

УДК 551.464.38

ОСОБЕННОСТИ ГИДРОХИМИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ ЗОНЫ СМЕШЕНИЯ ВОД РЕКИ ЛЕНЫ И МОРЯ ЛАПТЕВЫХ В ОСЕННИЙ ПЕРИОД

© 2020 г. А. В. Костылева^{1, *}, А. А. Полухин¹, С. В. Степанова¹

¹Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Москва, Россия

*e-mail: ventis-ire@yandex.ru

Поступила в редакцию 26.03.2020 г.

После доработки 05.06.2020 г.

Принята к публикации 15.08.2020 г.

В основу работы легли данные, полученные в сентябре 2015 года в 63-м рейсе НИС “Академик Мстислав Келдыш”. Цель работы – рассмотреть особенности гидрохимической структуры в районе смешения вод р. Лена с водами моря Лаптевых. Исследования проводились в восточной части моря Лаптевых на квазимеридиональном разрезе протяженностью 710 км по параллели 130°30′ в.д. В работе было проанализировано распределение растворенного кислорода, рН, щелочности, основных биогенных элементов (фосфаты, кремний, нитратный и аммонийный азот) и хлорофилла-а. Рассмотрена взаимосвязь основных гидрохимических параметров и хлорофилла-а. Отмечено сходство распределения гидрохимических параметров с данными предыдущих исследований: существенный вынос кремния водами Лены (66.6 мМ) при среднем содержании нитратов (3.87 мМ) и низком – минерального фосфора (0.08 мМ) в области сильного воздействия речного стока (соленость 3.012 PSU). Установлено наличие области придонных застойных вод в районе, подверженном влиянию речного выноса. Показано, что поступление минеральных форм азота и фосфора в мористый район дельты р. Лена происходит не столько с материковым стоком, сколько в результате рециклинга биогенных элементов.

Ключевые слова: гидрохимия, море Лаптевых, речной сток, зона смешения, рециклинг биогенных элементов

DOI: 10.31857/S0030157420060064

ВВЕДЕНИЕ

В последние годы исследователи все большее внимание уделяют морям Северного Ледовитого океана. Колоссальное количество потенциальных энергоресурсов на арктическом шельфе, огромное влияние речного стока на окраинные моря, а также общие вопросы изменения климата и асидификации океана делают этот район чрезвычайно привлекательным для океанологов самых различных профилей. Общий бассейн водосбора многочисленных рек, впадающих в Северный Ледовитый океан, столь разнообразный по видам почв, растительности и ландшафта, составляет около 17×10^6 км². Однако большая часть стока выносится четырьмя реками: Обью, Енисеем и Леной в Евразии и рекой Маккензи в Северной Америке [17].

Лена – одна из крупнейших рек на Земле. По длине она занимает десятое место среди рек планеты, по полноводности – восьмое в мире и второе среди рек России (после Енисея). Река Лена берет начало на западном склоне Байкальского

хребта на высоте 930 м в 7 км от озера Байкал и несет свои воды на протяжении 4270 км до Северного Ледовитого океана. Площадь бассейна реки составляет 2.42×10^6 км². В среднем течении ширина Лены достигает 15 км, ширина русла в низовьях – до 20–25 км. Средний годовой расход воды в устье составляет около 17000 м³/с. Средний годовой сток в море Лаптевых около 540 км³. Река Лена ежегодно выносит в море около 12 млн т. взвешенных наносов и 41 млн т. растворенных веществ [11, 13].

Большая часть бассейна р. Лена расположена в области повсеместного распространения многолетнемерзлых горных пород и грунтов и покрыта тайгой (за исключением небольшого участка севернее 71° с.ш., лежащего в тундре и лесотундре) [3]. Питание реки смешанное: снеговое, дождевое и за счет подземных вод. В верхнем течении реки (до впадения р. Витим) питание сильно зависит от метеорологических условий, при этом на долю подземных вод, находящихся в условиях вечной мерзлоты, приходится 35–45%

годовой величины. В среднем течении (от устья р. Витим до впадения р. Алдан) река питается преимущественно дождевыми водами. В нижнем течении основным является снеговое питание, а доля подземных вод в питании реки не превышает нескольких процентов [11].

Примерно в 150 км от моря Лаптевых р. Лена образует обширную дельту, которая простирается на 45000 км². Река распадается на многочисленные протоки (около 150), из которых три главные: западная Оленекская, средняя Трофимовская и восточная Быковская (подробнее в [16]).

За последние 20 лет был проведен ряд экспедиций, как отечественных, так и международных, посвященных изучению ленских вод и влиянию терригенного стока на бассейн моря Лаптевых. Как результат этих проектов, был выпущен ряд статей, описывающих экосистемные процессы моря Лаптевых, такие как динамику гидрохимических параметров, органического вещества и карбонатной системы [5, 6, 10, 21, 22, 24, 27, 28], особенности распределения фито- и зоопланктона [15, 30], хлорофилла-а и первичной продукции [1, 2].

