

ПРИРОДНЫЕ И ТЕХНОПРИРОДНЫЕ ПРОЦЕССЫ

УДК 550/46

ОСОБЕННОСТИ ГЕОЭКОЛОГИИ МИКРОПРИЛИВНЫХ УСТЬЕВ МАЛЫХ РЕК С НАЛИЧИЕМ ДЕЛЬТЫ В РАЙОНАХ АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЫ РОССИИ В ЛЕТНЕ-ОСЕННЮЮ МЕЖЕНЬ НА ПРИМЕРЕ УСТЬЯ РЕКИ КАДЬ В БЕЛОМ МОРЕ

© 2024 г. И. В. Мискевич^{1,*}, Д. С. Мосеев^{1,**}, А. Е. Яковлев^{1,***}

¹Институт океанологии им. П.П. Ширшова РАН, Нахимовский пр., 36, Москва, 117997 Россия

*E-mail: subarct@gmail.com

**E-mail: viking029@yandex.ru

***E-mail: jakich1@yandex.ru

Поступила в редакцию 28.08.2023 г.

После доработки 16.01.2024 г.

Принята к публикации 25.03.2024 г.

Рассмотрены гидрологические, гидрохимические и гидробиологические условия устья р. Кадь, впадающей в губу (лагуну) Сухое Море в Двинском заливе Белого моря. Выявлено, что процессы седиментации взвесей наиболее развиты в дельте реки и на ее мелководном устьевом взморье. На этих же устьевых участках формируются обширные заросли галофитов, и отмечается максимальное накопление тяжелых металлов в донных отложениях. Наибольшие концентрации металлов в донных отложениях в устье р. Кадь характерны для марганца, цинка и никеля. Подобная картина наблюдается и в уровнях загрязнения снежного покрова в рассматриваемом районе (в юго-западной части Беломорско-Кулойского плато). Это указывает на значительный вклад снега в накопление тяжелых металлов в устьевой области реки и прилегающего к ней участка лагуны Сухое Море. Возможно, такая ситуация является типичной для устьев рек арктической зоны. В условиях наблюдаемого потепления климата зафиксированные в устье Кади процессы позволяют предположить, что в микроприливных устьях рек арктических морей они будут приводить к заболачиванию и сокращению площадей лагун. При этом маргинальные фильтры устьев рек арктических островов будут увеличивать свою пространственную протяженность в пределах лагун, в первую очередь, за счет коагуляционно-сорбционной и биологической ступеней.

Ключевые слова: река Кадь, дельта, лагуна, маргинальный фильтр, прилив, взвеси, металлы, седиментация, Арктика, потепление, мерзлота, заболачивание

DOI: 10.31857/S0869780924030037 EDN: SPRYQN

ВВЕДЕНИЕ

Среди устьев малых рек российской Арктики широко распространены водные объекты лагунно-дельтового типа. Они, в частности, характерны для низменных участков побережий таких островов, как Колгуев, Новая Земля в Баренцевом и Карском морях и Котельный в море Лаптевых. Здесь под малой рекой, в соответствии с ГОСТ 19179-73 “Гидрология суши. Термины и определения”, будем понимать водоток с площадью водосбора не более 2000 км². В устьях таких рек, как правило, наблюдаются микроприливные условия, когда величина прилива в сизигию превышает 0.3 м, но не выходит за пределы уровня в 1.6 м [3].

Геоэкологическое изучение вышеупомянутых устьев рек практически не проводилось, если не считать их геоморфологических исследований

путем анализа космических снимков (карт) [6]. Возможно, это исторически обусловлено сосредоточением основного интереса к изучению устьев арктических рек на примере больших рек (Печора, Обь, Енисей, Лена, Колыма и т.д.). В отличие от них устья малых рек в подавляющем большинстве недоступны для морского, речного и другого транспорта, за исключением вертолетов, использование которых требует больших финансовых затрат. С другой стороны, учитывая наличие развитой гидрографической сети малых водотоков на арктической территории, возникает проблема оценки условий обмена различными веществами, включая загрязняющие примеси, между сушей и морем на фоне наблюдаемого потепления климата на множестве локальных участков российской Арктики, в том числе с расположением

промышленных объектов по эксплуатации месторождений полезных ископаемых.

Исследование особенностей геоэкологических условий микроприливных устьев малых рек в арктических регионах можно провести в районах со сравнительно развитой транспортной инфраструктурой, используя метод аналогового моделирования. В частности, можно получить необходимые характеристики, анализируя результаты комплексных исследований устья р. Кадь, впадающей в лагунообразную губу Сухое море в Двинском заливе Белого моря. Устье р. Кадь можно отнести к лагунно-дельтовому типу.

