотических факторов в формировании первичной продукции Карского моря в осенний период // Океанология. — 2015. — Т. 55, № 4. — С. 592—604.

Demidov A. B., Mosharov S. A., Makkaveev P. N. The role of abiotic and biotic factors in the formation of primary production in the Kara Sea in autumn. Okeanologiya [Oceanology], 2015, vol. 55, no. 4, pp. 592—604. (In Russian).

13. Демидов А. Б. и др. Сезонная изменчивость первичной продукции фитопланктона Карского моря по спутниковым данным // Океанология. — 2017. — Т. 57, № 1. — С. 103—117.

Demidov A. B. et al. Seasonal variability of phytoplankton primary production in the Kara Sea from satellite data. Okeanologiya [Oceanology], 2017, vol. 57, no. 1, pp. 103—117. (In Russian).

14. Belyaev N. A. et al. Organic carbon content in dissolved and particulate forms in Kara Sea water. Oceanology, 2024, vol. 64, no. 2, pp. 181—236.

15. Великие реки Арктики. Доступ к информации об объеме стока в Салехарде. — URL: [https://arcticgreatrivers.org/discharge/#Ob\\_Salekhard](https://arcticgreatrivers.org/discharge/#Ob_Salekhard).

Great Rivers of the Arctic. Access to discharge data at Salekhard. Available at: [https://arcticgreatrivers.org/discharge/#Ob\\_Salekhard](https://arcticgreatrivers.org/discharge/#Ob_Salekhard).

16. Руководство по химическому анализу морских вод. РД 52.10.242-92. — СПб.: Гидрометеоздат, 1993. — 264 с.

Guidelines for chemical analysis of seawater. RD 52.10.242-92. St. Petersburg, Gidrometeoizdat, 1993, 264 p. (In Russian).

17. Руководство по химическому анализу морских и пресных вод при экологическом мониторинге рыбохозяйственных водоемов и перспективных для промысла районов Мирового океана / Ред. В. В. Сапожников. — М.: Изд-во ВНИРО, 2003. — 202 с.

Guidelines for chemical analysis of marine and fresh waters in environmental monitoring of fisheries water bodies and prospective fishing areas of the World Ocean. Ed. by V. V. Sapozhnikov. Moscow, VNIRO Publ., 2003, 202 p. (In Russian).

18. Современные методы гидрохимических исследований океана / Ред. О. К. Бордовский, В. Н. Иваненков; Ин-т океанологии им. П. П. Ширшова РАН. — М., 1992. — 200 с.

Modern methods of hydrochemical ocean research. Ed. by O. K. Bordovsky, V. N. Ivanenkov, Shirshov In-

stitute of Oceanology of RAS. Moscow, 1992, 200 p. (In Russian).

19. Redfield A. C. The influence of organisms on the composition of seawater. The sea, 1963, vol. 2, pp. 26—77.

20. Libes S. Introduction to marine biogeochemistry. [S. l.], Academic Press, 2011.

21. Костылева А. В., Мошаров С. А. Перспективы использования расчетов кажущегося потребления кислорода для оценки продукционно-деструкционных процессов в водных экосистемах (на примере северо-восточной части Черного моря) // Экол. безопасность прибрежной и шельфовой зон моря. — 2017. — № 1. — С. 59—65.

Kostyleva A. V., Mosharov S. A. Prospects for using apparent oxygen utilization calculations to assess production-destruction processes in aquatic ecosystems (case study of the northeastern Black Sea). Ekologicheskaya bezopasnost' pribrezhnoi i shel'fovoi zon morya [Ecological Safety of Coastal and Shelf Zones of the Sea], 2017, no. 1, pp. 59—65. (In Russian).

22. Маккавеев П. Н., Полухин А. А., Селиверстова А. М. и др. Динамика биогенных элементов в приустьевом районе реки Лены: результаты экспедиций в сентябре 2015 и 2017 гг. // Арктика: экология и экономика. — 2018. — № 2 (30). — С. 56—67. — DOI: 10.25283/2223-4594-2018-2-56-67.

Makkaveev P. N., Polukhin A. A., Seliverstova A. M. et al. Dynamics of biogenic elements in the Lena River estuary: Results of expeditions in September 2015 and 2017. Arctic: Ecology and Economy, 2018, no. 2 (30), pp. 56—67. DOI: 10.25283/2223-4594-2018-2-56-67. (In Russian).

23. Маккавеев П. Н., Полухин А. А., Налбандов Ю. Р., Хлебобашев П. В. Динамика биогенных элементов в Енисейском заливе в период открытой воды // Арктика: экология и экономика. — 2019. — № 4 (36). — С. 69—82. — DOI: 10.25283/2223-4594-2019-4-69-82.

