ИЗВЕСТИЯ РУССКОГО ГЕОГРАФИЧЕСКОГО ОБЩЕСТВА 2022, том 154, № 4, с. 39–53

ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ПОВЕРХНОСТНЫХ СТОЧНЫХ И РЕЧНЫХ ВОД, ПОСТУПАЮЩИХ С ТЕРРИТОРИИ ГОРОДА ПЕТРОЗАВОДСКА В ОНЕЖСКОЕ ОЗЕРО

© 2022 г. А. В. Сабылина[a], *, Т. А. Ефремова[a], *, О. И. Икко[a], **

[a] *Институт водных проблем Севера КарНЦ РАН, ФИЦ "Карельский научный центр РАН", Петрозаводск, Россия*

**E-mail: efremova.nwpi@mail.ru*

***E-mail: vos-olga-zenia@yandex.ru*

Поступила в редакцию 11.01.2022 г.
После доработки 10.06.2022 г.
Принята к публикации 12.07.2022 г.

Представлены результаты сезонных исследований химического состава вод, поступающих с селитебной территории г. Петрозаводска в Петрозаводскую губу Онежского озера. С ливневыми и дренажными водами с территории города в Петрозаводскую губу поступает минеральных солей 21.1 тыс. т/год, органических веществ (по ХПК) – 8.3 т С/год, биогенных – 657.4 т/год. Со стоком рек Лососинка и Неглинка в Петрозаводскую губу поступает 10.1 тыс. т/год минеральных солей, 678.2 т/год соединений биогенных элементов (P, N, Si, Fe). Летом по сравнению с весной в 70% случаев наблюдается понижение концентрации натрия и хлора, в 80% случаев – повышение концентрации сульфатов. Зимой, по сравнению с осенью, в 40% проб поверхностных сточных вод наблюдается повышение концентрации натрия и хлора, а содержание сульфатов в 85% проб понижается. Учитывая, что Петрозаводская губа служит источником централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения и объектом рекреационной и рыбохозяйственной деятельности, необходима организация систем очистки поверхностных сточных вод.

Ключевые слова: минерализация, ионный состав, органическое вещество, биогенные элементы, загрязняющие вещества, селитебные территории, Петрозаводская губа Онежского озера

DOI: 10.31857/S0869607122040073

ВВЕДЕНИЕ

Актуальной проблемой крупных населенных пунктов является обеспечение экологической безопасности объектов питьевого и хозяйственного водоснабжения. Поверхностный сток с селитебных территорий оказывает негативное воздействие на качество природных вод приемного бассейна. Он формируется из талых, дождевых, поливомоечных и дренажных вод. Химический состав поверхностного стока сильно изменяется по территории города, поскольку его формирование происходит в разных функциональных зонах: промышленных, автотранспортных, строительных площадок, многоэтажных и малоэтажных жилых районов. Различные загрязняющие вещества, смываемые с этих районов города, служат источником токсичных веществ (нефтепродуктов, тяжелых металлов, СПАВ и др.) в принимающем водном объекте. В российских городах экологическому мониторингу поверхностного стока с урбанизированных территорий уделяется недостаточное внимание, что частично может быть объяснено от-

несением поверхностного стока в ранее действующем законодательстве к условно-чистым водам, не требующим очистки перед сбросом в водоем. Это упущение исправлено в 2018 г. нормативным документом [16]. Ливневые канализации, по большей части построенные в советское время, имели одну цель – отведение поверхностного стока. В настоящее время развитие жилой застройки, промышленности и инфраструктуры не всегда сопровождается одновременным созданием ливневой канализации [17].

Петрозаводск – город с населением 280 тыс. чел., расположенный на юго-западном берегу Петрозаводской губы Онежского озера. Поверхностные стоки с его селитебной территории оказывают существенное влияние на экосистему губы и озера в целом [8, 15]. Малые реки – Лососинка и Неглинка, водосборы которых находятся на урбанизированной территории города, также подвержены антропогенному воздействию. Уровень и характер этого воздействия определяется функциональными особенностями прибрежных районов. Ливневый и дренажный сток города поступает по трубам без очистки в Петрозаводскую губу. Выявление особенностей химического состава речного, ливневого и дренажного стока в Петрозаводскую губу Онежского озера имеет важное экологическое значение для Республики Карелия.

Цель исследования – изучение химического состава речных и поверхностных сточных вод с селитебной территории города Петрозаводска, поступающих в Петрозаводскую губу Онежского озера.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Территория г. Петрозаводска (135 км^2) располагается в юго-западной части Петрозаводской губы (площадь 72 км^2) Онежского озера. Транспортировка поверхностных сточных вод по селитебной территории города осуществляется как по коллекторно-дренажной системе, так и открытым способом.

Сезонный отбор проб осуществлялся в апреле, мае, июле, октябре 2017 г. и марте 2018 г. в восьми коллекторно-дренажных выпусках, трех ручьях и двух реках, протекающих по территории города. Пробы воды в реках отбирались в верховье и устье (рис. 1). Описание станций отбора проб воды представлено в табл. 1.

Химический анализ проводился по показателям, отражающим особенности антропогенного воздействия на поверхностно-сточные и речные воды. При этом рассматривались следующие группы показателей:

1. Минерализация, электропроводность и ионный состав воды (Ca^{2+}, Mg^{2+}, Na^+, K^+, HCO_3^-, SO_4^{2-}, Cl^-).

2. Органическое вещество (ОВ): цветность, перманганатная окисляемость (ПО), химическое потребление кислорода (ХПК), биохимическое потребление кислорода за 5 суток ($БПК_5$).

3. Биогенные элементы: $P_{общ}$, $P_{мин}$, NH_4^+, NO_2^-, NO_3^-, $N_{орг}$, Si, Fe, Mn.

4. pH воды, взвешенное вещество.

5. Загрязняющие вещества: нефтепродукты, тяжелые металлы (Cu, Zn, Pb, Cd).