Несмотря на сравнительно мягкие климатические условия, гидрологические характеристики Кади схожи с параметрами, типичными для многих устьев арктических рек, в первую очередь в западном секторе российской Арктики – в Баренцевом, Печорском и Карском морях. Здесь наблюдается продолжительный период существования ледового покрова (около 7 месяцев), относительно короткая летняя межень (не более 2-х месяцев) и хорошо выраженный максимум весеннего стока реки.

Таким образом, геоэкологические характеристики в устье р. Кадь, учитывая, в первую очередь, схожесть гидрологических условий, можно использовать для аналогового моделирования условий, наблюдаемых во многих устьях рек арктических морей, по крайней мере, располагающихся в зоне лесотундры.

МЕТОДИКА И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для получения необходимой информации были использованы данные исследований Северо-Западного отделения Института океанологии им. П.П. Ширшова РАН (СЗО ИО РАН), проведенных в начале сентября 2021 г. Схема расположения створов в пределах исследуемой части устьевой области р. Кадь отражена на рис. 1.

Исследования в устье р. Кадь проводились 3–7 сентября 2021 г. Река имеет длину около 96 км, площадь водосбора 341 км² и относится к малым рекам. При впадении в лагуну Сухое море она формирует небольшую многорукавную дельту. В свою очередь, лагуна Сухое море располагается на устьевом взморье большой р. Северная Двина.

В состав проведенных полевых работ входили:

- полусуточные наблюдения с дискретностью 2 ч в вершине дельты на станции, удаленной на 1.3 км от морского края дельты реки, за уровнем воды, температурой и соленостью воды, содержанием кислорода и величиной рН, также осуществлялся отбор проб воды для определения содержания взвеси и растворенного общего фосфора на поверхностном горизонте; эти наблюдения

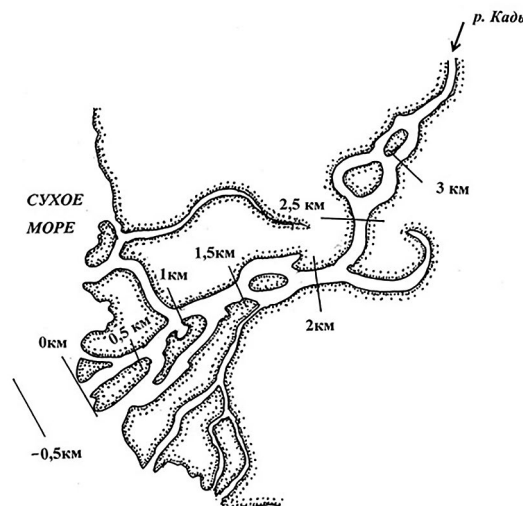


Рис. 1. Схема расположения створов наблюдений в устье р. Кадь в губе Сухое море в 2021 г.

сопровождались синхронным отбором проб воды на створе 1 км выше морского края дельты;

- гидрологический разрез на 5 створах (–0.5, 0, 1, 2, 3 км) вдоль устья реки в зоне смешения морских и речных вод в полную воду приливного цикла; на всех створах на поверхностном горизонте производились измерения температуры и солености воды, кислорода, величины рН и отбор проб на содержание взвеси и общего фосфора;

- отбор проб донных отложений для определения содержания тяжелых металлов на трех створах: на морском крае дельты реки и на створах 1 и 2 км выше морского края дельты;

- фиксация характера галофитной растительности в устье реки.

Для замера температуры, солености (минерализации), кислорода и величины рН в поверхностных водах использовался многопараметрический анализатор жидкости Multi 3420 фирмы WTW (Германия), позволяющий, в том числе, определять суммарное содержание всех растворенных веществ. Уровень воды определялся по водомерной рейке с привязкой к условному нулю поста. Выделение взвеси проводилось методом мембранной ультрафильтрации под вакуумом через чистые ядерные фильтры (обработанные 4-процентной соляной кислотой и тщательно промытые бидистиллированной водой). Фильтрация каждой пробы воды проводилась через 3 параллельных операций.

При определении растворенного общего фосфора пробы воды предварительно фильтровались через ядерные фильтры с диаметром пор 0.45 мкм. Затем проводилось окисление фосфорсодержащих органических соединений до фосфатов, концентрации которых измерялись

на спектрофотометре модели DR3900 фирмы "HACH-LANGE", Германия.