Цель нашей работы – рассмотреть особенности гидрохимической структуры в районе смешения ленских вод с водами моря Лаптевых и определить происхождение биогенных элементов в придонном слое приэстуарной зоны дельты р. Лена.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Данные, приведенные в работе, были получены в сентябре 2015 года в 63-м рейсе НИС “Академик Мстислав Келдыш”. Исследования проводились в восточной части моря Лаптевых на 384-мильном разрезе, берущем начало из бухты Тикси и заканчивающемся в точке с координатами 78° 22' с.ш. и 130° 30' в.д. В работе приведены материалы, собранные на 14 станциях (32 горизонта) в верхнем 60-м слое воды. Схема расположения станций показана на рис. 1. Во всех пробах по стандартным методикам [12] определялись основные гидрохимические параметры. Содержание растворенного кислорода определялось методом Винклера. Для определения общей щелочности использовался титриметрический метод Бруевича. Величина водородного показателя pH определялась в открытой ячейке в единицах шкалы NBS и приводилась к условиям *in situ*. Комплекс основных биогенных элементов, включающий в себя минеральный фосфор, силикаты, нитраты, нитриты, аммоний, определялся на спектрофотометре Nach-Lange DR 2800.

Для определения хлорофилла-а и доли феофитина (неактивной формы хлорофилла-а) в их общей сумме использовался стандартный экстракционный флюориметрический метод [23]. Измерения проводились на флюориметре Trilogy Turner

Designs (США). Подробно примененный метод определения хлорофилла-а и доли феофитина изложен в работе [1]. За нижнюю границу эвфотического слоя была принята глубина, на которой освещенность составляла 1% от освещенности на поверхности. Согласно [29] глубиной эвфотического слоя считалась глубина видимости диска Секки, умноженная на коэффициент три.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Величина солености на разрезе изменялась от 3.012 на ст. 5216 на горизонте 0 м до 34.453 PSU на горизонте 60 м на ст. 5228 (рис. 2). Эстуарная часть разреза характеризовалась резким галоклином: на ст. 5216 соленость у дна достигала 29.405 PSU при глубине 9 м. Согласно глубине видимости диска Секки мощность эвфотического слоя в речной части разреза составляла 3–15 м и увеличивалась на разрезе по мере удаления от дельты Лены (рис. 2–3). Низкая прозрачность, наблюдаемая в приэстуарном районе, обусловлена высокой концентрацией взвеси [15], выносимой речным стоком. На самой удаленной от берега станции глубина эвфотического слоя составила 36 м.

Пространственное распределение гидрохимических параметров, хлорофилла-а и доли феофитина на разрезе вдоль выноса реки Лены представлено на рис. 3. Содержание кремния в исследуемом районе изменялось от 2.16 до 66.61 μM , а минерального фосфора и нитратного азота – от 0.07 до 0.76 μM и от 0.14 до 17.33 μM соответственно. Отличительной особенностью распределения минерального фосфора и нитратного азота было увеличение содержания этих параметров под эвфотическим слоем в речной части разреза с максимальным содержанием у дна. Минимальные величины щелочности были отмечены в пресных водах (1.073 мМ), максимальные – в водах с морской соленостью (2.431 мМ).

Концентрация растворенного кислорода на разрезе варьировала от 4.99 до 8.04 мл/л с минимумом в придонных слоях речной части исследуемого района. Процентное содержание растворенного в воде кислорода на протяжении всего разреза не поднималось выше 97%. Таким образом, даже на поверхности содержание кислорода не достигало равновесной концентрации с содержанием кислорода в атмосфере. Под эвфотическим слоем в речной части зоны смешения, процентное содержание кислорода понижалось до 64%.

Распределение pH было схоже с распределением растворенного кислорода и характеризовалось минимальными величинами под слоем фотосинтеза в речной части зоны смешения (7.32 на станции 5216) и ростом значений по мере усиления влияния морских вод (в среднем до 7.9).