Определение химического состава природных вод проводили в лаборатории гидрохимии и гидрогеологии Института водных проблем Севера КарНЦ РАН. При выполнении химических анализов использовались методы, описанные в [1]. Щелочность (Alk, мгHCO_3^-/л) определялась потенциометрическим методом с двухточечным титрованием до pH 4.5 и 4.2; Na^+ и K^+ – пламенно-фотометрическим методом; Ca^{2+} и Mg^{2+} – атомно-абсорбционным методом; SO_4^{2-} – фотометрическим методом с хлоридом бария и сульфоназо III; Cl^- – фотометрическим методом с тиоцинатом ртути и нитратом железа (III); NH_4^+ – фотометрическим индофенольным методом; NO_3^- – восстановлением на кад-

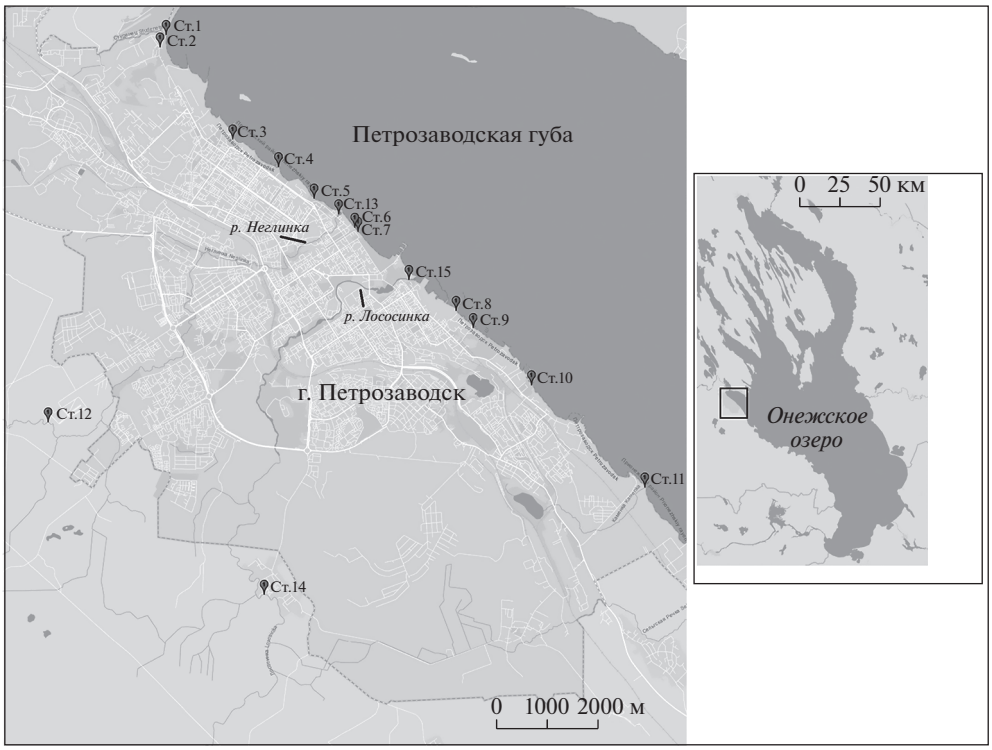

Рис. 1. Карта-схема станций отбора проб воды с селитебной территории г. Петрозаводска в 2017–2018 гг.
Fig. 1. Water sampling stations in the residential area of Petrozavodsk in 2017–2018.

миевом редукторе и с последующим анализом нитритов с сульфаниламидом и N-(1-нафтил)-этилендиамина дигидрохлоридом; $N_{общ}$ – персульфатным окислением в щелочной среде; $Fe_{общ}$ – атомно-абсорбционным методом; $P_{общ}$ – персульфатным окислением и последующим анализом фосфора минерального; $P_{мин}$ – фотометрическим методом Морфи и Райли; нефтепродукты – экстракционно-хроматографическим ИК-спектрометрическим методом; Cu, Zn, Pb, Cd – атомно-абсорбционным методом; взвешенное вещество – гравиметрическим методом; Si – фотометрическим методом в виде желтой кремниймолибденовой гетерополикислоты.

Оценка загрязненности поверхностных сточных вод и рек, протекающих по селитебной территории, выполнена по РД 52.24.643-2002 [13]. В работе применялись ПДК для водоемов рыбохозяйственного назначения [12].

Объем выноса веществ с селитебной территории г. Петрозаводска определяли по их концентрации в воде и объему стока с этой территории. Объем стока с селитебной территории г. Петрозаводска был рассчитан для теплого и холодного периодов, с учетом застроенных, заасфальтированных и иных “запечатанных” площадей.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Поверхностные сточные воды (ПСВ). ПСВ, поступающие в прибрежные районы Петрозаводской губы, характеризуются высокой минерализацией. Солевой состав в ПСВ изменяется в течение года в широких пределах – от 264.7 до 1277.0 мг/л (в сред-

Таблица 1. Описание станций отбора проб воды
Table 1. Description of the water sampling stations

№ станции	Наименование, координаты	Примечание
1	Руч. Студенец 61°49.790′ с.ш.; 34°18.318′ в.д.	Вытекает из лесного массива, протекает через промышленную зону, по землям бывшего совхоза, жилого малоэтажного комплекса
2	Руч. Вилга 61°49.561′ с.ш.; 34°18.181′ в.д.	Местность заболоченная, в районе возводится жилой малоэтажный комплекс
3	Труба по ул. Мелентьевой 61°48.694′ с.ш.; 34°19.797′ в.д.	Заводские стоки ДСК, малых предприятий, промышленная зона “Петрозаводскмаш”
4	Труба по ул. Московская 61°48.403′ с.ш.; 34°20.816′ в.д.	Рекреационная местность, станция мойки автомобилей
5	Труба по ул. Ленинградской 61°48.068′ с.ш.; 34°21.611′ в.д.	Многоэтажный жилой массив
6	Труба возле Ротонды 61°47.763′ с.ш.; 34°22.517′ в.д.	Городская набережная
7	Труба возле городского ЗАГСа 61°47.718′ с.ш.; 34°22.584′ в.д.	Городская набережная
8	Труба и неорганизованный сток Судостроительного завода и Автоколонны 1126 61°46.886′ с.ш.; 34°24.776′ в.д.	Коллектор переполнен поверхностными сточными водами
9	Канава (Морской клуб) 61°46.708′ с.ш.; 34°25.154′ в.д.	Действует во время паводков и осадков
10	Руч. Большой 61°46.103′ с.ш.; 34°26.449′ в.д.	Местность заболоченная, с обильными выходами грунтовых вод, на левом берегу расположена вторая очередь молокозавода
11	Руч. Каменный 61°45'01.69″ с.ш.; 34°28'58.8″ в.д.	Протекает в жилых районах Ключевая и Сайнаволок
12	Р. Неглинка (верховье) 61°45.714′ с.ш.; 34°15.688′ в.д.	Исток из небольшой ламбы. Верховье реки заболоченное. Протекает через микрорайоны Древлянка, Перевалка, Первомайский и Центр
13	Р. Неглинка (устье) 61°47.902′ с.ш.; 34°22.156′ в.д.	
14	Р. Лососинка (сред. течение) 61°43.910′ с.ш.; 34°20.483′ в.д.	Вытекает из оз. Лососинное. Верховье реки заболоченное, протекает через микрорайоны Древлянка, Голиковка, территорию бывшего тракторного завода (центр города)
15	Р. Лососинка (устье) 61°47.215′ с.ш.; 34°23.718′ в.д.	