Содержание тяжелых металлов в донных отложениях определялось по методике атомно-абсорбционной спектрометрии "холодного пара" (ААС ХП) согласно требованиям М-МВИ-80-2008¹.

Галофитный растительный покров в устье р. Кадь изучался в ходе маршрутных обследований на малой воде приливного цикла и методом закладки геоботанических площадок в пределах естественных контуров фитоценозов.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Микроприливное устье реки можно разделить на:

- открытое устьевое взморье протяженностью около 0.5 км, располагающееся в лагуне Сухое Море;
- дельту протяженностью около 1.5 км;
- устьевой участок реки длиной около 3 км.

Глубины на устьевом взморье реки в малую воду прилива были очень незначительными и колебались в пределах 0.1–0.3 м. В дельтовых протоках на их отдельных участках в эту фазу прилива они могли возрастать до 1 м. На устьевом взморье и в дельтовых протоках донные отложения представлены серыми илами, местами встречается черный ил. В вершине дельты и на нижнем отрезке устьевое участка реки в малую воду прилива максимальные глубины могли достигать 2–3-х м и даже более. Здесь донные отложения вне зон приливных осушек, ширина которых чаще всего колеблется в интервале 2–5 м, представлены в основном песком, илистым песком с включениями ила, местами глиной и гравием.

За пределами устьевой области наибольшие глубины в летне-осеннюю межень в р. Кадь обычно колеблются в диапазоне 0.5–1.0 м. Исключение здесь могут составлять лишь редкие ямы в омутах, где глубины достигают нескольких метров. Ихтиофауна реки представлена кумжей, сигом, хариусом, щукой, окунем, язём, ельцом и налимом, отмечаются заходы горбуши.

Отмеченное распределение глубин в устьевой области реки указывает, что наиболее интенсивно процессы седиментации взвешенного материала происходят в дельте и на устьевом взморье реки, где заросли галофитов и ослабление приливных течений способствуют выпадению взвесей в осадок, а также дополнительно формируют взвешенные вещества биологического происхождения

¹ Методика выполнения измерений массовой доли элементов в пробах почв, грунтов и донных отложениях методами атомно-эмиссионной и атомно-абсорбционной спектрометрии. <https://files.stroyinf.ru/Index2/1/4293824/4293824289.htm>

за счет деструкции многочисленной водной растительности.

В вершине дельты и на нижнем отрезке устьевое участка рек за счет усиления приливных течений при уменьшении поперечного сечения водотока происходит размыв мелкодисперсных осадков. Это позволяет здесь формироваться более значительным глубинам и препятствует масовому разрастанию галофитов.

Результаты проведенных гидролого-гидрохимических наблюдений показаны в табл. 1–4. Их анализ производился в рамках модели маргинального фильтра, которую предложил академик А.П. Лисицын [1]. Эта модель отражает процессы обмена веществами между сушей и морем в зоне смешения речных и морских вод. Она подразумевает, что при возрастании солености устьевых вод формируются три последовательные зоны (ступени): 1) гравитационная (мутевая "пробка"), 2) коагуляционно-сорбционная, 3) биологическая (биологическая "пробка").

На первой ступени отмечается максимальная мутность устьевых вод, на последующей наибольшую активность получают геохимические процессы, а в третьей зоне фиксируется значительное повышение биомассы планктона и бентоса. Например, в Белом море для устьевой области р. Северная Двина первой зоне соответствует диапазон солености 0.5–5‰, второй – 5–20‰, и третьей – >20‰ [5].

В период проведения полевых работ величина прилива в вершине дельты р. Кадь колебалась около 0.8 м. Соленые воды в фазу прилива проникли вглубь устья реки на расстояние около 3–4 км от морского края дельты. В дельте Кади максимальная соленость на приливе может достигать 14‰, но она зависит от колебаний расходов Северной Двины, которые, в свою очередь, определяют степень распреснения вод губы Сухое Море.

Анализ зависимостей исследуемых показателей от распределения солености показал следующее. Содержание взвешенных веществ имеет нелинейную связь с соленостью устьевых вод, отражая их уменьшение не только за счет разбавления морских вод речными (седиментацию) в пределах дельты и устьевое взморье реки (рис. 2а).

Одновременно в пределах дельты реки наблюдается повышение кислородонасыщения вод (выше 100%) (см. 2б) и величины рН (см. рис. 2в), очевидно, связанное с процессами фотосинтеза при вегетации микроводорослей и водных макрофитов.

