

УДК 556.546 (470.22) »332.092»

ГИДРОФИЗИЧЕСКИЕ И ГИДРОХИМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В ЭСТУАРИИ РЕКИ КЕМЬ В СЕНТЯБРЕ 2019 г.

А. В. Толстикова, Н. Е. Галахина, Р. Э. Здорвеннов

*Институт водных проблем Севера КарНЦ РАН, ФИЦ «Карельский научный центр РАН»,
Петрозаводск, Россия*

Проведены гидрофизические и гидрохимические исследования в эстуарии р. Кемь в период 4–5 сентября 2019 г. Изучалось вертикальное распределение температуры, солёности, хлорофилла *a*, мутности и кислорода при помощи STD-зондов; в пробах воды на рейдовых вертикалях проведен химический анализ (определяли рН, электропроводность, минеральный состав, содержание биогенных элементов, органического вещества, Fe_{общ.}, Mn, загрязняющих и взвешенных веществ). Получены новые данные по распределению указанных параметров в зависимости от фаз прилива. Температура, солёность, показатели мутности и хлорофилла *a* характерны для этого времени года. Вода р. Кемь является низкоминерализованной мезогумусной мезотрофной. Среди форм азота преобладает органическая, в то время как концентрации минеральных форм достаточно низкие, что является характерным для поверхностных вод гумидной зоны. Органическое вещество в основном представлено природным аллохтонным веществом (77–80 %), поступающим с водосборной территории. Среди загрязняющих веществ определено содержание нефтепродуктов и некоторых тяжелых металлов. Незначительное превышение ПДК отмечается для свинца на участке реки в районе железнодорожного моста. Выявлено превышение ПДК по общему железу и марганцу для водных объектов, имеющих рыбохозяйственное значение, их содержание в воде р. Кемь составляет 0,55 (ПДК = 0,1) и 0,32 (ПДК = 0,01) мг/л соответственно, что является геохимической особенностью вод региона, а не показателем загрязнённости. Полученные данные согласуются с опубликованными ранее.

Ключевые слова: гидрофизические исследования; гидрохимический режим; эстуарий; приливная динамика; загрязнённость.

A. V. Tolstikov, N. E. Galakhina, R. E. Zdorvennov. HYDROPHYSICAL AND HYDROCHEMICAL STUDIES IN THE KEM' RIVER ESTUARY IN SEPTEMBER 2019

Hydrophysical and hydrochemical surveys of the Kem' river estuary were implemented on September 4–5, 2019. The vertical distribution of temperature, salinity, chlorophyll-*a*, turbidity, and oxygen were studied, and chemical analysis of the water was carried out (pH, electrical conductivity, mineral composition, nutrient content, organic matter, total iron and manganese, pollutants and suspended solids). New data were obtained on the distribution of these parameters depending on the phases of the tide. Temperature, salinity, turbidity and chlorophyll-*a* are typical for this time of year. Water in the Kem' River is low-TDS, mesohumic, mesotrophic. Nitrogen is mostly in organic form, while the concentration of its mineral forms is quite low, which is typical of surface waters in the humid

zone. Organic matter is mainly represented by natural allochthonous matter (77–80 %) incoming from the catchment. Among the pollutants, the content of oil products and some heavy metals was determined. The MPC for lead was slightly exceeded in the river around the railway bridge. The MPC for total iron and manganese was exceeded in water bodies of significance for fisheries. The content of these elements in the Kem' River water was 0.55 mg/l (MPC = 0.1 mg/l) and 0.32 mg/l (MPC = 0.01 mg/l), respectively, which is a geochemical feature of the region's waters rather than an indicator of pollution. These results are consistent with previously published data.

Key words: hydrophysical studies; hydrochemical regime; estuary; tidal dynamics; pollution.

Введение

Река Кемь является крупнейшим притоком Белого моря с территории Республики Карелия, часть водосбора находится в Финляндии. Исток реки расположен в оз. Нижнее Куйто, устье представляет собой частично перемешиваемый эстуарий [Радченко и др., 2019]. Питание смешанное, преобладает снеговое. За весеннее половодье проходит до 50 % стока. Река зарегулирована, на ней расположен каскад из пяти ГЭС. Длина реки составляет 191 км, площадь водосбора – 27 700 км², средний уклон – 0,52 %, среднегодовой модуль стока 9,35 л/с·км², годовой объем стока 8,18 км³, по данным до 1980 г. [Многолетние..., 1987]. Однако в последние годы отмечаются изменения, связанные с увеличением объема водного и теплового стока, ростом температуры воды в устье. Так, величина модуля стока за 1990 г. составила 10,1 л/с·км², а за период 1990–2015 гг. – 10,7 л/с·км²; объем стока за 1990 г. – 8,76 км³, за период 1990–2017 гг. – 9,35 км³ [Карпечко и др., 2018]. Кроме того, несколько лет устье р. Кемь активно заиливается и зарастает. В г. Кемь до сих пор не построены очистные сооружения, и канализация от города с населением более десяти тысяч человек без какой-либо очистки сбрасывается в реку.

После отдельных работ в XX в. регулярные гидрофизические исследования на р. Кемь выполнялись в летний период в начале 2000-х годов [Долотов и др., 2004, 2006; Здоровеннов, 2004; Shevchenko et al., 2005], в последующие годы измерения были эпизодическими, и эти данные немногочисленны [Чебанова, 2016].

Гидрохимические исследования р. Кемь проводились в 1961–1962 гг. [Максимова, 2007], в 1980–1984 гг. [Сабылина, Селиванова, 1989], в начале 1990-х гг. [Лозовик, 1998; Феокистов, 2004; Лозовик и др., 2005; Shevchenko et al., 2005], в летний период 2007–2011 гг. [Потапова, 2012]. Отдельно изучалась геохи-

мия донных осадков по данным 2001 и 2003 гг. [Демина и др., 2005]. Также стоит отметить обобщающие работы по химическому стоку рек водосбора Белого моря, в которых уделено внимание этому водотоку [Гордеев и др., 2012; Gordeev et al., 2018]. Анализ изменчивости состава и биомассы фитопланктона р. Кемь последних лет показан в работах [Радченко и др., 2013, 2019].

Цель работы заключалась в исследовании гидрофизических и гидрохимических параметров в р. Кемь под влиянием приливных процессов.

Материалы и методы

Экспедиционные работы в устье р. Кемь проводились 4–5 сентября 2019 года на девяти станциях (схема представлена на рис. 1) дважды: в фазу прилива и в фазу отлива. Станции К-9 и К-8 были выбраны в качестве фоновых точек в речной и морской части эстуария за пределами градиентной зоны. Высота полусуточного прилива составляла примерно 1,4 м, фазы прилива рассчитаны с использованием программы WXTide32.

Проведенные работы включали в себя гидрофизические и гидрохимические исследования. Гидрофизические измерения выполнены с использованием зондов CTD90M Sea&Sun Technology (Германия) и CTD RBRconcerto (Канада), с помощью которых на всех девяти станциях получены профили вертикального распределения температуры, солёности, мутности, растворенного кислорода и хлорофилла *a*. Технические характеристики приборов приведены в табл. 1.