нем 403.7 мг/л), и в 11 раз превышает минерализацию воды в губе (24.4 мг/л). На 10 станциях отбора проб стоков относительное снижение минерализации (%-экв.) летом по сравнению с весной выявлено в четырех случаях, повышение – в пяти случаях, отсутствие изменений – в одном случае. Понижение концентрации натрия и хлора летом по сравнению с весной наблюдается в 70% случаев, а повышение концентрации сульфатов – в 80% случаев. По-видимому, с одной стороны это обусловлено пылевидными выбросами цемента, с другой – выпадениями серной кислоты, связанным с преобладанием западного переноса воздушных масс со стороны индустриально развитых стран Западной Европы. Таким образом, “импорт” серы превышает “экспорт” и выпадение в результате собственных эмиссий [5, 10]. Зимой 2018 г. наблюдались частые оттепели и с талыми водами в ПСВ поступали химические реагенты, обогащенные хлористым натрием, понижающим обледенение дорожных покрытий города. Поэтому в этот сезон, по сравнению с осенью, наблюдается повышение концентрации

натрия и хлора в ПСВ в 40% проб, а содержание сульфатов в 85% проб понижается (табл. 2).

Одновременное изменение концентрации ионов натрия и хлора указывает на антропогенное загрязнение ПСВ, связанное с хозяйственно-бытовой деятельностью.

Содержание органических веществ в ПСВ по косвенным показателям (ПО и ХПК) сравнительно невысокое для сточных вод и изменяется в течение года соответственно от 2.2 до 58.9 мгО/л (в среднем 13.6 мгО/л) и от 17.3 до 96.4 мгО/л (в среднем 42.4 мгО/л) (табл. 3). Среднегодовое значение $БПК_5$ по 11 выпускам ПСВ равнялось 5.28 $мгО_2$/л (2.5 ПДК для рыбохозяйственных водоемов) и составляло 40% от ПО и 8% от ХПК, что указывает на присутствие легкоокисляемых ОВ в ПСВ в течение всего года. Экстремальных значений отношение $\frac{БПК_5}{ПО}$ (101.5) достигает в коллекторно-ливневых водах центрального района города (станция 7).

На десяти станциях отбора проб ПСВ снижение концентрации ОВ по ПО и ХПК в летний период по сравнению с весенним выявлено в четырех случаях, повышение – в пяти случаях. Причем снижение содержания от весны к лету выражено более резко (от 30 до 55%, в среднем 39%), чем увеличение (от 2 до 54%, в среднем 24%). Увеличение концентрации ОВ по ПО и ХПК от осени к зиме было отмечено в 5 случаях (56%), уменьшение – в 3 (33%), отсутствие – в 1 (11%).

Среднегодовое содержание взвешенных веществ в ПСВ по 11-ти выпускам равняется 14.0 мг/л (см. табл. 3). Максимальные их концентрации (83.2 мг/л) определены на станции 8, минимальные – на станции 6 (3.9 мг/л). В речных водах наименьшие концентрации взвешенных веществ (0.7–1.3 мг/л) найдены в верховьях в зимний период, наибольшие – 12.3 и 70.0 мг/л в устьевых участках рек Лососинка и Неглинка соответственно.

В ПСВ отмечается высокая вариабельность содержания соединений фосфора и азота (табл. 4). Концентрация общего фосфора изменяется в течение года в широких пределах; среднее значение составляет 250 мкг/л. Максимум его концентрации приурочен к осеннему сезону (среднее за сезон – 453 мкг/л). Среднегодовое содержание общего фосфора в ПСВ в 10 раз превосходит его концентрации в водах губы (25 мкг/л). Содержание минерального фосфора высокое и составляет 60–98% от общего, что явно связано с хозяйственно-бытовыми источниками его поступления в ПСВ. Наиболее высокие концентрации $Р_{мин}$ и $Р_{общ}$, равные 1678 и 2136 мкг/л, отмечены в ливневых выпусках в восточной части побережья губы (станция 8).

Преобладающей формой минеральных форм азота в ПСВ в течение года является нитратная, составляющая 0.2–6.51 мгN/л (в среднем 2.92 мгN/л). Среднегодовая концентрация аммонийного азота в 2 раза меньше нитратного. Концентрация $N_{орг}$ в ПСВ изменяется от 0.01 до 1.58 мгN/л (в среднем 0.67 мгN/л); эта форма соединений азота не превалирует. Среднегодовая концентрация $N_{орг}$ в 7 раз меньше, чем среднегодовая сумма минеральных соединений азота (табл. 4).

Источником литофильно-биогенных элементов (Fe, Si) в ПСВ служит в основном поступление их из трансформированных грунтов и горных пород городской территории.

Содержание общего железа в исследованных ПСВ в течение года изменялось от 0.1 до 18.9 мг/л. Его средняя за год концентрация составляла 2.3 мг/л, что в 12 раз выше таковой в водах губы. Содержание кремния во всех выпусках ПСВ находилось в пределах 2.8–6.9 мг/л (в среднем за год 4.8 мг/л). Средние концентрации его в водах губы в 2 раза ниже.