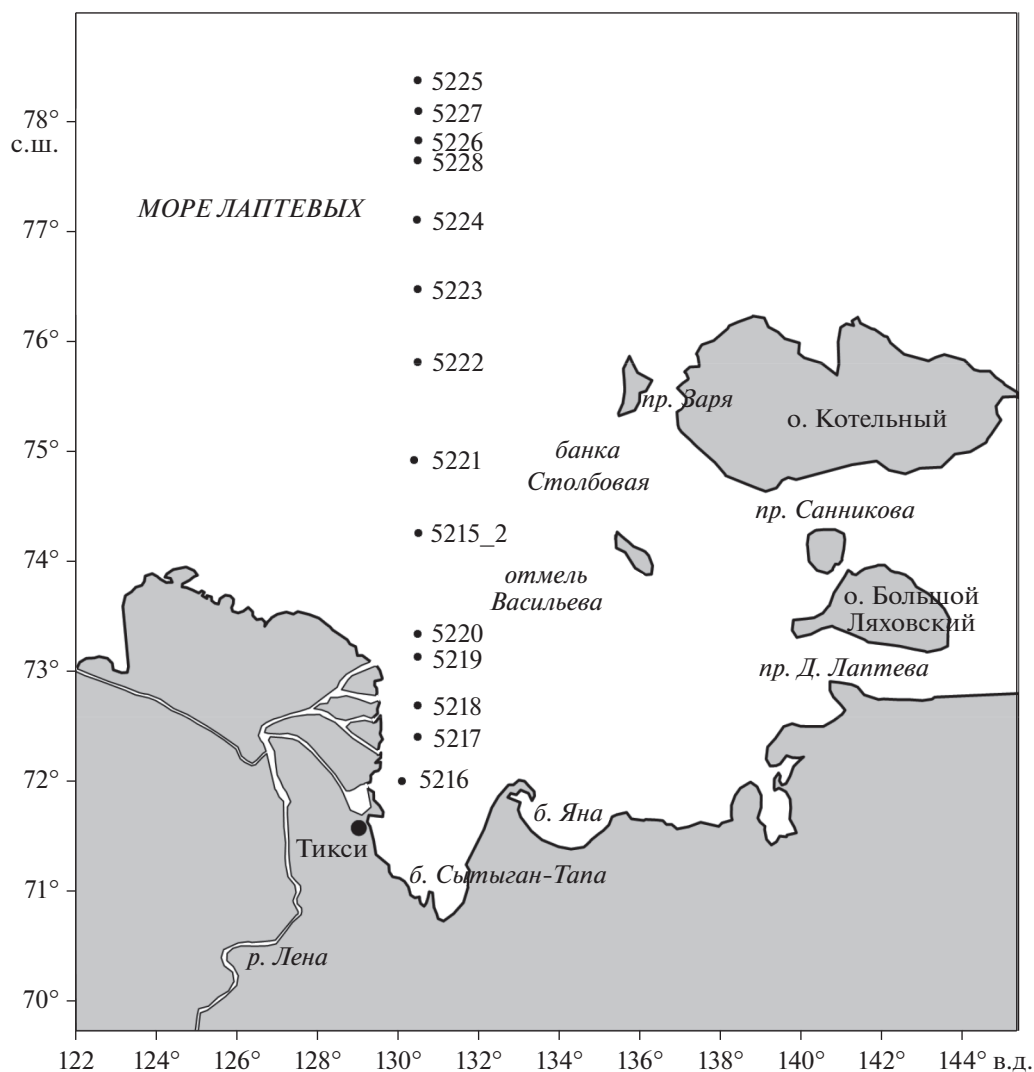


Рис. 1. Район исследований и станции "Ленского" разреза, выполненные в 63-м рейсе НИС "Академик Мстислав Келдыш" в сентябре 2015 г.

Концентрация Chl-а изменялась в пределах от 0.01 до 1.21 мг/м³. Максимальное содержание Chl-а было отмечено на поверхности в речной части разреза. При этом доля феофитина была довольно высокой (в среднем по разрезу 0.58) и колебалась от 0.18 на поверхности до 0.92 у дна.

С использованием полученных данных были построены диаграммы зависимости щелочности, кремния, минерального фосфора и нитратного азота от солености (рис. 4). Щелочность имеет консервативное распределение, что характерно для большинства зон смешения пресных и морских вод. Кремний отклоняется от консервативности в водах под эвфотическим слоем в районе влияния речного стока. Тем не менее, общая тенденция распределения кремния типична для большинства зон смешения и характеризуется уменьшением содержания кремния по мере уси-

ления влияния морских поверхностных вод. Диаграмма зависимости нитратного азота от солености демонстрирует неконсервативное распределение нитратов и незначительный их вынос из реки в море по сравнению с их содержанием под слоем фотосинтеза в примыкающей к дельте части разреза. Диаграмма зависимости минерального фосфора от солености показывает равномерное распределение фосфатов в трансформированных водах. Существенное увеличение содержания фосфатов и нитратов происходит под эвфотическим слоем в речной части разреза.

ОБСУЖДЕНИЕ

Термохалинная структура вод, динамические процессы в толще, а также фронтальные зоны, формирующиеся на границах взаимодействия

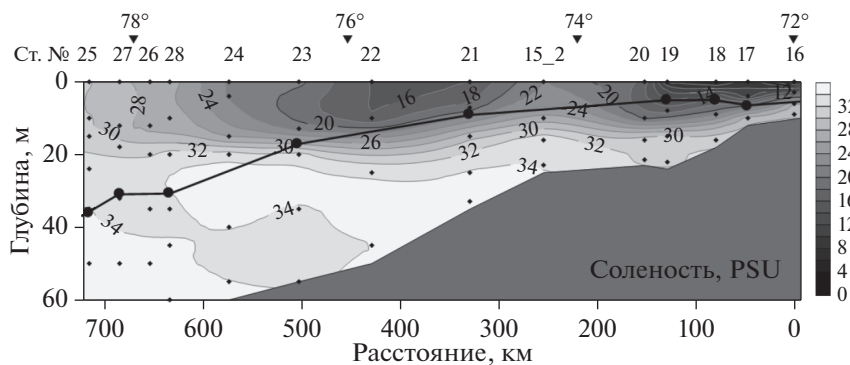


Рис. 2. Распределение солености на “Ленском” разрезе [5, 14]. Черной линией изображена граница эвфотического слоя.