Для гидрохимических исследований были выбраны станции К-1, К-3, К-8 и К-9. В пробах воды со станций К-1 и К-9 проведен подробный химический анализ. В них определяли рН, электропроводность, взвешенное вещество, минеральный состав (Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , HCO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^-), биогенные элементы (формы азота, $\text{P}_{\text{мин}}$, $\text{P}_{\text{общ}}$, Si), органическое вещество ($\text{C}_{\text{орг}}$, ХПК,

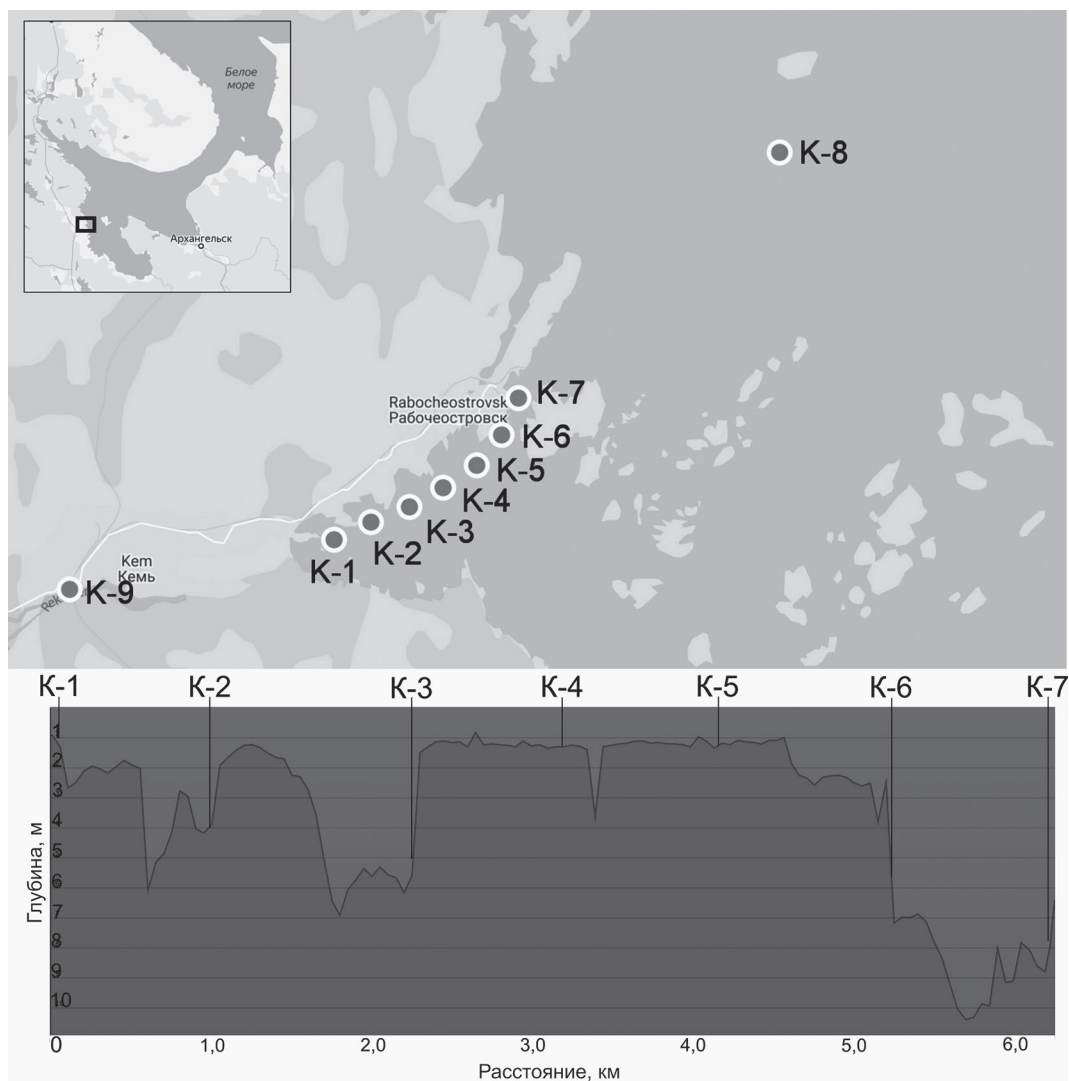


Рис. 1. Карта-схема станций в эстуарии р. Кемь с рельефом дна по разрезу К-1 – К-7
 Fig. 1. Scheme of the stations in the estuary zone of the Kem' River with bottom relief along the K-1 – K-7 section

Таблица 1. Технические характеристики приборов

Table 1. Specifications of instruments

Датчики Sensors	Диапазон Range	Точность Accuracy
CTD-90M Sea&Sun Technology		
Давление Pressure	20 бар 20 bar	± 0,1 % FS
Температура, °C Temperature	-2...+35	± 0,005
Электропроводность, mS/cm Conductivity	0-60	± 0,020
Мутность Turbidity	0-1000 FTU	-
Флюориметр Fluorimeter	0-10 мкг/л 0-10 µg/l	0,8 %
CTD RBRconcerto		
Растворенный кислород, % Dissolved oxygen	0-120	± 5

ПО, цветность, гумусовые вещества), $Fe_{\text{общ}}$, Mn и загрязняющие вещества (нефтепродукты, Cu, Ni, Zn, Cr, Pb, Cd). В пробах воды, отобранных на станциях К-3 и К-8, определяли содержание только биогенных элементов ($N-NH_4^+$, $N-NO_2^-$, $N-NO_3^-$, $N_{\text{общ}}$, $N_{\text{орг}}$, $P_{\text{мин}}$, $P_{\text{общ}}$ и Si). Все химические анализы выполнены в лаборатории гидрохимии и гидрогеологии ИВПС КарНЦ РАН по соответствующим методикам [Аналитические..., 2017].

Кроме того, в ходе работ с помощью эхолота Garmin Echomap 50s были сделаны батиметрические промеры по разрезу от станции К-1 до станции К-7. Результаты этих промеров представлены на рис. 1, на котором видно, что рельеф дна в эстуарии реки сложный, вверх по течению имеются локальные ямы с глубинами до 7 м. Это влияет на распространение приливной волны и на перенос взвешенных веществ,

на что обращено внимание в работе [Радченко и др., 2019].

Полученные результаты сравнивались с данными выполненных ранее исследований, а также работ, проведенных при участии авторов [Долотов и др., 2004, 2006].

Результаты и обсуждение

Распределение температуры, солёности, показателей мутности и хлорофилла *a* было классическим, характерным для этого времени года (рис. 2). Сопоставление полученных результатов с известными ранее данными в какой-то степени осложняет тот факт, что в предыдущие годы гидрофизические работы и взятие проб воды на химический анализ проводились в основном летом [Радченко и др., 2019].