Для растворенного общего фосфора фиксируется наличие линейной зависимости с возрастанием его концентраций по мере увеличения солености устьевых вод (см. рис. 2г), что позволяет предположить явное доминирование в его составе

Таблица 1. Результаты гидролого-гидрохимических полусуточных наблюдений на поверхностном горизонте на створе 1 км выше морской границы дельты р. Кадь, 05.09.2021 г.

Номер серии	Время (MSK)	T, °C	S, ‰	pH	Кислород	
					мг/л	%
I	10:00	9.8	3.8	7.80	11.11	99.2
II	12:00	10.8	2.7	7.81	11.25	102.3
III	14:00	9.7	10.8	7.67	11.63	103.2
IV	16:00	9.3	13.6	7.82	11.54	99.2
V	18:00	9.6	11.4	7.91	11.39	100.5
VI	20:00	9.6	10.7	7.77	11.51	100.3
VII	22:00	9.0	6.2	7.77	11.33	98.2

Таблица 2. Результаты гидролого-гидрохимических полусуточных наблюдений на поверхностном горизонте в вершине дельты р. Кадь (створ 1.3 км выше морской границы дельты), 05.09.2021 г.

Номер серии	Время (MSK)	H, см	T, °C	S, ‰	Взвеси, мг/л	pH	Кислород		Общий фосфор, мкг/л
							мг/л	% насыщения	
I	10:00	5	9.8	2.7	7.3	7.82	11.02	98.0	11.2
II	12:00	4	10.6	1.3	5.3	7.89	11.34	103.2	10.7
III	14:00	32	10.1	4.0	4.7	7.73	11.34	101.4	14.3
IV	16:00	59	9.9	7.4	7.7	7.78	11.4	101.1	18.2
V	18:00	80	9.4	11.2	15.3	7.92	11.43	100.2	30.9
VI	20:00	48	9.1	9.3	6.0	7.81	11.41	99.0	16.6
VII	22:00	18	9.0	5.0	5.7	7.82	11.26	97.8	16.0

Таблица 3. Результаты гидролого-гидрохимических наблюдений на разрезе в полную воду приливного цикла на поверхностном горизонте в устье р. Кадь, 04.09.2021 г.

Створ	Время (MSK)	T, °C	S, ‰	Взвеси, мг/л	Кислород		pH	Общий фосфор, мкг/л
					мг/л	% насыщения		
-0.5 км	17:15	10.4	9.1	12.4	11.09	99.8	7.97	14.3
0 км	17:24	10.3	8.5	16.0	11.19	100.7	8.02	16.6
1 км	17:36	10.5	5.6	8.0	11.41	102.5	8.05	11.8
2 км	17:48	10.5	4.3	6.0	11.36	102.7	7.92	11.8
3 км	18:01	10.2	0.6	5.0	11.31	101.7	7.83	7.9

Примечание. Створы указаны относительно морской границы дельты реки.

Таблица 4. Содержание тяжелых металлов в донных отложениях устья р. Кадь в сентябре 2021 г., [мг/кг]

Металл	Створы в устье р. Кадь		
	0 км Ил	1 км Илистый песок	2 км Илистый песок + песок
Mn	134	78	43
Ni	140	31	50
Zn	51	40	43
Cu	8.7	4.6	5.6
Pb	3.4	4.7	1.8
Cd	<1	<1	<1