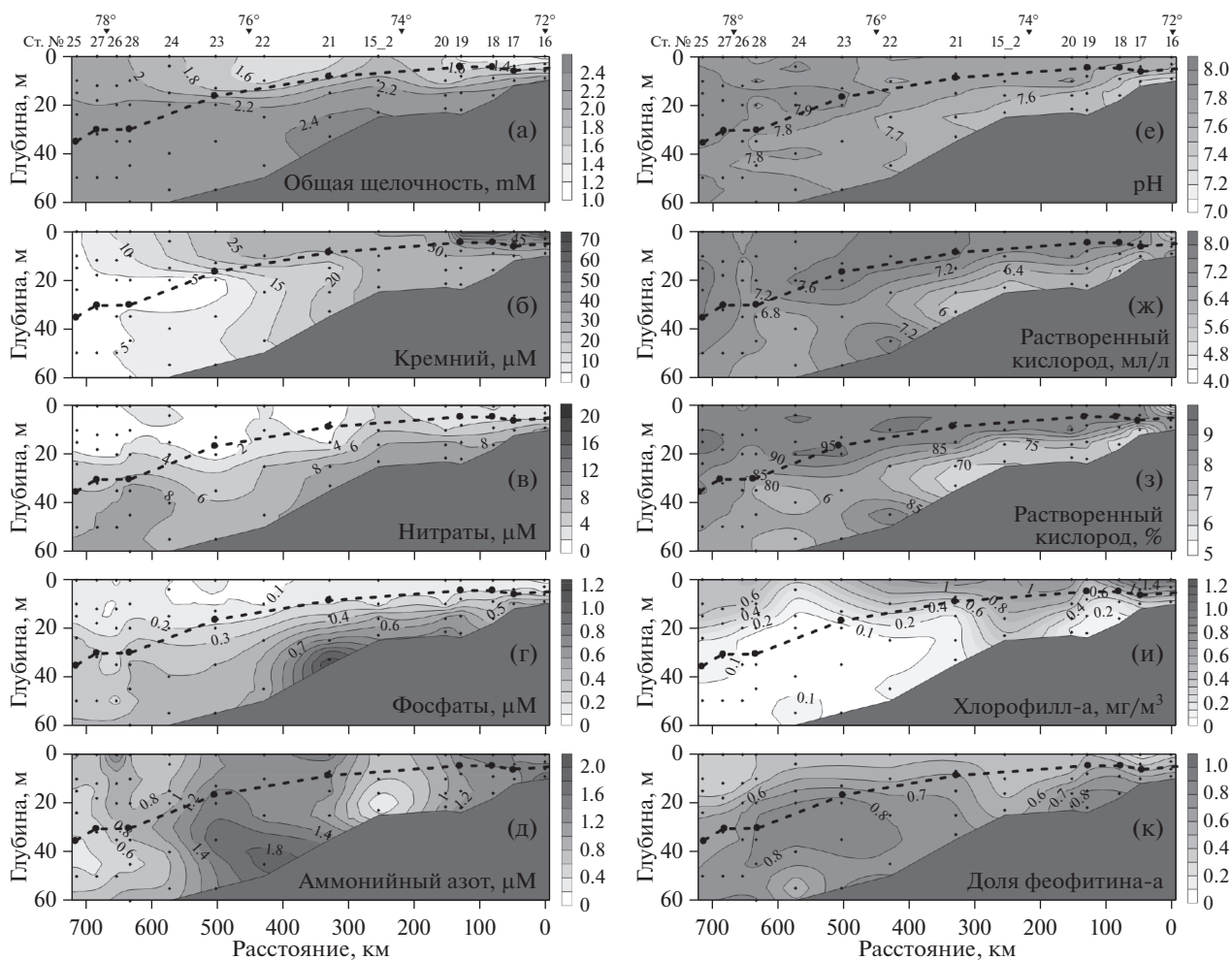


Рис. 3. Распределение параметров на исследуемом разрезе: а) общей щелочности, mM [14]; б) кремния, μM [6, 14]; в) нитратов, μM [6, 14]; г) фосфатов, μM [6, 14]; д) аммонийного азота, μM [14]; е) водородного показателя (pH) [5, 6]; ж) растворенного кислорода, мл/л [6]; з) растворенного кислорода, % [14]; и) хлорофилла-а, mg/m^3 [2]; к) доли феофитина в сумме хлорофилл-а и феофитин. Черной прерывистой линией изображена граница эвфотического слоя.