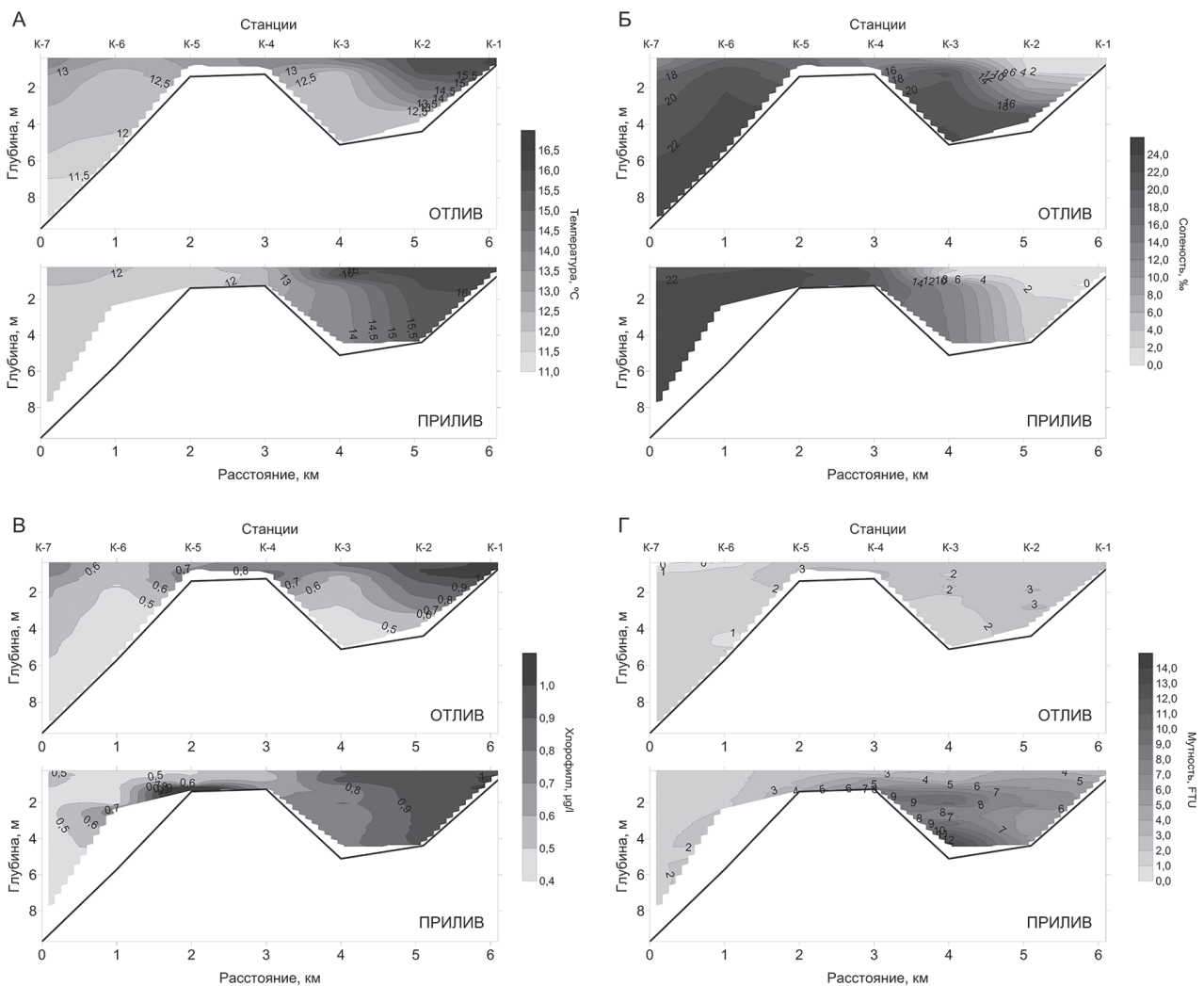


Рис. 2. Распределение температуры (А), в °С, солёности (Б), в ‰, хлорофилла *a* (В), в мг/л, и мутности (Г), в FTU, в фазу прилива и отлива в эстуарии р. Кемь

Fig. 2. Distribution of temperature (A), in °C, salinity (B), in ‰, chlorophyll-a (B), in mg/l, and turbidity (Г), in FTU during the tidal phases in the estuary of the Kem' River

Тем не менее гидрологический режим р. Кемь в начале сентября относится к фазе периода открытого русла, продолжается летняя межень, еще отсутствуют ледовые явления. Поэтому можно утверждать, что сравнение с летними данными уместно.

Особенностью динамики трансформации приливной волны в устье р. Кемь является то, что из-за мелководья в районе станций К-4 и К-5 на отливе выражена стратификация на участке акватории К-4 – К-1, нарушаемая во время прилива (рис. 2). Во время отлива здесь же (К-4 – К-1) отмечена более низкая температура и более высокая соленость по сравнению с приливом. Это происходит благодаря морфометрическим особенностям эстуария, что мешает быстрой смене вод при смене фаз прилива. Причины этого явления и гидродинамические эффекты, которые наблюдаются в эстуарии р. Кемь, включая особенности нелинейной динамики трансформации приливной волны на мелководье, подробно рассмотрены в работе [Зырянов и др., 2015]. На участке, открытом в сторону моря (К-5 – К-7), – распределение, классическое для эстуариев: на отливе вода более теплая и менее соленая по сравнению с приливом.

Наиболее ярко выраженная фронтальная зона расположена в районе станций К-3 – К-4, на склоне перепада глубин от 1 до 7 м.

Распределение хлорофилла *a*, мутности (рис. 2) и кислорода (рис. 3) на отливе также стратифицировано в яме (К-1 – К-4). Концентрация хлорофилла *a* на поверхности около 1 мг/л, у дна – 0,5 мг/л, что соответствует данным, полученным ранее [Радченко и др., 2019].

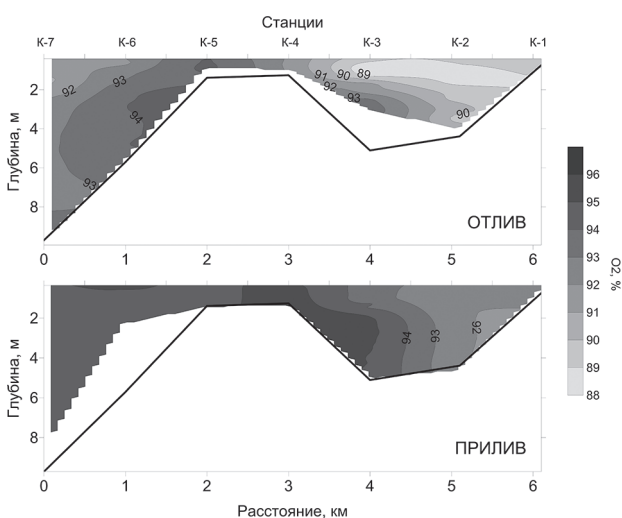


Рис. 3. Распределение кислорода по разрезу К-1 – К-7, в %

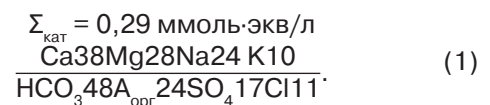
Fig. 3. Distribution of oxygen along the K-1 – K-7 section, in %

Распределение кислорода подчиняется тем же закономерностям, что и другие параметры, указанные выше. На отливе наблюдается стратификация на участке разреза К-1 – К-4, нарушаемая на приливе. В процентном содержании и на приливе, и на отливе различия незначительные, от поверхности до дна содержание растворенного кислорода около 90 % согласно оптическому датчику зонда RBRconcerto.