Ранее исследования содержания биогенных элементов в ПСВ были проведены весной 1993 г. и 2003 г. и для сравнения данных в табл. 5 приведены их средние значения по всем выпускам за указанные годы и весну 2017 г. Из таблицы видно, что содержание всех минеральных форм биогенных элементов увеличилось в 2017 г. в 2–4 раза по

Таблица 2. Удельная электропроводность, минерализация, ионный состав и величина pH в поверхностных сточных водах и малых реках в 2017–2018 гг., средние значения
Table 2. Conductivity, mineralization, ionic composition and pH value in surface wastewater and small rivers in 2017–2018 (average values)

Станция	æ, мкСм/см	Сумма ионов ($\Sigma_и$), мг/л	Сумма катионов ($\Sigma_{кат}$), ммоль*экв/л	pH	Ионный состав, %-экв.
1	434	308.8	4.2	7.68	$\frac{Ca^{2+}49Na^{+}23Mg^{2+}23K^{+}5}{HCO_3^{-}62Cl^{-}18SO_4^{2-}18NO_3^{-}2}$
2	497	371.5	4.9	7.80	$\frac{Ca^{2+}50Na^{+}25Mg^{2+}21K^{+}3NH_4^{+}1}{HCO_3^{-}72Cl^{-}14SO_4^{2-}12NO_3^{-}2}$
3	590	402.2	5.6	7.53	$\frac{Ca^{2+}45Na^{+}28Mg^{2+}19NH_4^{+}5K^{+}3}{HCO_3^{-}50Cl^{-}24SO_4^{2-}20NO_3^{-}6}$
4	580	404.1	5.5	7.59	$\frac{Ca^{2+}47Na^{+}27Mg^{2+}22K^{+}3NH_4^{+}1}{HCO_3^{-}55Cl^{-}24SO_4^{2-}1\,8NO_3^{-}3}$
5	596	393.8	5.6	8.06	$\frac{Ca^{2+}45Na^{+}30Mg^{2+}22K^{+}3}{HCO_3^{-}51Cl^{-}22SO_4^{2-}20NO_3^{-}7}$
6	855	520.8	8.0	7.92	$\frac{Na^{+}56Ca^{2+}29Mg^{2+}11K^{+}4}{Cl^{-}50HCO_3^{-}32SO_4^{2-}10NO_3^{-}4Aорг4}$
7	540	360.2	5.0	7.56	$\frac{Ca^{2+}45Na^{+}30Mg^{2+}17NH_4^{+}5K^{+}3}{HCO_3^{-}54Cl^{-}24SO_4^{2-}19NO_3^{-}3}$
8	1150	734.4	11.0	7.57	$\frac{Na^{+}51Ca^{2+}29Mg^{2+}14NH_4^{+}4K^{+}2}{Cl^{-}49HCO_3^{-}39SO_4^{2-}9NO_3^{-}2Aорг1}$
9	534	353.4	5.0	7.43	$\frac{Ca^{2+}42Na^{+}40Mg^{2+}15K^{+}2}{HCO_3^{-}47Cl^{-}37SO_4^{2-}16}$
10	806	487.1	7.3	7.90	$\frac{Na^{+}52Ca^{2+}30Mg^{2+}15K^{+}2}{Cl^{-}51HCO_3^{-}34SO_4^{2-}11NO_3^{-}4}$
11	146	104.8	1.6		$\frac{Ca^{2+}49Mg^{2+}31Na^{+}17K^{+}2NH_4^{+}1}{HCO_3^{-}54Aорг23Cl^{-}12SO_4^{2-}9NO_2^{-}2}$
Среднее*	612	403.7	5.8		
12	33	5.5	0.2	4.31	$\frac{H^{+}26Ca^{2+}25Na^{+}22Mg^{2+}19K^{+}5NH_4^{+}\,3}{SO_4^{2-}42Cl^{-}38Aорг16NO_3^{-}4}$
13	414	250.2	3.9	7.35	$\frac{Na^{+}38Ca^{2+}35Mg^{2+}21K^{+}4NH_4^{+}2}{HCO_3^{-}41Cl^{-}31Aорг14SO_4^{2-}11NO_3^{-}3}$
14	42	28.9	0.5	6.91	$\frac{Ca^{2+}44Mg^{2+}36Na^{+}16K^{+}4}{HCO_3^{-}56Aорг30SO_4^{2-}7Cl^{-}7}$
15	93	62.1	0.9	7.24	$\frac{Ca^{2+}38Na^{+}33Mg^{2+}25K^{+}4}{HCO_3^{-}52Cl^{-}30SO_4^{2-}10Aорг6NO_3^{-}2}$

Примечание. * – среднее за год по одиннадцати выпускам ПСВ.

Таблица 3. Косвенные показатели содержания ОВ в поверхностно сточных водах и малых реках в 2017–2018 гг., средние значения
Table 3. Content of indirect indicators of organic matter in surface wastewater and small rivers in 2017–2018 (average values)

Станция	ЦВ, Град	ПО, мгО/л	ХПК, мгО/л	$БПК_5$, $мгО_2$/л	$БПК_5$/ПО, %	Взвешенное вещество, мг/л
1	75	12.8	39.7	2.09	16.3	4.0
2	66	11.3	38.1	3.62	32.0	9.2
3	35	9.8	49.7	7.49	76.8	16.6
4	33	9.8	51.5	6.73	68.5	5.4
5	21	4.4	23.6	1.24	28.4	2.6
6	50	12.3	29.6	6.72	54.9	1.5
7	37	8.7	39.3	8.80	101.5	8.4
8	37	12.0	41.4	10.94	90.9	83.2
9	27	4.6	21.8	3.79	82.0	5.2
10	27	20.0	33.9	5.03	25.2	16.5
11	401	44.3	97.4	1.67	3.8	13.0
Среднее*	74	13.6	42.4	5.28	52.8	14.0
12	292	44.1	84.9	1.38	3.1	1.3
13	158	22.3	55.0	5.66	25.4	28.4
14	158	21.7	44.3	1.76	8.1	3.0
15	155	20.5	42.6	0.89	4.4	8.4

Примечание. * – среднее за год по одиннадцати выпускам ПСВ.