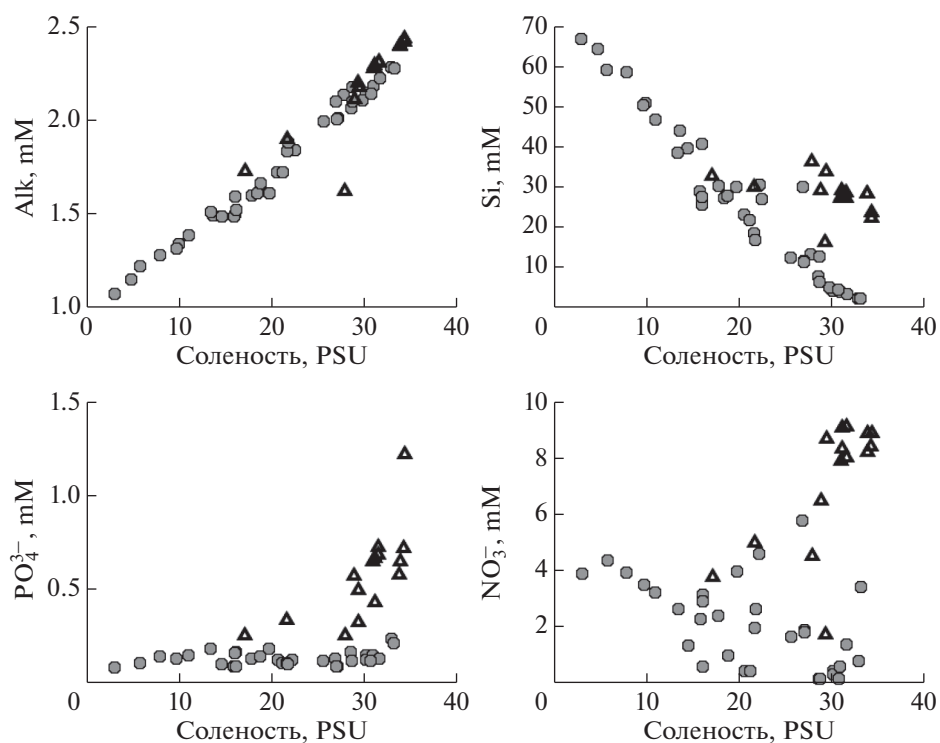


Рис. 4. Графики зависимости щелочности, минерального фосфора, кремния, и нитратов от солености на разрезе вдоль выноса р. Лены (серыми кругами обозначены поверхностные трансформированные воды и морские воды в северной части разреза, черными треугольниками — воды, расположенные под эвфотическим слоем в речной зоне разреза).

речных вод р. Лена и морских вод моря Лаптевых, подробно описаны в [15]. Показанные нами распределения биогенных элементов и параметров карбонатной системы подчеркивают эти исследования. Так, по распределению общей щелочности (рис. 3а) хорошо видно выделенную в [15] область внутреннего шельфа с высоким градиентом солености и высокой температурой в поверхностном слое. А распределение аммонийного азота (рис. 3д) подчеркивает область локального поднятия пикноклина с сопутствующим уменьшением верхнего квазиродного слоя на станции 5215-2. Здесь же зарегистрирован локальный максимум биомассы водорослей — 97 мг/м^3 [15], что может быть связано с поступлением необходимого для фитопланктона количества биогенных элементов.

Полученные нами величины содержания основных биогенных элементов хорошо согласуются с результатами предыдущих работ [18, 20, 26, 30]. Согласно обобщенным исследованиям, среднее содержание биогенных элементов в стоке разных рек арктического бассейна, в том числе и Лены, составляет: $70.00 \text{ }\mu\text{M}$ кремния, $3.00 \text{ }\mu\text{M}$ нитратов, $3.00 \text{ }\mu\text{M}$ аммонийного азота, $0.30 \text{ }\mu\text{M}$ минерального фосфора [20]. Согласно другим наблюдениям, проводившемся в сентябре 1989 и 1991 гг., средние значения кремния, нитратного азота и

фосфатов в дельте Лены составляли 72.00 , 6.00 и $0.80 \text{ }\mu\text{M}$ соответственно [18]. Авторы работы [25], проводившие исследования в июле 1994 г. непосредственно в реке и ее притоках, сообщают о схожих концентрациях фосфатов и кремния, но о гораздо более низких значениях нитратного и аммонийного азота (средние значения нитратов, нитритов, аммония, фосфатов и кремния были равны 0.6 , 0.07 , 0.13 , 0.5 и $66 \text{ }\mu\text{M}$ соответственно). Авторы предполагают, что низкие величины неорганического азота могли быть связаны с предшествующим “цветением” фитопланктона, либо со спецификой Ленских вод. В работе [26] диапазон variability кремния в водах реки Лены составляет $50\text{--}72 \text{ }\mu\text{M}$ (пробы отбирались с 4 по 14 сентября 1989 г.). В ряде работ делается упор на низкие концентрации минерального фосфора и азота в распресненных поверхностных водах [18, 25, 30]. Увеличение содержания биогенных элементов происходит под эвфотическим слоем в водах, прилегающих к дельте [9]. Накопление биогенных элементов может происходить как следствие разложения органической составляющей взвеси (детрит), оседающей с поверхности на маргинальном фильтре [4]. На разложение взвеси расходуется кислород, поступление которого с поверхности затруднено по причине стратификации вод (рис. 2).

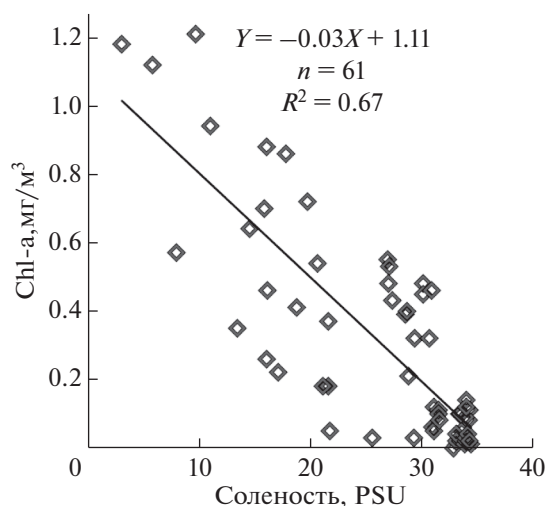


Рис. 5. Диаграмма зависимости хлорофилла-а от солености на разрезе.