В качестве фоновых использовались станции К-8 и К-9 (рис. 4).

На ст. К-8 хорошо выражена стратификация. До горизонта 4 м наблюдалась гомотермия, с температурой около 10 °С и соленостью 25 ‰. На более глубоких горизонтах температура закономерно понижается и повышается соленость. Показатели концентрации хлорофилла *a* (0,3 мг/л) и мутности (в среднем 0,6 FTU) с глубиной изменяются незначительно. Ст. К-9 расположена в речной воде; температура воды здесь составила 16 °С. Насыщение кислородом было около 95 % для обеих фоновых станций.

Пробы воды, отобранные на станциях К-1 и К-9, не отличаются по химическому составу. Вода имеет низкую минерализацию (17,8 мг/л), ее ионный состав можно выразить следующей формулой:



Согласно классификации О. А. Алекина [1970] вода р. Кемь относится к гидрокарбонатному классу группы кальция и магния, что является типичным для водных объектов Республики Карелия.

В распределении форм азота в воде преобладает органическая, тогда как концентрации минеральных форм достаточно низкие (табл. 2), что характерно для поверхностных вод гумидной зоны [Лозовик, 2017].

Воды речного стока богаче поверхностных морских вод биогенными элементами (особенно кремнием и соединениями азота), соответственно, зоны, подверженные их воздействию, характеризуются повышенными концентрациями этих элементов [Максимова, 1990]. На рис. 5 показано распределение биогенных элементов в фазы отлива и прилива в эстуарии р. Кемь (разрез К-9 – К-8), где проявляется влияние речного стока на формирование химического состава воды в зоне смешения, главным образом по кремнию.

Вода в р. Кемь имеет околонеутральную реакцию среды 6,7–6,9 (табл. 3). Отмечается высокая цветность ее воды, в среднем 65 град.

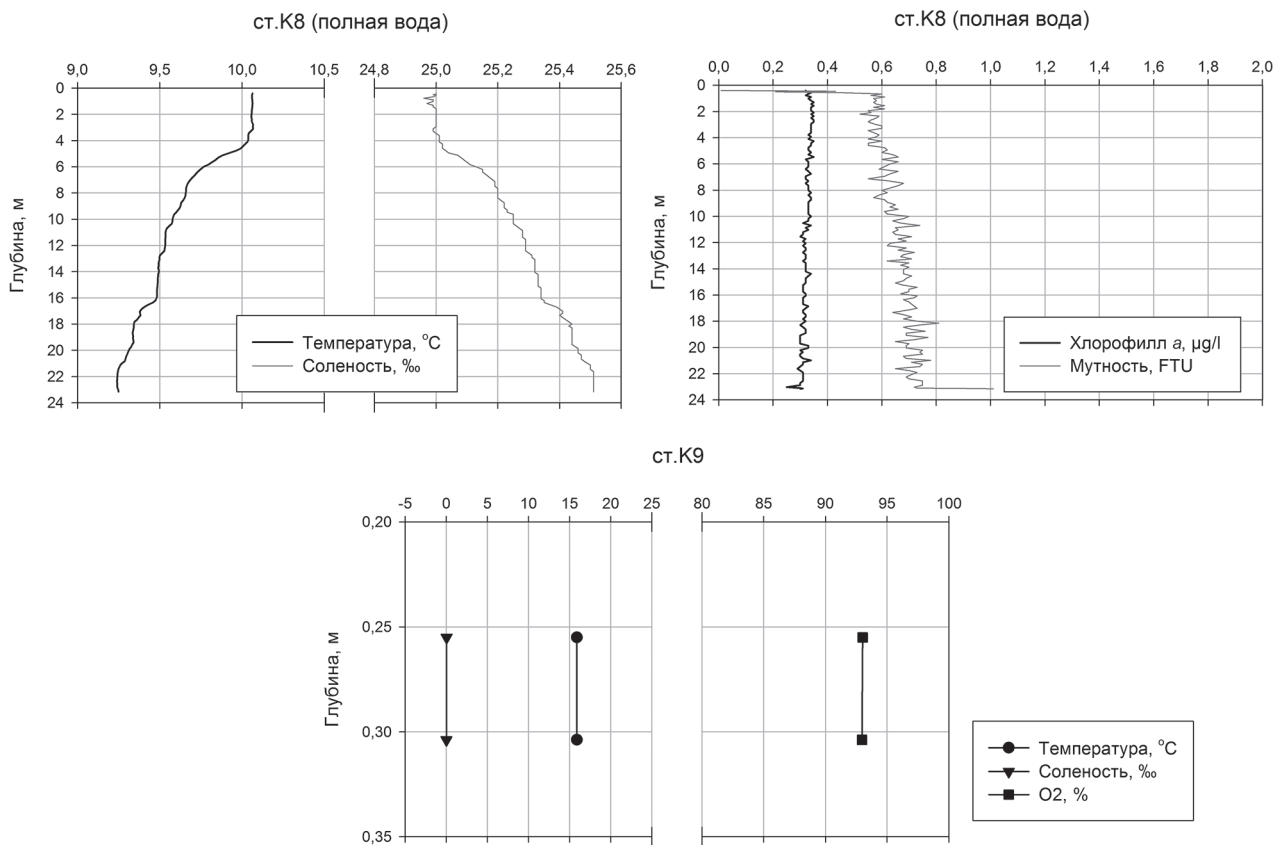


Рис. 4. Распределение температуры, солености, хлорофилла а, мутности и кислорода на фоновых станциях К-8 и К-9

Fig. 4. Distribution of temperature, salinity, chlorophyll-a, turbidity, and oxygen at the K-8 and K-9 background stations

Таблица 2. Содержание биогенных элементов в воде р. Кемь в сентябре 2019 г.

Table 2. Content of nutrients in the Kem' River water in September 2019

Станция Station	Горизонт, м Depth, m	NH ₄ ⁺	NO ₂ ⁻	NO ₃ ⁻	N _{орг} N _{org}	N _{общ} N _{tot}	P _{мин} P _{min}	P _{общ} P _{tot}	Si
		мг N/л mg N/L				мкг N/л µg N/L		мг/л mg/L	
К-1	0,5	0,014	< 0,001	0,02	0,46	0,49	< 1	16	1,9
К-9	0,5	0,009	< 0,001	0,02	0,40	0,43	2	13	1,7

По содержанию органического вещества, согласно классификации [Лозовик, 2013], р. Кемь является мезогумусной. Гумусность рассчитана по формуле [Лозовик, 2006]:

$$Hum = \sqrt{ЦВ \cdot ПО}, \quad (2)$$

где *Hum* – гумусность, *ЦВ* – цветность, *ПО* – перманганатная окисляемость.