Таблица 4. Содержание биогенных элементов в поверхностных сточных и речных водах в 2017–2018 гг., средние значения
Table 4. Content of nutrients in surface wastewater and river waters in 2017–2018 (average values)

Станция	$P_{мин}$	$P_{общ}$	NH_4^+	NO_3^-	$N_{орг}$	$Fe_{общ}$	Si
	мкг/л		мг/л				
1	66	84	0.27	0.80	0.45	1.9	5.0
2	105	142	1.02	1.54	0.50	2.6	5.6
3	252	269	3.68	4.62	0.19	2.5	5.4
4	103	138	0.80	2.75	0.48	1.6	5.5
5	153	161	0.30	4.06	0.62	0.3	5.2
6	95	267	0.48	4.50	2.29	1.5	4.6
7	565	700	3.15	4.10	0.29	0.3	4.1
8	460	688	5.68	3.50	0.59	1.7	5.0
9	67	142	0.18	0.63	0.65	1.2	4.3
10	56	85	0.55	4.70	0.81	1.0	4.7
11	46	78	0.37	0.90	0.45	10.5	3.7
Среднее*	179	250	1.50	2.92	0.67	2.3	4.8
12	15	43	0.09	0.10	0.93	1.2	3.1
13	99	140	0.66	1.80	0.56	2.6	4.1
14	32	61	0.04	0.08	0.93	1.2	2.4
15	39	72	0.09	0.25	0.56	1.7	2.6

Примечание:* – среднее за год по одиннадцати выпускам ПСВ.

Таблица 5. Средние значения концентрации биогенных элементов по всем водовыпускам в весенние сезоны 1993, 2003 и 2017 гг.
Table 5. Average values of the concentration of nutrients for all water sampling stations in spring seasons in 1993, 2003 and 2017

Год	$P_{мин}$	$P_{общ}$	NH_4^+	NO_3^-	$N_{орг}$
	мкг/л		мгN/л		
1993	88	140	0.14	0.57	0.59
2003	53	80	0.15	1.60	0.99
2017	101	142	0.70	2.72	0.47

сравнению с 1993 и 2003 гг., т.е. антропогенная составляющая в ПСВ неуклонно возрастает.

Водосбор р. Неглинки (станция 12) отличается высокой заболоченностью (15%) [3]. Вода в верховье реки обогащена гумусовыми веществами (цветность 292 град.; ПО 44.1 мгО/л; pH 4.31) (см. табл. 3). При таких низких значениях pH в воде отсутствуют гидрокарбонаты, а превалирующим анионом являются сульфаты, катионом – H^+. Такое необычное распределение связано в первую очередь с особенностью кислотно-основного равновесия поверхностных вод гумидной зоны. Такая специфика вод связана с наличием органических веществ, содержание которых сопоставимо с содержанием минеральных веществ, поэтому кислотно-основное равновесие в них обусловлено двумя системами: карбонатной и гумусовой; pH таких вод определяется содержанием их равновесных компонентов [6]. Кислотность поверхностных вод гумидной зоны обусловлена наличием свободных ионов H^+, углекислого газа и слабых органических кислот, в первую очередь гумусовых [6]. Степень антропогенного воздействия на химический состав воды рек Лососинка (станции 14, 15) и Неглинка (станции 12, 13) возрастает от верховьев к устьям. В верховьях рек качество воды соответствует их природному состоянию. Следует особо подчеркнуть степень антропогенного воздействия на воды р. Неглинка. В верховьях р. Неглинки и Лососинки общая минерализация воды составляла 5.5 и 28.9 мг/л соответственно, в устье рек она возросла в первой в 46 раз, во второй – в 2 раза (см. табл. 2). Причем возрастание общей минерализации в воде р. Неглинка связано в первую очередь с увеличением содержания хлорида натрия, в особенности в период половодья. Также повышенное содержание хлоридов и сульфатов установлено в устье р. Неглинки, что, по-видимому, связано с интенсивным поступлением минеральных веществ с городской территории вместе с дождевыми и талыми водами. Кардинальное изменение формулы ионного состава воды (в %-экв, среднегодовое) реки Неглинка от верховья (1) к устью (2) служит яркой иллюстрацией антропогенного воздействия на химический состав воды реки:

$$\frac{H^+26Ca^{2+}25Na^+22Mg^{2+}19K^+5NH_4^+\,3}{SO_4^{2-}42Cl^-38Aopr16NO_3^-4}, \quad (1)$$

$$\frac{Na^+38Ca^{2+}35Mg^{2+}21K^+4NH_4^+\,2}{HCO_3^-41Cl^-31Aopr14SO_4^{2-}11NO_3^-3}. \quad (2)$$

Перераспределения доли главных катионов и анионов в ионном составе р. Лососинка не происходило, но незначительно повышаются доли Na^+и Cl^-.

Содержание растворенного кислорода в р. Лососинка изменяется от 8.30 до 10.27 (73–89% насыщения). Концентрация растворенного кислорода и процент насыщения

в р. Неглинка низкие летом в истоке (5.91 мг/л и 57% насыщения) и повышаются в замыкающем створе до 8.31 мг/л и 80% насыщения.

Вода в верховье рек, как ранее было отмечено, содержит большое количество аллохтонного ОВ природного происхождения. Так, средние величины цветности в р. Неглинка и р. Лососинка равны 292 и 156 град., ПО – 44.1 и 21.7 мгО/л, ХПК – 84.9 и 44.3 мгО/л, $БПК_5$ – 1.38 и 1.33 мгO_2/л соответственно. К устью показатели ОВ в воде р. Лососинка практически не изменяются, тогда как в р. Неглинка значения цветности, ПО и ХПК уменьшаются практически вдвое. При этом количество легкоокисляемого ОВ существенно возрастает – среднее значение $БПК_5$, отражающего лабильную часть ОВ, составляет здесь 5.66 мг O_2/л (см. табл. 3).

Низкое содержание минерального (5-15 мкг/л) и общего фосфора (10–35 мкг/л) характерно для природных вод Карелии и истоков изучаемых рек [5]. К устью среднегодовые концентрации $Р_{мин}$ в воде р. Неглинка возрастают с 15 (верховье) до 99 мкг/л, а $Р_{общ}$ – с 43 до 140 мкг/л (см. табл. 4). Доля $Р_{мин}$ в составе $Р_{общ}$ возрастает с 35 до 71%, что свидетельствует об антропогенном воздействии, вызванном поступлением хозяйственно-бытовых сточных вод с селитебной территории. Кроме того, на водосборной территории реки имеется ряд неорганизованных свалок бытового и хозяйственного мусора, а значительная часть водосбора реки находится на территории г. Петрозаводска [14]. Максимально высокое содержание общего фосфора (262 мкг/л) было выявлено в р. Неглинка в период осеннего паводка.