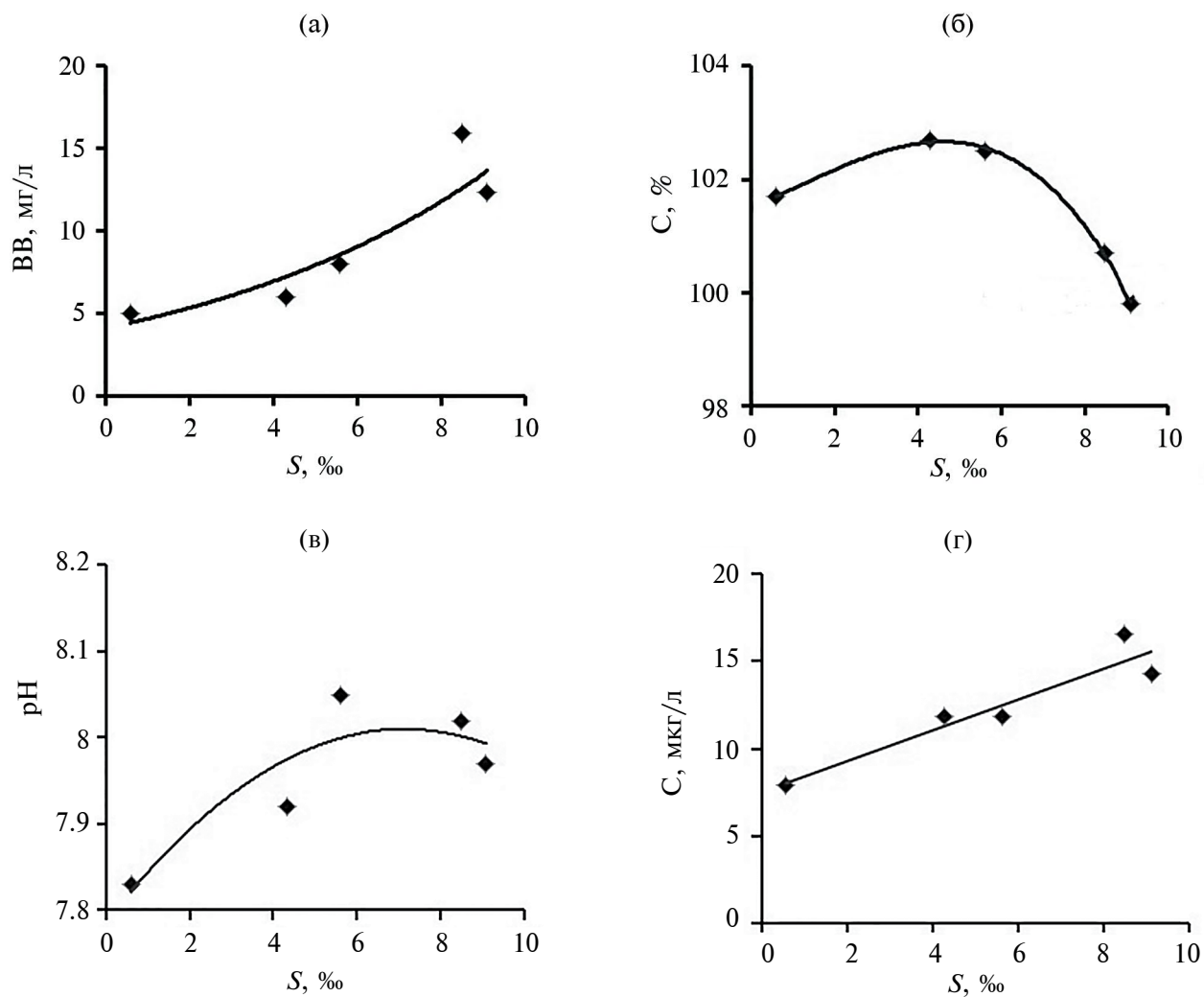


Рис. 2. Графики взаимосвязи солености со взвесью (а), кислородонасыщением (б), величиной рН (в) и содержанием общего фосфора (г) на поверхностном горизонте в устье р. Кадь, 04.09.2021 г.

органических соединений, не вовлекаемых в процессы фотосинтеза.

В пространственной изменчивости содержания взвеси в устье Кади наблюдалась локализация мутьевой “пробки” на морской границе дельты, где отмечаются наиболее мощные иловые отложения и минимальные глубины. Это, в частности, влечет за собой фиксацию максимума мутности устьевых вод в вершине дельты реки не в начале прилива, что характерно для мезоприливных и макроприливных эстуариев, а на полной воде приливного цикла, когда водная масса от границы морского края дельты смещается на устьевой участок реки.

В свою очередь, подобное пространственное распределение взвешенного материала влечет за собой постепенное выдвигание дельты в лагуну с увеличением проективного покрытия устьевое взморья реки галофитной растительностью. В этих условиях формируется так называемая

дельта выполнения [4], впадающая в лагуну, где осаждается основной объем аллювиального материала.

Распределение исследуемых тяжелых металлов в донных отложениях в устье р. Кадь характеризуется наличием их минимума на речной границе дельты реки (рис. 3). Максимальное содержание тяжелых металлов отмечается в илах, т.е. в тонкодисперсных осадках, обладающих высокой сорбционной способностью и накапливаемых в более спокойной в гидродинамическом отношении зоне. Наибольшие концентрации характерны для марганца, цинка и никеля. Подобная картина наблюдается и в уровнях загрязнения снежного покрова в рассматриваемом районе (в юго-западной части Беломорско-Кулойского плато) [2]. Можно предположить, что снег дает определенный вклад в формирование химического состава донных отложений в устьевой области р. Кадь и на прилегающем к ней участке лагуны Сухое