Расчетное значение гумусности воды составляет 26 ед., что соответствует данному классу вод. Концентрация гумусовых веществ (ГВ) составляет 6,2 (ст. К-1) и 6,7 (ст. К-9) мг/л, т. е. органическое вещество в основном представлено природным аллохтонным веществом

(77–80 %), поступающим с водосборной территории р. Кемь.

Среди загрязняющих веществ определено содержание нефтепродуктов и некоторых тяжелых металлов (табл. 4). Незначительное превышение ПДК для водных объектов, имеющих рыбохозяйственное значение [Нормативы..., 2016], отмечается по свинцу на станции К-9, которая располагается в районе железнодорожного моста. Выявлено превышение ПДК по Fe_{общ} и Mn [Нормативы..., 2016], что является геохимической особенностью вод региона, а не показателем их загрязненности [Лозовик, 2006].

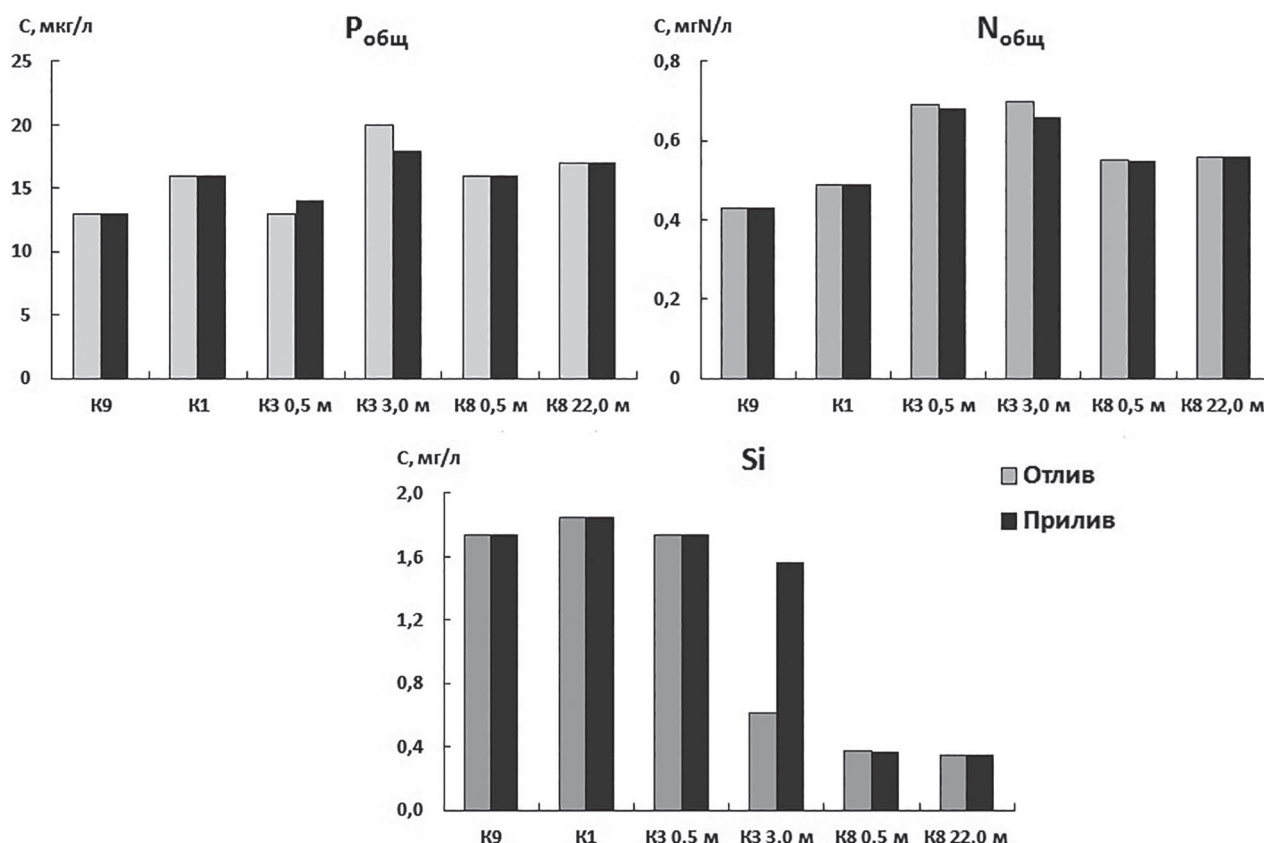


Рис. 5. Распределение биогенных элементов в эстуарии р. Кемь

Fig. 5. Distribution of nutrients in the estuary of the Kem' River

Таблица 3. Величина pH и содержание органического и взвешенного вещества в воде р. Кемь в сентябре 2019 г.

Table 3. pH value and organic and suspended matter content in the Kem' River water in September 2019

Станция Station	Горизонт, м Depth, m	ЦВ, град. Pt-Co шк. Color, grad.	ПО, мгО/л CODMn, mgO/L	БО*, мгО/л CODCr, mgO/L	Hum	C _{орг} , мг/л Corg, mg/L	ГВ, мг/л HM, mg/L	Взв. в-во, мг/л SM, mg/L	pH
K-1	0,5	64	10,5	22,8	26	8,1	6,2	0,6	6,9
K-9	0,5	66	10,5	23,5	26	8,4	6,7	0,2	6,7

Примечание. *Бихроматная окисляемость.

Note. *Dichromate oxidizability.

Если сравнить данные по химическому составу воды р. Кемь, полученные в сентябре 2019 г., с результатами более ранних наблюдений, то можно выделить некоторые межгодовые отличия (табл. 5). Отмечается изменчивость величины минерализации воды, цветности, содержания железа и марганца, а также некоторых форм азота и фосфора. Выявленные межгодовые отличия в химическом составе воды р. Кемь связаны с разной водностью года, увеличение которой сопровождается снижением минерализации и ростом содержания природных органических веществ [Феоктистов, 2004]. Так, в 1991 г. средний

расход р. Кемь за август–сентябрь составил 534 м³/с, в 1993 г. – 753 м³/с [Карпечко и др., 2018].

Выводы

1. Распределение температуры, солёности, показателей мутности, хлорофилла *a* и кислорода в р. Кемь было характерным для этого времени года и соответствовало показателям летней межени. И качественно, и количественно данные согласуются с результатами, полученными ранее [Долотов и др., 2004, 2006; Радченко и др., 2019].

Таблица 4. Содержание нефтепродуктов, Fe_{общ}, Mn и тяжелых металлов в воде р. Кемь в сентябре 2019 г.

Table 4. Content of oil products, Fe_{tot}, Mn and heavy metals in the Kem' River water in September 2019

Станция Station	Нефтепродукты Oil products	Fe _{общ}	Mn	Zn	Pb	Cu	Cd	Cr	Ni
		Fe _{tot}							
		мг/л mg/L	мкг/л µg/L						
К-1	< 0,01	0,54	0,028	2,5	5,7	0,7	0,02	1,0	0,5
К-9	0,02	0,55	0,036	2,4	7,5	0,8	0,01	1,3	0,5
ПДК* MPC	0,05	0,10	0,01	10	6	1	5	-	10

Примечание. *ПДК для воды водных объектов, имеющих рыбохозяйственное значение.