Среднегодовое содержание минеральных форм азота NO_3^- и NH_4^+ в р. Неглинка возрастает по течению к устью соответственно с 0.10 до 1.80 мгN/л и с 0.09 до 0.66 мгN/л, тогда как в р. Лососинка концентрации NO_3^- и NH_4^+ соответственно увеличиваются незначительно: с 0.08 до 0.25 мгN/л и с 0.04 до 0.09 мгN/л.

Загрязняющие вещества в ПСВ. Загрязняющие вещества (тяжелые металлы и нефтепродукты) поступают в ПСВ из несанкционированных свалок городских отходов, промышленных предприятий, автотранспорта, автозаправок. Эти загрязняющие вещества попадают в Петрозаводскую губу в больших количествах в периоды весеннего паводка и обильных дождей. Содержание нефтепродуктов было в пределах 0.01–7.54 мг/л. Максимальное их количество зафиксировано в центральной части города (станции 4, 5, 6). В воде всех выпусков содержание Cd (0.01–0.12 мкг/л) и Pb (0.3–4.3 мкг/л) было значительно ниже ПДК (табл. 6). Концентрация Zn варьировала в широких пределах (12.2–154.2 мкг/л), и в среднем составляла 67.4 мкг/л (6.7 ПДК). Максимальное содержание цинка определено в выпуске на станции 3, где протекают заводские стоки ДСК, малых предприятий и промышленной зоны “Петрозаводскмаш”, а также в выпуске на станции 6, стоки которого протекают через центр Петрозаводска. Кроме того, все исследованные ПСВ содержали повышенное количество Cu – от 4.3 до 95.4 мкг/л (в среднем 30 мкг/л, или 30 ПДК). Хочется отметить, что повышенное содержание Cu и Zn характерно для всего региона и, по всей видимости, помимо антропогенного воздействия, их содержание в ПСВ отражает и геохимические особенности территории [7, 9]. При поступлении в Петрозаводскую губу часть металлов, например Fe, будет связана с органическим веществом аллохтонного происхождения, а остальные элементы (Zn, Pb, Cd) будут находиться в ионных, то есть наиболее токсичных формах [11].

Из загрязняющих веществ в воде рек, протекающих по селитебной территории города, исследовались нефтепродукты и тяжелые металлы (Zn, Cu, Pb, Cd). Среднегодовые концентрации нефтепродуктов в верховьях рек Лососинка и Неглинка равны 0.08 мг/л, к устьям рек они возрастают до 0.17 (3.4 ПДК) и 0.52 мг/л (10.4 ПДК) соответственно. Среди тяжелых металлов превышение ПДК в устьевых участках рек отме-

Таблица 6. Содержание нефтепродуктов и тяжелых металлов в поверхностных сточных водах и малых реках в 2017–2018 гг., средние значения
Table 6. The content of total petroleum hydrocarbons and heavy metals in surface wastewater and small rivers in 2017–2018 (average values)

Станция	Zn	Cu	Pb	Cd	Нефтепродукты
	мкг/л				мг/л
1	27.6	13.6	1.2	0.06	0.12
2	12.2	4.3	0.4	0.04	0.08
3	125.9	37.0	0.6	0.09	0.16
4	73.5	27.2	0.5	0.04	2.13
5	44.4	17.2	0.4	0.06	0.84
6	154.2	95.4	4.3	0.09	0.85
7	80.1	34.4	0.4	0.04	0.39
8	97.2	53.2	2.2	0.12	0.49
9	57.5	16.5	0.6	0.12	0.08
10	45.5	22.9	1.2	0.08	0.60
11	23.7	8.7	0.9	0.03	0.08
Среднее *	67.4	30.0	1.2	0.07	0.53
12	10.9	1.7	0.7	0.05	0.08
13	30.1	48.3	1.9	0.07	0.52
14	9.7	1.5	0.5	0.08	0.08
15	50.4	20.3	1.5	0.05	0.17
ПДК (для водоемов рыбохозяйственного назначения)	**10**	**1**	**6**	**5**	**0.05**

Примечание. * – среднее за год по одиннадцати выпускам ПСВ.

чено для Zn (от 3 до 5 ПДК) и Cu (от 20 до 48 ПДК). Максимальные концентрации первого отмечены в р. Лососинка, а второго – в р. Неглинка (см. табл. 6).

Воды р. Лососинка на всем течении по КИЗВ (комплексный индекс загрязненности вод) и УКИЗВ (удельный комбинированный индекс, определяемый по частоте и кратности превышения ПДК) относятся к “слабо загрязненным” водам в истоке, а в замыкающем створе – к “загрязненным”. Вода р. Неглинка в устье по критерию УКИЗВ является “очень загрязненной” (табл. 7). В устье реки наблюдается изменение состава главных ионов, с преобладающим катионом натрия.

Характеристика водного стока с селитебной территории. К основным факторам, определяющим изменение водного баланса на урбанизированных территориях, можно отнести следующее:

– наличие участков водонепроницаемых грунтов;

– преобразование воздушных масс над городом, что сопровождается изменением температуры воздуха, осадков и испарения;

– изменение условий формирования подземных вод и режима их стока.