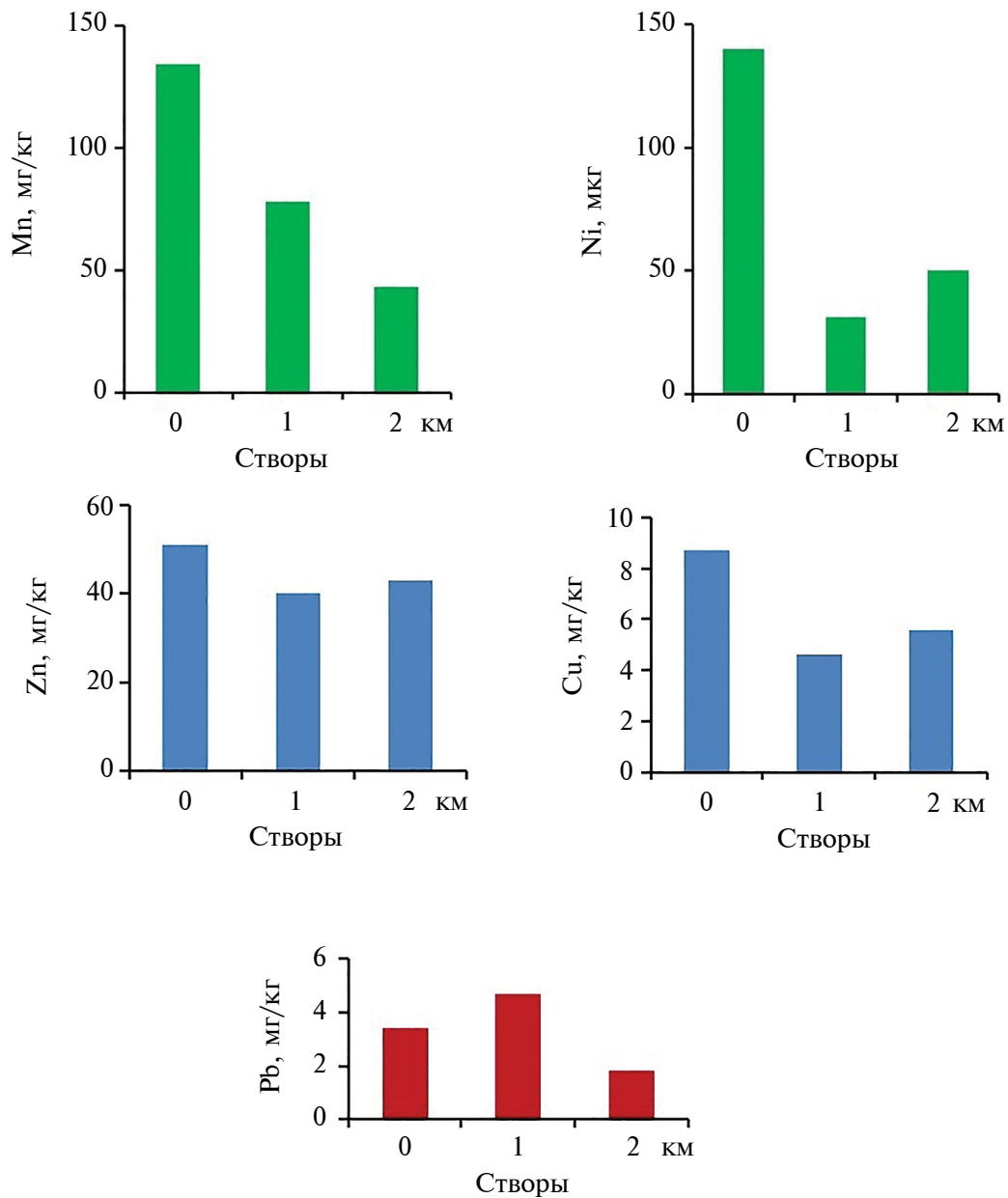


Рис. 3. Пространственное распределение тяжелых металлов в донных отложениях в устье р. Кади в летнюю межень 2021 г.

Море. Возможно, такая ситуация является типичной для устьев рек арктической зоны.