Note. *MPC for the water of water bodies of fishery importance.

Таблица 5. Некоторые показатели химического состава воды р. Кемь в 1991 и 1993 гг.

Table 5. Some chemical composition parameters of the Kem' River water in 1991 and 1993

Год наблюдений Year of observation	Σ _{ион'} мг/л Σ _i mg/L	ЦВ, град. Color, grad.	P _{мин}	P _{общ}	NH ₄ ⁺	NO ₃ ⁻	N _{орг}	Fe _{общ}	Mn	Si	pH
			P _{мин}	P _{tot}	мгN/л mgN/L		мкг/л µg/L		Mг/л mg/L		
1991*	19,6	58	-	-	-	0,03	-	0,32	0,02	2,1	-
Июнь 1993** June 1993	11,1	112	< 1	8	0,04	0,02	0,25	0,46	-	2,1	6,2

Примечание. *По данным: [Феоктистов, 2004], среднегодовые значения; **по данным: [Лозовик, 1998]; прочерк – нет данных.

Note. *After [Feoktistov, 2004], annual average; **after [Lozovik, 1998]; line – no data.

2. Река Кемь является типичным представителем поверхностных вод Карелии. По химическому составу воды ее можно охарактеризовать как низкоминерализованную мезогумусную мезотрофную с повышенным содержанием железа и марганца.

3. Несмотря на антропогенную нагрузку от г. Кемь, существенных различий в химическом составе воды в пробах, отобранных до города и после, не наблюдается. Вероятно, объем загрязняющих веществ невелик относительно объема стока р. Кемь.

4. Данные по химическому составу воды р. Кемь, полученные в осенний период 2019 г., согласуются с опубликованными ранее [Сабылина, Селиванова, 1989; Лозовик, 1998; Максимова, 2007].

Работа выполнена в рамках темы государственного задания КарНЦ РАН «Закономерности изменений экосистем Белого моря при интенсификации освоения Арктической зоны региона и под влиянием изменений климата», № АААА-А18-118032290034-5.

Литература

Алекин О. А. Основы гидрохимии. Л.: Гидрометеиздат, 1970. 442 с.

Аналитические, кинетические и расчетные методы в гидрохимической практике / Под ред. П. А. Лозовика, Н. А. Ефременко. СПб.: Нестор-История, 2017. 272 с.

Гордеев В. В., Филиппов А. С., Кравчишина М. Д., Новигатский А. Н., Покровский О. С., Шевченко В. П., Дара О. М. Особенности геохимии речного стока в Белое море // Система Белого моря. Т. 2. Водная толща и взаимодействующие с ней атмосфера, криосфера, речной сток и биосфера. М.: Научный мир, 2012. С. 225–308.

Демина Л. Л., Филиппова К. В., Шевченко В. П., Новигатский А. Н., Филиппов А. С. Геохимия донных осадков в зоне смешения реки Кемь (Белое море) // Океанология. 2005. Т. 45, № 6. С. 851–865.

Долотов Ю. С., Филатов Н. Н., Шевченко В. П., Петров М. П., Кутчева И. П., Толстиков А. В., Новигатский А. Н., Политова Н. В., Платонов А. В., Филиппов А. С. О характере природных процессов в фазы прилива и отлива в эстуариях Карельского побережья Белого моря // Океанология. 2004. Т. 44, № 5. С. 784–792.

Долотов Ю. С., Филатов Н. Н., Здоровеннов Р. Э., Платонов А. В., Шевченко В. П., Римский-Корсаков Н. А., Кутчева И. П., Денисенко Н. В., Немова Н. Н. О комплексных исследованиях эстуариев Карельского побережья Белого моря // Водные ресурсы Европейского Севера России: итоги и перспективы исследований: Мат-лы юбил. конф., посвящ. 15-летию ИВПС. Петрозаводск, 2006. С. 463–473.

Здоровеннов Р. Э. Приливный перенос примеси в прибрежных районах Белого моря: Автореф. дис. ... канд. геогр. наук. Мурманск, 2004. 24 с.

Зырянов В. Н., Чебанова М. К., Филатов Н. Н. Интрузия морских вод в устьях рек // Водные ресурсы. 2015. Т. 42, № 5. С. 492–503. doi: 10.7868/S032105961505020X

Карпечко В. А., Махальская Н. И., Балаганский А. Ф., Толстиков А. В. Сток рек бассейна Белого моря // Свид. о гос. рег. базы данных № 2018621833. 19 ноября 2018 г.

Лозовик П. А. Притоки Белого моря. Химический состав воды // Современное состояние водных объектов Республики Карелия по результатам мониторинга 1992–1997 гг. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 1998. С. 164–168.

Лозовик П. А. Гидрогеохимические критерии состояния поверхностных вод гумидной зоны и их устойчивости к антропогенному воздействию: Автореф. дис. ... докт. хим. наук. М., 2006. 56 с.

Лозовик П. А. Геохимическая классификация поверхностных вод гумидной зоны на основе их кислотно-основного равновесия // Водные ресурсы. 2013. Т. 40, № 6. С. 583–592.

Лозовик П. А. Органическое вещество и биогенные элементы в объектах гидросферы. Источники поступления, внутриводоемные процессы образования и трансформации // Органическое вещество и биогенные элементы во внутренних водоемах и морских водах: Труды VI Всерос. симп. с междунар. участием. Барнаул, 2017. С. 141–147.

Лозовик П. А., Басов М. И., Литвиненко А. В. Оценка поступления химических веществ в гидрографическую сеть с водосборной территории Карелии // Водные ресурсы. 2005. Т. 32, № 5. С. 584–588.

Максимова М. П. Гидрохимия Белого моря: Автореф. дис. ... докт. геогр. наук. М., 1990. 51 с.

Максимова М. П. Состояние малых рек водосбора. Гидрохимия // Белое море и его водосбор под влиянием климатических и антропогенных факторов. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2007. С. 74–104.

Многолетние данные о режиме и ресурсах поверхностных вод суши СССР. Т. 1. РСФСР. Вып. 7. Бассейны рек Западного побережья Белого моря. Л.: Гидрометеоздат, 1987. 219 с.

Нормативы качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормати-

вы предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения (Утв. Приказом Минсельхоза России от 13.12.2016 г. № 552).

Потапова И. Ю. Биогенные элементы и органическое вещество в воде прибрежной части Белого моря // Органическое вещество и биогенные элементы во внутренних водоемах и морских водах: Мат-лы V Всерос. симп. с междунар. участием. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2012. С. 274–276.

Радченко И. Г., Ильяш Л. В., Шевченко В. П. Летний фитопланктон в маргинальном фильтре реки Кеми (Онежский залив Белого моря) // Геология морей и океанов: Мат-лы XX Междунар. науч. конф. (Школы) по морской геологии. М.: ГЕОС, 2013. С. 223–226.