Makkaveev P. N., Polukhin A. A., Nalbandov Yu. R., Khlebopashev P. V. Dynamics of biogenic elements in the Yenisei Gulf during the open-water period. Arctic: Ecology and Economy, 2019, no. 4 (36), pp. 69—82. DOI: 10.25283/2223-4594-2019-4-69-82. (In Russian).

24. Савенко А. В. Типы распределения растворенных форм химических элементов в устьевых областях рек // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. География. — 2018. — № 2. — С. 53—59.

Savenko A. V. Distribution types of dissolved chemical elements in river mouth areas. Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 5. Geografiya [Moscow University Bulletin. Ser. 5. Geography], 2018, no. 2, pp. 53—59. (In Russian).

25. Лапин С. А. и др. Гидролого-гидрохимические исследования фронтальной зоны Обской губы (сентябрь 2014 г.) // Океанология. — 2015. — Т. 55, № 5. — С. 855—865.

Lapin S. A. et al. Hydrological and hydrochemical studies of the frontal zone of the Ob Bay (September 2014). Okeanologiya [Oceanology], 2015, vol. 55, no. 5, pp. 855—865. (In Russian).

### Информация об авторах

**Мурзанова Юлия Валерьевна**, младший научный сотрудник, Институт океанологии им. П. П. Ширшова РАН (117997, Россия, Москва, Нахимовский просп., д. 36), e-mail: murzakovajv@ocean.ru.

**Полухин Александр Анатольевич**, кандидат географических наук, ведущий научный сотрудник, заведующий лабораторией, Институт океанологии им. П. П. Ширшова РАН (117997, Россия, Москва, Нахимовский просп., д. 36), e-mail: polukhin@ocean.ru.

**Костылева Анна Владимировна**, кандидат географических наук, старший научный сотрудник, Институт океанологии им. П. П. Ширшова РАН (117997, Россия, Москва, Нахимовский просп., д. 36), e-mail: ventis-ire@yandex.ru.

---

## VARIABILITY OF HYDROCHEMICAL PARAMETERS IN THE NORTHERN PART OF THE OB ESTUARY IN 2013—2014

**Murzakova, Yu. V., Polukhin, A. A., Kostyleva, A. V.**

Shirshov Institute of Oceanology of Russian Academy of Sciences (Moscow, Russian Federation)

The article was received on June 16, 2025

### For citing

*Murzakova Yu. V., Polukhin A. A., Kostyleva A. V.* Variability of hydrochemical parameters in the northern part of the Ob Estuary in 2013–2014. *Arctic: Ecology and Economy*, 2026, vol. 16, no. 1, pp. 18—27. DOI: 10.25283/2223-4594-2026-1-18-27. (In Russian).

### Abstract

The mouth of the Ob Bay, one of the largest river estuaries along the Arctic coast, represents a unique natural environment where fresh river water and seawater actively interact. It leads to the formation of complex physico-chemical gradients and promotes the transformation of chemical substances, including nutrients. This study is based on data from two expeditions covering the northern part of the Ob Estuary. The research focuses on interannual variability of hydrochemical parameters, including the distribution of nutrients ( $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ , Si), and dissolved oxygen concentrations in the Ob Estuary during the early autumn of 2013 and 2014. Special attention is paid to spatial distribution patterns of hydrochemical parameters and the identification of zones of absorption and release of dissolved silicon, phosphorus, and nitrate nitrogen. The most significant factors influencing interannual variability are differences in the river runoff volumes, the hydrodynamic structure of the water area, the formation and stability of frontal zones, and the intensity of biogeochemical processes.

**Keywords:** Kara Sea, Ob Bay, river runoff, nutrients, hydrochemistry, dynamics of nutrients.

### Funding

The research was supported by the state assignment FMWE-2024-0021 to the Shirshov Institute of Oceanology of the Russian Academy of Sciences.

### Acknowledgements

The authors express their sincere gratitude to their colleagues from the Laboratory of Biogeochemistry who participated in the expedition activity of collecting and pre-processing samples in the harsh Arctic climate.

---

### Information about the authors

**Murzakova, Yulia Valeryevna**, Junior Researcher, Shirshov Institute of Oceanology of Russian Academy of Sciences (36, Nakhimovskiy prosp., Moscow, Russia, 117997), e-mail: murzakovajv@ocean.ru.

**Polukhin, Alexander Anatolevich**, PhD of Geography, Leading Researcher, Head of Laboratory, Shirshov Institute of Oceanology of Russian Academy of Sciences (36, Nakhimovskiy prosp., Moscow, Russia, 117997), e-mail: polukhin@ocean.ru.

**Kostyleva, Anna Vladimirovna**, PhD of Geography, Senior Researcher, Shirshov Institute of Oceanology of Russian Academy of Sciences (36, Nakhimovskiy prosp., Moscow, Russia, 117997), e-mail: ventis-ire@yandex.ru.