В работе [9] говорится о том, что типичной особенностью придонной структуры юго-восточной части моря Лаптевых, подверженной влиянию речного стока, является наличие так называемых “застойных” зон, насыщенных кислородом всего на 30–50% и с относительно высоким содержанием кремния (750–1000 мкг/л или ~26–36 μM), фосфатов (40–50 мкг/л или 1.30–1.60 μM) и нитратов (130–150 мкг/л или 9–11 μM). В нашем случае содержание кислорода снижалось до 64%, а величина минерального фосфора, нитратов и кремния у дна в речной части разреза составляло, соответственно, в среднем 0.8, 10 и 32 μM . При этом среднее значение для минерального фосфора, азота и кремния на станциях 5216–5219 на поверхности составило соответственно 0.11, 4 и 59 μM . Таким образом, содержание минерального фосфора и нитратов у дна в 8 и 2.5 раза, соответственно, больше, чем в распресненных водах. Поэтому можно предположить, что накопление минерального фосфора и нитратов в исследуемом районе происходит в большей степени не за счет выноса речных вод, а за счет разложения органического вещества в застойных водах с морской соленостью, т.е. за счет рециклинга биогенных элементов.

Увеличение содержания биогенных элементов под эвфотическим слоем в прилегающих к дельте водах шельфа сопровождалось увеличением доли феофитина. На станциях 5216–5218 на глубине 9–10 м доля феофитина составляла 0.7, у дна на ст. 5218 на глубине 15 м – 0.83. Согласно [8] увеличение доли феофитина до 40–65% в сумме пигментов свидетельствует об угнетенном состоянии фитопланктона с пониженной физиологической активностью и низким продукционным потенциалом. При доле феофитина более 65% клетки во-

дорослей не обладают нужным для фотосинтеза потенциалом и отмирают. В этой же работе отмечено увеличение доли феофитина на горизонтах ниже слоя фотосинтеза, что объясняется авторами как накоплением в этих горизонтах оседающих погибших клеток, так и процессом феофитинизации живых водорослей при недостатке света. В работе [7] установлена сильная отрицательная линейная зависимость между первичной продукцией и долей феофитина, что позволяет рассматривать величину доли феофитина в качестве потенциальной фотосинтетической способности одноклеточных водорослей. Таким образом, рост доли феофитина, увеличение содержания биогенных элементов, а также уменьшение рН и снижение содержания растворенного кислорода под слоем фотосинтеза в речной части разреза (рис. 3) указывает на превалирование деструкционных процессов над продукционными в этом районе.

Зависимость концентрации Chl-a от солености воды, приведенная на рис. 5, демонстрирует снижение содержания Chl-a по направлению от реки к морю. В этом же направлении убывает содержание кремния и увеличивается величина щелочности (рис. 4). Чтобы оценить влияние химического состава речных вод на развитие фитопланктона в зоне смешения, нами были рассчитаны коэффициенты корреляции для гидрохимических параметров и Chl-a, измеренных на протяжении всего разреза в интервале солености от 3 до 30 PSU. Коэффициент корреляции между фосфат-ионом и Chl-a составил $R = -0.53$ ($n = 61$), между Chl-a и нитрат-ионом – ($R = -0.47$, $n = 61$), между Chl-a и кремнием ($R = 0.66$, $n = 61$).

Обратная зависимость между Chl-a и нитратным азотом, а также между Chl-a и фосфат-ионом, не так очевидна, как связь Chl-a с щелочностью и соленостью. Между Chl-a и общей щелочностью коэффициент корреляции R составил (-0.84), $n = 61$. При этом коэффициент корреляции между Chl-a и щелочностью оказался очень близок к коэффициенту корреляции между Chl-a и соленостью ($R = -0.82$, $n = 61$). Поскольку соленость, общая щелочность и кремний выступают в роли индикаторов речных вод, можно заключить, что снижение концентрации Chl-a в поверхностных водах связано с изменениями условий, которые определяются “разбавлением” речного стока морскими водами. Поэтому, с учетом коэффициентов корреляции между Chl-a, кремнием, щелочностью и соленостью, Chl-a в данном случае можно рассматривать как маркер речного стока.

ВЫВОДЫ

Распределение гидрохимических параметров в зоне смешения вод р. Лена с водами моря Лаптевых хорошо согласуется не только с термохалиновой структурой вод, но и с биологическими дан-

ными, что подчеркивает важность комплексных исследований в зоне смешения река–море.