В растительном покрове исследуемого водного объекта хорошо выделяются несколько поясов. Пояс водной (погруженной) растительности состоит из сообществ с доминированием рдеста гребенчатого (*Stuckenia pectinata*). Сообщества рдеста занимают илистые грунты по всей дельте и на устьевом взморье Кади в Сухом Море, где при повышении солености воды они соседствуют с ценозами зеленой водоросли ульвы (*Ulva prolifera*). Воздушно-водная растительность в основном образована монодоминантными сообществами крупного высокотравного гидрофильного

злака – тростника обыкновенного (*Phragmites australis*). Сообщества тростника занимают приливные осушки по всей дельте Кади. На ее устьевом взморье, кроме сообществ тростника, значительные площади занимают более глубоководные сообщества другого крупного гидрофита – камыша Табернемонтана (*Schoenoplectus tabernaemontani*). Они формируются на илистых донных отложениях, которые не обсыхают в фазу отлива. Наиболее высокий пояс прибрежной растительности образован сообществами вейника пурпурного (*Calamagrostis purpurea*), сменяющих сообщества тростника по направлению к суше. В микропонижениях (микроямках) в поясе прибрежной растительности располагаются нитрофильные

группировки из *Oxybasis rubra*. Зафиксированная ситуация по галофитам является признаком развивающейся эвтрофикации водного объекта.

Здесь следует заметить, что заболачивание и зарастание арктических приливных лагун за счет формирования обильных зарослей галофитов будет способствовать расширению территорий, попадающих под статус Рамсарской Конвенции о водно-болотных угодьях и создающих благоприятные условия для обитания (гнездования) водоплавающих и околоводных птиц, включая многие охраняемые виды. Для ихтиофауны какие-либо последствия указанного процесса не так очевидны. Однако негативное влияние для полупроходных и проходных рыб, включая их ценные виды (голец, горбуша, нельма, сиги), при возможной эвтрофикации лагун наблюдаться не будет, так как их нерест и зимовки происходят вне лагун на устьевом участке реки и выше. Здесь за счет сильных приливных течений и резкого уменьшения ширины приливной осушки эвтрофикация не может получать значительного развития.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Лагунные типы устьев рек получили наибольшее распространение на арктических островах, где все водотоки имеют статусы малой реки или ручьев. Их биогеоценозы в настоящее время испытывают значительные изменения под воздействием наблюдаемого климатического потепления территории Арктики. Учитывая результаты проведенных исследований, можно предположить, что при разрушении многолетнемерзлых грунтов маргинальные фильтры устьев островных рек, определяющих перенос продуктов разрушения таких грунтов в море, будут увеличивать свою пространственную протяженность, в первую очередь, за счет коагуляционно-сорбционной и биологической ступеней, но только в пределах лагун. При этом поверхностные слои почвы на арктических островах, как правило, закреплены разнообразной растительностью, что минимизирует попадание их частиц в водные объекты. Исключением в данном отношении могут быть эрозионные процессы, обусловленные протаиванием нижележащих грунтов и ведущие к нарушениям целостности поверхностного почвенного покрова.

Продукты выноса многолетнемерзлых пород и поверхностного почвенно-растительного покрова могут содержать как биогенные вещества, способствующие повышению трофности устьевых экосистем, так и токсические вещества, лимитирующие их развитие. Особенностью подобных

процессов будет затрудненный перенос взвешенных и влекомых наносов за пределы устьевых лагун. В данной ситуации будут наблюдаться постепенное заболачивание устьевых лагун и сокращение их площади за счет формирования дельтовых островов.

Данный фактор, в частности, необходимо учитывать при разработке схем водоотведения при разработке полезных ископаемых на островах российской Арктики. При этом не рекомендуется сбрасывать дренажные и другие виды сточных вод в речные водотоки для предотвращения накопления токсических веществ в заболачиваемых лагунах и их последующего включения в пищевые цепочки промысловых видов рыб и водоплавающих птиц, включая объекты любительской и промысловой охоты. В рассматриваемой ситуации целесообразными могут быть их удаление в непроточные озера или сброс в морские воды за пределами устьевых лагун.

Работа выполнена в рамках темы госзадания № FMWE-2021-0006 “Современные и древние донные осадки и взвесь Мирового океана – геологическая летопись изменений среды и климата: рассеянное осадочное вещество и донные осадки морей России, Атлантического, Тихого и Северного Ледовитого океанов – литологические, геохимические и микропалеонтологические исследования; изучение загрязнений, палеообстановок и процессов в маргинальных фильтрах рек”.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лисицын А.П. Маргинальный фильтр океанов // Океанология. 1994. Т. 34. № 5. С. 735–747.
2. Мискевич И.В., Котова Е.И. Влияние состава снега на состав донных отложений малой реки на примере реки Лапа в дельте Северной Двины // Успехи современного естествознания. 2023. № 4. С. 49–54.
3. Михайлов В.Н. Принципы типизации и районирования устьевых областей рек (аналитический обзор) // Водные ресурсы. 2004. Т. 31. № 1. С. 5–14.
4. Морская геоморфология. Терминологический справочник. Береговая зона: процессы, понятия, определения. М.: Мысль, 1980. 280 с.
5. Шевченко В.П., Филиппов А.С., Новигатский А.Н., Гордеев В.В. и др. Рассеянное осадочное вещество пресноводных и морских льдов // Система Белого моря. Т. II. Водная толща и взаимодействующие с ней атмосфера, криосфера, речной сток и биосфера / Отв. ред. Лисицын А.П. М.: Научный мир, 2012. С. 169–200.
6. Школьный Д.И., Айбулатов Д.Н. Типизация устьевых областей рек острова Южный (архипелаг Новая Земля) // Вестник Московского университета. Серия 5. География. 2016. С. 50–57.