Определяющую роль в изменении годового стока с больших водосборов играют первые два фактора. В среднем за год на территорию г. Петрозаводска выпадает 620 мм атмосферных осадков [2]. Объем стока каждого из 11 обследованных выпусков ПСВ неизвестен, и они не охватывают всю урбанизированную территорию города, поэтому сток ПСВ с селитебной территории определяли водно-балансовым методом. Принималось, что изменение стока соответствует изменению испарения [8]. Для

Таблица 7. КИЗВ, УКИЗВ поверхностных сточных вод и вод рек Лососинка и Неглинка в 2017–2018 гг., рассчитанные по ПДК
Table 7. Combinatorial index of water pollution and a specific combinatorial index of surface wastewater and the Lososinka and Neglinka river water pollution in 2017–2018, calculated according to maximum permissible concentration

Станция	КИЗВ	УКИЗВ	Характеристика воды по УКИЗВ
1	42.3	2.7	Загрязненная
2	42.8	2.7	Загрязненная
4	63.1	4.0	Грязная
5	29.6	1.9	Слабо загрязненная
6	88.2	5.5	Грязная
7	63.7	4.0	Грязная
8	83.1	5.2	Грязная
9	40.1	2.5	Загрязненная
10	52.3	3.6	Очень загрязненная
11	43.3	2.7	Загрязненная
12	23.5	1.4	Слабо загрязненная
13	64.3	3.8	Очень загрязненная
14	25.8	1.5	Слабо загрязненная
15	37.1	2.2	Загрязненная

Таблица 8. Испарение с городской территории Петрозаводска (мм)
Table 8. Evaporation from the urban area of Petrozavodsk (mm)

Показатель	Месяцы												Год
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
E_o	5	5	13	35	73	102	106	68	33	13	7	6	466
E_a	5	5	13	35	14	16	18	21	20	10	7	6	170
E_{pr}	5	5	13	35	62	89	86	59	32	12	7	6	411
E_{gor}	5	5	13	35	54	78	75	53	30	12	7	6	373

Примечание: E_o – испаряемость, E_a – испарение с практически водонепроницаемой (“запечатанной”) части территории города, E_{pr}–испарение с окружающей территории, E_{gor}–испарение с территории города в целом.

г. Петрозаводска было рассчитано испарение отдельно для теплого и холодного периода с учетом площади застроенных и заасфальтированных территорий [4]. Результаты расчета испарения с различных территорий представлены в табл. 8.

Значение стока с окружающей город территории, полученное при осреднении величин стока ближайших рек, составляет 350 мм. Водонепроницаемая территория города, составляющая около 16%, снижает испарение, следовательно, увеличивает сток на 38 мм. В таком случае слой стока с городской территории составляет 388 мм. Площадь селитебной территории города составляет 135 км^2, тогда объем стока с селитебной территории города будет равен: $135.0 \times 388 \times 10^6 = 52380$ тыс. м^3/год. Среднемноголетний расход воды р. Лососинки равен 3.21 м^3/с, р. Неглинки – 0.48 м^3/с. Исходя из сказанного выше, был определен вынос химических веществ с селитебной территории города с поверхностными водами и речным стоком (табл. 9).

Таблица 9. Вынос химических веществ с селитебной территории города Петрозаводска поверхностными сточными водами и реками в 2017–2018 гг.
Table 9. Removal of chemicals from the residential area of the Petrozavodsk city by surface wastewater and rivers in 2017–2018

Показатель	Селитебная территория	р. Лососинка	р. Неглинка
Сумма ионов ($\Sigma_и$), тыс. т/год	21.1	6.3	3.8
Взвешенное вещество, т/год	743.8	852.0	438.0
ПО, т О/год	712.4	2079.4	338.2
ХПК, т О/год	2220.9	4321.2	834.2
$БПК_5$, т O_2/год	277.6	90.3	0.09
$P_{мин}$, т/год	9.4	4.0	1.5
$P_{общ}$, т/год	13.1	7.3	2.1
NH_4^+, т/год	78.6	9.1	10.1
NO_3^-, т/год	151.9	25.4	27.3
NO_2^-, т/год	5.2	0.5	0.7
$N_{орг}$, т/год	36.7	56.8	8.5
$N_{общ}$, т/год	272.4	91.8	46.6
$Fe_{общ}$, т/год	120.5	172.4	39.4
Si, т/год	251.4	263.7	62.2
Cu, т/год	1.6	5.1	0.8
Zn, т/год	3.5	2.9	0.5
Нефтепродукты, т/год	27.8	17.2	7.6

Как видно из табл. 9, наибольшее влияние селитебной территории Петрозаводска отражается на минерализации ПСВ и речных вод. Вынос минеральных веществ с ПСВ в 9.5 раза выше, чем органических (по ХПК). Биогенный сток с селитебной территории невелик ($P_{общ}$ 13.1 т/год, $N_{общ}$ 272.4 т/год). Однако бóльшая часть от $P_{общ}$ приходится на $P_{мин}$ – 72%, а от $N_{общ}$ 56% приходится на NO_3^- и 27% – на NH_4^+. Доля $N_{орг}$ небольшая – 13%, и совсем низкая доля NO_2^- – 4%. Такое распределение в стоке форм азота закономерно, поскольку дренажные ливневые воды с селитебной территории хорошо насыщены кислородом, и процесс нитрификации в них заканчивается образованием нитратов.

Основная доля в суммарном биогенном стоке (P, N, Fe, Si) в ПСВ приходится на $N_{общ}$ (41%). Второе место занимает Si, затем идут Fe и P. В речном биогенном стоке около половины его приходится на долю кремния. ПСВ и речные воды вносят в Онежское озеро значительное количество нефтепродуктов (около 28 т/год). Высокое количество Cu (5.1 т/год) вносится с речными водами, а Zn (3.5 т/год) – с ПСВ.

ВЫВОДЫ

Проведенный анализ химического состава ПСВ и речных вод, стекающих с селитебной территории города Петрозаводска, показал, что он подвержен значительной внутригодовой изменчивости и пространственно неоднороден. Выявлено, что наибольшие изменения претерпевает минеральный и биогенный состав вод, в особенности в период весеннего половодья, когда талые воды содержат максимальное количе-

ство натрия и хлора. В летний период повышается содержание сульфатов в ПСВ, что связано с их поступлением с атмосферными осадками. В осенний период в ПСВ содержание общего фосфора достигает максимальных величин (в среднем 453 мкг/л). Кроме того, по данным прошлых исследований (в весенний период 1993, 2003 и 2017 гг.) отмечается тенденция роста содержания биогенных веществ в 2–4 раза, что говорит о возрастании антропогенного воздействия на ПСВ.

Проведенные исследования химического состава ПСВ и речных вод позволили оценить их поступление в Петрозаводскую губу Онежского озера. Загрязнение ПСВ нефтепродуктами носит локальный характер. Оно максимально в промышленных зонах города. Речные воды в течение периода открытой воды имеют высокие концентрации нефтепродуктов. Река Лососинка, устьевые и предустьевые части которой расположены на территории бывшего тракторного завода, выносит в Петрозаводскую губу 17.2 т/год нефтепродуктов. Исследованные ПСВ и воды р. Неглинки относятся к классу “грязных” или “очень грязных”.