Сравнение полученных нами гидрохимических данных с ранее опубликованными демонстрирует довольно устойчивую на протяжении долгих лет гидрохимическую ситуацию в районе смешения вод моря Лаптевых и вод стока Лены. Судя по станции, в области сильного воздействия речного стока (соленость 3.012 PSU) был отмечен существенный вынос кремния водами Лены – 66.6 μM , при среднем уровне содержания нитратов – 3.87 μM и низком – минерального фосфора – 0.08 μM . Показано, что поступление минеральных форм азота и фосфора в мористый район дельты р. Лена происходит не столько с материковым стоком, сколько за счет разложения органического вещества в застойных водах с морской соленостью, т.е. за счет рециклинга биогенных элементов.

В период исследований обратная зависимость между хлорофиллом-а и нитратами, а также между хлорофиллом-а и фосфат-ионом, была слабее, чем прямая зависимость хлорофилл-а от солености, щелочности и кремния. Это позволяет в данном случае рассматривать концентрацию хлорофилл-а на шельфе моря Лаптевых как маркер воздействия стока Лены.

В прилегающей к дельте Лены области шельфа под галоклином отмечено низкое – до 64% – процентное содержание кислорода. Снижение содержания кислорода сопровождалось увеличением доли феофитина до 0.83. Подобное соотношение хлорофилла-а и феофитина говорит о стагнации фитопланктона, что вероятнее всего связано с недостатком света. Низкое содержание кислорода, увеличение доли феофитина в сумме пигментов, рост концентрации минерального фосфора, нитратов и кремния, а также уменьшение рН указывает на преобладание деструкционных процессов над продукционными в этой зоне.

Благодарности. Авторы выражают благодарность начальнику экспедиции М.В. Флинту за предоставленную возможность участия в 63-м рейсе НИС “Академик Мстислав Келдыш”, П.Н. Маккавееву за помощь при выполнении работы и плодотворные дискуссии и А.Б. Демидову за предоставленные данные по хлорофиллу-а и глубине видимости диска Секки, а также за обсуждение материала и ценные замечания. Авторы признательны анонимному рецензенту за внимательное прочтение работы и полезные рекомендации по представлению материала.

Источники финансирования. Работа выполнена в рамках Госзадания ИОРАН (тема № 149-2019-0008), а также при поддержке грантов РФФИ (№ 19-17-00196, обработка гидрохимических данных) и РФФИ (№ 18-05-60069, обработка биологических данных).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Демидов А.Б., Гагарин В.И., Арашкевич Е.Г. и др. Пространственная изменчивость первичной продукции и хлорофилла в море Лаптевых в августе–сентябре // *Океанология*. 2019. Т. 59. № 5. С. 755–770.
2. Демидов А.Б., Гагарин В.И., Артемьев В.А. и др. Вертикальная изменчивость первичной продукции и характеристики подповерхностного хлорофильного максимума в море Лаптевых в августе–сентябре 2015, 2017 и 2018 гг. // *Океанология*. 2020. Т. 60. № 2. С. 216–232.
3. Кожов М.М. Пресные воды Восточной Сибири. Иркутск: ОГИЗ, 1950. 367 с.
4. Лисицын А.П. Маргинальный фильтр океанов // *Океанология*. 1994. Т. 34. № 5. С. 737–747.
5. Маккавеев П.Н., Полухин А.А., Селиверстова А.М. и др. Растворенный неорганический углерод в приустьевом районе реки Лена: результаты экспедиций 2015 и 2017 гг. // *Океанология*. 2018. Т. 58. № 4. С. 565–577.
6. 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.
7. Мошаров С.А., Демидов А.Б., Симакова У.В. Особенности процессов первичного продуцирования в Карском море в конце вегетационного периода // *Океанология*. 2016. Т. 56. № 1. С. 90–100.
8. Мошаров С.А., Сергеева В.М. Оценка функционального состояния морского фитопланктона по флуоресцентным показателям и соотношению концентраций феофитина и хлорофилла-а // *Вопросы современной альгологии*. 2018. № 1 (16)
9. Пивоваров С.В. Химическая океанография арктических морей России / С. В. Пивоваров; Федер. целевая программа “Гос. поддержка интеграции высш. образования и фундам. науки на 1997–2000 гг.”. СПб.: Гидрометеоздат, 2000. 88 с.
10. Пипко И.И., Пугач С.П., Дударев О.В. и др. Карбонатные параметры вод реки Лены: характеристики и распределение // *Геохимия*. 2010. № 11. С. 1206–1213.
11. Ресурсы поверхностных вод СССР. Т. 17. Лено-Индибирский район // Под ред. Протасьева М.С. Л.: Гидрометеоздат, 1972. 651 с.
12. Руководство по химическому анализу морских и пресных вод при экологическом мониторинге рыбохозяйственных водоемов и перспективных для промысла районов Мирового океана. Ред. Сапожников В.В. М.: Изд-во ВНИРО, 2003. 202 с.
13. Соколов А.А. Гидрография СССР. Л.: Гидрометеоздат, 1952. 287 с.
14. Степанова С.В., Полухин А.А., Костылева А.В. Гидрохимическая структура вод в восточной части моря Лаптевых осенью 2015 г. // *Океанология*. 2017. Т. 57. № 1. С. 67–74.
15. Суханова И.Н., Флинт М.В., Георгиева Е.Ю. и др. Структура сообществ фитопланктона в восточной части моря Лаптевых // *Океанология*. 2017. Т. 57. № 1. С. 86–102.