GEOENVIRONMENTAL SPECIFICS IN THE MICROTIDAL MOUTHS OF SMALL RIVERS WITH DELTAS IN THE RUSSIAN ARCTIC ZONE DURING THE SUMMER-FALL LOW WATER SEASON BY THE EXAMPLE OF THE KAD RIVER MOUTH, THE WHITE SEA

I. V. Miskevich^{a,#}, D. S. Moseev^{a,##}, A. E. Yakovlev^{a,###}

^a*Shirshov Institute of Oceanology, Russian Academy of Sciences
Nakhimovskii pr., 36, Moscow, 117997 Russia*

[#]*E-mail: subarct@gmail.com*

^{##}*E-mail: viking029@yandex.ru*

^{###}*E-mail: jakich1@yandex.ru*

The hydrological, hydrochemical and hydrobiological conditions of the Kad River mouth are considered that flows to the Sukhoe More lagoon, the Dvina Bay, the White Sea. It is revealed that suspension sedimentation is most developed in the river delta and on its shallow estuarine seashore. Extensive thickets of halophytes are formed in these areas, and the maximum accumulation of heavy metals is noted in bottom sediments. Manganese, zinc and nickel show the highest concentrations in the bottom sediments within the Kadi River mouth. A similar pattern is observed for the snow cover pollution in the considered area (the southwestern part of the Belomorsko-Kuloiskoe plateau). This indicates a significant contribution of snow to the heavy metal accumulation in the estuary area of the Kadi River and the adjacent section of the Sukhoe More lagoon. Perhaps this situation is typical for the river mouths in the Arctic zone. Under the observed climate warming, the processes noted in the Kadi River mouth suggest that they will lead to waterlogging and a reducing the lagoon area in the micro-tidal estuaries of the rivers of the Arctic seas. They will accumulate suspended material carried out with river runoff during the destruction of permafrost soils. It can contain both biogenic substances that contribute to an increase in the trophic capacity of estuarine ecosystems, and toxic substances that limit their development. At the same time, marginal filters of the estuaries of the rivers in the Arctic islands will increase their spatial extent within the lagoons, primarily due to coagulation-sorption and biological stages.

Keywords: *river Kad, delta, lagoon, marginal filter, high tide, suspended matter, metals, sedimentation, Arctic, warming, permafrost, waterlogging*

REFERENCES

1. Lisitsyn, A.P. [Marginal filter of oceans]. *Okeanologiya*, 1994, vol. 34, no. 5, pp. 735–747. (in Russian)
2. Miskevich, I.V., Kotova, E.I. [The influence of snow composition on the composition of bottom sediments of a small river on the example of the Lapa River in the Northern Dvina delta]. *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya*, 2023, no. 4, pp. 49–54. (in Russian)
3. Mikhailov, V.N. [Principles of typification and zoning of river estuarine regions (analytical review)]. *Vodnye resursy*, 2004, vol. 31, no. 1, pp. 5–14. (in Russian)
4. [Marine geomorphology. Terminological reference. Coastal zone: processes, concepts, definitions]. Moscow, Mysl' Publ., 1980, 280 p. (in Russian)
5. Shevchenko, V.P., Filippov, A.S., Novigatskii, A.N., Gordeev, V.V. et al. [Dispersed sedimentary matter of freshwater and sea ice]. In [System of the White Sea. Vol. II. Water column and the atmosphere interacting with it, cryosphere, river runoff and biosphere]. A.P. Lisitsyn, I.A. Nemirovskaya, Eds. Moscow, Nauchnyi mir Publ., 2012, pp. 169–200. (in Russian)
6. Shkolnyi, D.I., Aibulatov, D.N. [Typification of the mouth areas of the rivers of Yuzhny Island (Novaya Zemlya archipelago)]. *Vestnik Moskovskogo universiteta. Series 5. Geografiya*, 2016, pp. 50–57. (in Russian)