Радченко И. Г., Ильяш Л. В., Шевченко В. П., Здоровеннов Р. Э., Новигатский А. Н., Политова Н. В., Толстиков А. В. Пространственное распределение фитопланктона в субарктическом эстуарии (река Кемь, Белое море) // Океанология. 2019. Т. 59, № 3. С. 335–346. doi: 10.31857/S0030-1574593335-346

Сабылина А. В., Селиванова Е. А. Химический состав и качество воды р. Кеми // Современный режим природных вод бассейна р. Кемь. Петрозаводск: Карел. фил. АН СССР, 1989. С. 165–180.

Феоктистов В. М. Химический состав и вынос растворенных веществ водами рек Карельского побережья в Белое море // Водные ресурсы. 2004. Т. 31, № 6. С. 683–690.

Чебанова М. К. Процессы смешения речных и морских вод и трансформации приливных волн в эстуариях: Автореф. дис. ... канд. физ.-мат. наук. М., 2016. 27 с.

Gordeev V. V., Shevchenko V. P., Pokrovsky O. S. The geochemical features of the river discharge to the White Sea // Handb. Environ. Chem. 2018. Vol. 81. P. 47–81. doi: 10.1007/978_2018_329

Shevchenko V. P., Alexeeva T. N., Filippov A. S., Novigatskiy A. N., Pautova L. A., Politova N. V., Rat'kova T. N., Dolotov Y. S., Filatov N. N., Platonov A. V., Nöthig E. M., Stein R. Biogeochemistry of the Kem' river estuary, White Sea (Russia) // HESS. 2005. Vol. 9, no. 1–2. P. 57–66.

Поступила в редакцию 06.02.2020

References

Alekin O. A. Osnovy gidrokhimii [Fundamentals of hydrochemistry]. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1970. 442 p.

Analiticheskie, kineticheskie i raschetnye metody v gidrokhimicheskoi praktike [Analytical, kinetic, and computational methods in hydrochemical practice]. Eds. P. A. Lozovik, N. A. Efremenko. St. Petersburg: Nestor-Istoriya, 2017. 272 p.

Chebanova M. K. Protsessy smesheniya rechnykh i morskikh vod i transformatsii prilivnykh voln v estuariyakh [The processes of mixing river and sea waters and the transformation of tidal waves in estuaries]: Summary of PhD (Cand. of Phis.-Math.) thesis. Moscow, 2016. 27 p.

Demina L. L., Filip'eva K. V., Shevchenko V. P., Novigatskii A. N., Filippov A. S. Geokhimiya donnykh osadkov v zone smesheniya reki Kem' (Beloe more) [Geochemistry of the bottom sediments in the mixing zone of the Kem' River with the White Sea]. Okeanologiya [Oceanology]. 2005. Vol. 45, no. 6. P. 851–865.

Dolotov Yu. S., Filatov N. N., Shevchenko V. P., Petrov M. P., Kutcheva I. P., Tolstikov A. V., Novigatskii A. N., Politova N. V., Platonov A. V., Filippov A. S. O kharaktere prirodnykh protsessov v fazy priliva i otliva v estuariyakh Karel'skogo poberezh'ya Belogo morya [On the character of natural processes at high and low tides in the estuaries of the Karelian coast of the White

Sea]. *Okeanologiya* [Oceanology]. 2004. Vol. 44, no. 5. P. 784–792.

Dolotov Yu. S., Filatov N. N., Zdorovenov R. E., Platonov A. V., Shevchenko V. P., Rimskii-Korsakov N. A., Kutcheva I. P., Denisenko N. V., Nemova N. N. O kompleksnykh issledovaniyakh estuariy Karel'skogo poberezh'ya Belogo morya [Multidisciplinary study of the estuaries and the coastal zone of the White Sea Karelian coast]. *Vodnye resursy Evropeiskogo Severa Rossii: itogi i perspektivy issled.: Mat. yubil. konf., posvyashch. 15-letiyu IVPS* [Water resources of the European North of Russia: results and perspectives. Proceed. conf. dedicated to the 15th anniv. of the Northern Water Probl. Inst.]. Petrozavodsk, 2006. P. 463–473.

Feoktistov V. M. Khimicheskii sostav i vynos rastvorennykh veshchestv vodami rek Karel'skogo poberezh'ya v Beloe more [Water chemical composition of Karelian rivers and their dissolved chemical discharge into the White Sea]. *Vodnye resursy* [Water Resources]. 2004. Vol. 31, no. 6. P. 683–690.

Gordeev V. V., Filippov A. S., Kravchishina M. D., Navigatskii A. N., Pokrovskii O. S., Shevchenko V. P., Dara O. M. Osobennosti geokhimii rechnogo stoka v Beloe more [Features of the geochemistry of river runoff into the white sea]. *Sistema Belogo morya. T. 2. Vodnaya tolshcha i vzaimodeistviyushchie s nei atmosfera, kriosfera, rechnoi stok i biosfera* [The White Sea system. Vol. 2. Water column and atmosphere, cryosphere, the river runoff, and the biosphere interacting with it]. Moscow, 2012. P. 225–308.

Karpechko V. A., Makhal'skaya N. I., Balagan'skii A. F., Tolstikov A. V. Stok rek basseina Belogo morya [River runoff of the White Sea basin]. Svid. o gos. reg. bazy dannykh № 2018621833. 19 noyabrya 2018 g. [Database registration certificate No. 2018621833. Nov. 19, 2018].

Lozovik P. A. Pritoki Belogo morya. Khimicheskii sostav vody [Tributaries of the White Sea. Chemical composition of water]. *Sovr. sostoyanie vodnykh ob'ektov Respubliki Kareliya po rezul'tatam monitoringa 1992–1997 gg.* [Current state of water objects in the Republic of Karelia. Results of monitoring in 1992–1997]. Petrozavodsk: KarRC RAS, 1998. P. 164–168.

Lozovik P. A. Gidrogeokhimicheskie kriterii sostoyaniya poverkhnostnykh vod gumidnoi zony i ikh ustoychivosti k antropogennomu vozdeistviyu [Hydrogeochemical criteria of the state of surface water in humid zone and their tolerance to anthropogenic impact]: Summary of DSc (Dr. of Chem.) thesis. Moscow, 2006. 56 p.

Lozovik P. A. Geokhimicheskaya klassifikatsiya poverkhnostnykh vod gumidnoi zony na osnove ikh kislotno-osnovnogo ravnovesiya [Geochemical classification of surface waters in humid zone based on their acid-base equilibrium]. *Vodnye resursy* [Water Resources]. 2013. Vol. 40, no. 6. P. 583–592.

Lozovik P. A. Organicheskoe veshchestvo i biogenne elementy v ob'ektakh gidrosfery. Istochniki postupleniya, vnutrivodoemnye protsessy obrazovaniya i transformatsii [Organic matter and nutrients in hydrosphere objects. Sources of input, intrabasin processes of formation and transformation]. *Organich. veshchestvo i biogenne elementy vo vnutr. vodoemakh i mor-*

skikh vodakh: Trudy VI Vseross. simpoz. s mezhd. uch. [Organic matter and nutrients in inland waters and sea waters: Proceed. VI All-Russ. symp. with int. part.]. Bar-naul, 2017. P. 141–147.