16. Эстуарно-дельтовые системы России и Китая: гидролого-морфологические процессы, геоморфология и прогноз развития / Ред. Коротаев В.Н. и др. М.: ГЕОС, 2007. 445 с.
17. *Anderson L.G.* DOC in the Arctic Ocean // *Hansell D.A., Carlson C.A. (Eds.), Biogeochemistry of Marine Dissolved Organic Matter.* San Diego: Academic Press, 2002. P. 665–683.
18. *Cauwet G., Sidorov I.* The biogeochemistry of Lena River: Organic carbon and nutrients distribution // *Marine Chemistry.* 1996. № 53. P. 211–227.
19. *Fisher T.R., Harding L.W.Jr., Stanley D.W. et al.* Phytoplankton, Nutrients, and Turbidity in the Chesapeake, Delaware, and Hudson Estuaries // *Estuarine, Coastal and Shelf Science.* 1988. № 27. P. 61–93.
20. *Gordeev V.V., Martin J.M., Sidorov I.S. et al.* A reassessment of the Eurasian river input of water, sediment, major elements, and nutrients to the Arctic Ocean // *Am. Sci.* 1996. № 296. P. 664–691.
21. *Guggenberger G., Skoog A., Thomas D.N.* Dissolved organic matter and nutrients in the Lena River, Siberian Arctic: Characteristics and distribution // *Marine Chemistry.* 1998. № 59. P. 301–309.
22. *Heiskanen A-S., Keck A.* Distribution and sinking rates of phytoplankton, detritus, and particulate biogenic silica in the Laptev Sea and Lena River (Arctic Siberia) // *Marine Chemistry.* 1996. № 53. P. 229–245.
23. *Holm-Hansen O., Riemann B.* Chlorophyll-a determination: improvements in methodology // *Oikos.* 1978. V. 30. P. 438–447.
24. *Kattner G., Lobbes J.M., Fitznar H.P. et al.* Tracing dissolved organic substances and nutrients from the Lena River through Laptev Sea (Arctic) // *Marine Chemistry.* 1999. № 65. P. 25–39.
25. *Lara R.J., Rachold V., Kattner G. et al.* Dissolved organic matter and nutrients in the Lena River, Siberian Arctic: Characteristics and distribution // *Marine Chemistry.* 1998. № 59. P. 301–309.
26. *Le'tolle R., Martin J.M., Thomas et al.* ¹⁸O abundance and dissolved silicate in the Lena Delta and Laptev Sea_Russia // *Marine Chemistry.* 1993. № 43. P. 47–64.
27. *Martin J.M., Guan D.M., Elbaz-Poulichet F. et al.* Preliminary assessment of the distributions of some trace elements (As. Cd. Cu. Fe. Ni. Pb and Zn) in a pristine aquatic environment: the Lena River estuary (Russia) // *Marine Chemistry.* 1993. № 43. P. 185–199.
28. *Peulve S., Sicre M-A., Saliot A. et al.* Molecular characterization of suspended and sedimentary organic matter in an Arctic delta // *Limnology and Oceanography.* 1996. № 41(3). P. 488–497.
29. *Pilgrim D.A.* Measurement and estimation of the extinction coefficient in turbid estuarine waters // *Continental Shelf Research.* 1987. V. 7. P. 1425–1428.
30. *Sorokin Yu.I., Sorokin P.Yu.* Plankton and Primary Production in the Lena River Estuary and in the South-eastern Laptev Sea // *Estuarine, Coastal and Shelf Science.* 1996. № 43. P. 399–418.

Peculiarities of Hydrochemical Structure of the Lena River and Laptev Sea Mixing Zone in Autumn Period

A. V. Kostyleva^{a, #}, A. A. Polukhin^a, S. V. Stepanova^a

^a*Shirshov Institute of Oceanology, Moscow, Russia*

[#]*e-mail: ventis-ire@yandex.ru*

This work was based on data obtained during the R/V “Akademik Mstislav Keldysh” 63rd cruise in September 2015. The goal of the paper is to examine the features of the hydrochemical structure of the Lena River and Laptev Sea mixing zone. The studies were carried out in the eastern part of the Laptev Sea on a quasi-meridional section, with the length of 710 km along 130°30' eastern longitude. The distribution of dissolved oxygen, pH, alkalinity, main nutrients (phosphate, silicate, nitrate and ammonium nitrogen) and chlorophyll-a was analyzed. The relationship between main hydrochemical parameters and chlorophyll-a was considered. Comparison of our results with the results of previous studies has shown a similar distribution of hydrochemical parameters, namely a significant influx of silicate from the Lena River with a medium content of nitrates and low concentration of mineral phosphorus (66.6 μM, 3.87 and 0.08 μM, respectively at 3.012 PSU) in the area of a strong river run-off impact. The presence of a near-bottom stagnant water zone in the part of research area affected by river runoff has been established. It is shown that the influx of mineral forms of nitrogen and phosphorus into the marine region of the Lena river delta occurs not mostly due to the continental runoff, but as a result of nutrients recycling.

Keywords: hydrochemistry, Laptev Sea, continental runoff, mixing zone, nutrients recycling