Lozovik P. A., Basov M. I., Litvinenko A. V. Otsenka postupleniya khimicheskikh veshchestv v gidrograficheskuyu set' s vodosbornoi territorii Karelii [Assessment of chemical input into the drainage network from Karelian river basins]. *Vodnye resursy* [Water Resources]. 2005. Vol. 32, no. 5. P. 584–588.

Maksimova M. P. Gidrokhiimiya Belogo morya [Hydrochemistry of the White Sea]: Summary of DSc (Dr. of Geogr.) thesis. Moscow, 1990. 51 p.

Maksimova M. P. Sostoyaniye malykh rek vodosbora. Gidrokhiimiya [State of small catchment rivers. Hydrochemistry]. *Beloe more i ego vodosbor pod vliyaniem klimaticheskikh i antropogennykh faktorov* [The White Sea and its catchment under climate and man-induced impact]. Petrozavodsk: KarRC RAS, 2007. P. 74–104.

Mnogoletnie dannye o rezhime i resursakh poverkhnostnykh vod sushi SSSR. T. 1. RSFSR. Vyp. 7. Basseiny rek Zapadnogo poberezh'ya Belogo morya [Long-term data on the regime and resources of surface waters in the USSR. T. 1. RSFSR. Vol. 7. River basins of the West coast of the White Sea]. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1987. 219 p.

Normativy kachestva vody vodnykh ob'ektov rybokhozyaistvennogo znacheniya, v tom chisle normativov predel'no dopustimyykh kontsentratsii vrednykh veshchestv v vodakh vodnykh ob'ektov rybokhozyaistvennogo znacheniya (Utv. Prikazom Minsel'khoza Rossii ot 13.12.2016 g. № 552) [Water quality standards for water bodies of fishery importance, including standards for maximum permissible concentrations of harmful substances in the waters of water bodies of fishery value (Approved by the Order No. 552 of the Ministry of Agriculture of Russia dated December 13, 2016)].

Potapova I. Yu. Biogenne elementy i organicheskoe veshchestvo v vode pribrezhnoi chasti Belogo morya [Biogenic elements and organic matter in the water of the coastal part of the White Sea]. *Organicheskoe veshchestvo i biogenne elementy vo vnutr. vodoemakh i morskikh vodakh*: Mat. V Vseross. simp. s mezhdunar. uchast. [Organic matter and biogenic elements in inland water bodies and sea waters: Proceed. V All-Russ. symp. with int. part.]. Petrozavodsk: KarRC RAS, 2012. P. 274–276.

Radchenko I. G., Il'yash L. V., Shevchenko V. P. Letnii fitoplankton v marginal'nom fil'tre reki Kemi (Onezhskii zaliv Belogo morya) [Summer phytoplankton in the marginal filter of the Kem' River (Onega Bay of the White Sea)]. *Geol. morei i okeanov: Mat. XX Mezhd. nauch. konf. (Shkoly) po morskoi geol.* [Geol. of the seas and oceans: Proceed. XX int. sci. conf. (school) on marine geol.]. Moscow: GEOS, 2013. P. 223–226.

Radchenko I. G., Il'yash L. V., Shevchenko V. P., Zdorovenov R. E., Navigatskii A. N., Politova N. V., Tolstikov A. V. Prostranstvennoe raspredelenie fitoplanktona v subarkticheskom estuarii (reka Kem', Beloe more) [Spatial distribution of phytoplankton in the subarctic estuary (Kem River, the White Sea)]. *Okeanologiya* [Oceanology]. Vol. 59, no. 3. 2019. P. 335–346. doi: 10.31857/S0030-1574593335-346

Sabylina A. V., Selivanova E. A. Khimicheskii sostav i kachestvo vody r. Kemi [Chemical composition and water quality of the Kem' River]. *Sovr. rezhim prirodnykh vod basseina r. Kem'* [The current regime of natural waters of the Kem' River basin]. Petrozavodsk, 1989. P. 165–180.

Zdorovenov R. E. Prilivnyi perenos primesi v pribrezhnykh raionakh Belogo morya [Tidal transfer of impurities in the coastal areas of the White Sea]: Summary of PhD (Cand. of Geogr.) thesis. Murmansk, 2004. 24 p.

Gordeev V. V., Shevchenko V. P., Pokrovsky O. S. The geochemical features of the river discharge to the White Sea. *Handb. Environ. Chem.* 2018. Vol. 81. P. 47–81. doi: 10.1007/698_2018_329

Shevchenko V. P., Alexeeva T. N., Filippov A. S., Novigatsky A. N., Pautova L. A., Politova N. V., Rat'kova T. N., Dolotov Y. S., Filatov N. N., Platonov A. V., Nöthig E. M., Stein R. Biogeochemistry of the Kem' river estuary, White Sea (Russia). *HESS.* 2005. Vol. 9, no. 1–2. P. 57–66.

Zyryanov V. N., Chebanova M. K., Filatov N. N. Seawater intrusion into river mouths. *Water Resources.* 2015. Vol. 42, no. 5. P. 616–626. doi: 10.7868/S032105961505020X

Received February 06, 2020

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

Толстик Алексей Владимирович

руководитель лаб. географии и гидрологии, к. г. н.
Институт водных проблем Севера КарНЦ РАН,
Федеральный исследовательский центр
«Карельский научный центр РАН»
пр. А. Невского, 50, Петрозаводск, Республика Карелия,
Россия, 185030
эл. почта: alexeytolstikov@mail.ru

Галахина Наталия Евгеньевна

научный сотрудник лаб. гидрохимии и гидрогеологии,
к. х. н.
Институт водных проблем Севера КарНЦ РАН,
Федеральный исследовательский центр
«Карельский научный центр РАН»
пр. А. Невского, 50, Петрозаводск, Республика Карелия,
Россия, 185030
эл. почта: kulakovanata@mail.ru

Здорovenov Роман Эдуардович

старший научный сотрудник лаб. гидрофизики, к. г. н.
Институт водных проблем Севера КарНЦ РАН,
Федеральный исследовательский центр
«Карельский научный центр РАН»
пр. А. Невского, 50, Петрозаводск, Республика Карелия,
Россия, 185030
эл. почта: romga74@gmail.com

CONTRIBUTORS:

Tolstikov, Aleksey

Northern Water Problems Institute, Karelian Research Centre,
Russian Academy of Sciences
50 Al. Nevsky Ave., 185030 Petrozavodsk, Karelia, Russia
e-mail: alexeytolstikov@mail.ru

Galakhina, Natalia

Northern Water Problems Institute, Karelian Research Centre,
Russian Academy of Sciences
50 Al. Nevsky Ave., 185030 Petrozavodsk, Karelia, Russia
e-mail: kulakovanata@mail.ru

Zdorovenov, Roman

Northern Water Problems Institute, Karelian Research Centre,
Russian Academy of Sciences
50 Al. Nevsky Ave., 185030 Petrozavodsk, Karelia, Russia
e-mail: romga74@gmail.com