Химический состав ПСВ и речных вод отражает все негативные процессы хозяйственной деятельности на урбанизированной территории Петрозаводска. Изменение хозяйственной деятельности на селитебной территории сказывается на содержании основных химических компонентов в воде. Петрозаводская губа Онежского озера служит источником централизованного хозяйственного водоснабжения и объектом рекреационной и рыбохозяйственой деятельности, поэтому необходима организация систем очистки ПСВ с урбанизированной территории города и организация круглогодичного мониторинга за качеством ПСВ.

Статья подготовлена при финансовом обеспечении федерального бюджета на выполнение государственного задания КарНЦ РАН (ИВПС КарНЦ РАН). Исследования выполнены на научном оборудовании Центра коллективного пользования Федерального исследовательского центра “Карельский научный центр Российской академии наук”.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аналитические, кинетические и расчетные методы в гидрохимической практике. Под ред. Лозовика П.А., Ефременко Н.А. СПб.: Нестор-История, 2017. 272 с.
2. *Балаганский А.Ф., Карпечко В.А., Литвиненко А.В., Сало Ю.А.* Ресурсы речного стока и водный баланс // Крупнейшие озера-водохранилища Севера-Запада европейской территории России: современное состояние и изменения экосистем при климатических и антропогенных воздействиях. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2015. С. 31–38.
3. *Грицевская Г.Л.* Заболоченность и озерность южной Карелии на примере рек Суны и Шуя // Тр. Карельск. Фил.АН СССР. 1964. Вып. 6. С. 8–24.
4. *Карпечко Ю.В.* Гидрологическая оценка антропогенного воздействия на водосборы в таежной зоне европейского севера России. Диссертация на соискание ученой степени доктора географических наук. Петрозаводск, 2004. 303 с.
5. *Лозовик П.А.* Гидрогеохимические критерии состояния поверхностных вод гумидной зоны и их устойчивости к антропогенному воздействию. Диссертация на соискание ученой степени доктора химических наук. Петрозаводск, 2006. 481 с.
6. *Лозовик П.А.* Кислотно-основное равновесие поверхностных вод гумидной зоны // Геохимия. 2007. № 10. С. 1139–1144.
7. *Лозовик П.А., Кулик Н.В., Ефременко Н.А.* Литофильные элементы и тяжелые металлы в Онежском озере: источники поступления, содержание и трансформация // Труды Карельского научного центра РАН. 2020. № 4. С. 62–74. https://doi.org/10.17076/lim1189
8. *Лозовик П.А., Бородулина Г.С., Карпечко Ю.В., Кондратьев С.А., Литвиненко А.В., Литвинова И.А.* Биогенная нагрузка на Онежское озеро по данным натурных наблюдений // Труды КарНЦ РАН. Серия «Лимнология». 2016. № 5. С. 35–52. https://doi.org/10.17076/lim303
9. *Лозовик П.А., Шкиперова О.Ф., Зобков М.Б., Платонов А.В.* Геохимические особенности поверхностных вод Карелии и их классификация по химическим показателям // Труды КарНЦ РАН. 2006. № 9. С. 130–143.

10. Межрегиональное атмосферное загрязнение территорий. Республика Карелия. СПб.: НИИ охраны атмосферного воздуха, 1998. 93 с.
11. *Никаноров А.М., Жулидов А.В.* Биомониторинг металлов в пресноводных экосистемах. Л., 1991. 312 с.
12. Нормативы качества воды водных объектов рыбохозяйственного значения, в том числе нормативов предельно допустимых концентраций вредных веществ в водах водных объектов рыбохозяйственного значения (Утв. Приказом Минсельхоза России от 13.12.2016 г. № 552).
13. РД 52.24.643-2002. Метод комплексной оценки степени загрязненности поверхностных вод по гидрохимическим показателям. СПб.: Гидрометеоиздат, 2004. 50 с.
14. *Сабылина А.В. Химический состав воды притоков Онежского озера* // Крупнейшие озера-водохранилища Севера-Запада европейской территории России: современное состояние и изменения экосистем при климатических и антропогенных воздействиях. Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2015. С. 61–68.
15. *Сабылина А.В., Лозовик П.А., Зобков М.Б.* Химический состав воды Онежского озера и его притоков // Водные ресурсы. 2010. Т. 37. № 6. С. 717–729.
16. СП. 32.13330.2018. Свод правил. Канализация. Наружные сети и сооружения. СНиП 2.04.03-85 (Утвержден и введен в действие приказом Минстроя России от 25.12.2018 № 860/пр).
17. *Шаталова О.К., Акименко Н.Ю.* Неорганизованный сброс поверхностных сточных вод в системе водоотведения города // Новые идеи нового века: материалы международной научной конференции ФАД ТОГУ. 2020. Т. 3. С. 509–514.

Chemical Composition of Surface Drainage and River Waters Coming from the Area of the Petrozavodsk City to the Onego Lake

A. V. Sabylina[1, *], T. A. Efremova[1, *], and O. I. Ikko[1, **]

[1]*Northern Water Problems Institute, Karelian Research Centre, Russian Academy of Sciences, Petrozavodsk, Russia*

**E-mail: efremova.nwpi@mail.ru*

****E-mail: vos-olga-zenia@yandex.ru*

The results of seasonal studies of chemical composition of water coming from the residential area of Petrozavodsk to the Petrozavodsk Bay of the Onego Lake are presented. From the residential area of the city, 21.1 thousand tons of mineral salts per year, 8.3 tons of organic matter per year (in terms of COD), and 657.4 tons of nutrients per year enter the Petrozavodsk Bay with storm and drainage waters. With the runoff of the rivers Lososinka and Neglinka 10.1 thousand tons of mineral salts per year, 678.2 tons of nutrients (P, N, Si, Fe) per year enter the bay. In summer, compared with spring, the decrease in the concentration of sodium and chlorine in surface wastewater is observed in 70% of the samples, the increase in the concentration of sulfates is observed in 80% of samples. In winter, compared with autumn, an increase in the concentration of sodium and chlorine in surface wastewater is observed in 40% of the samples, and the content of sulfates decreases in 85% of the samples. Considering that the Petrozavodsk Bay serves as a source of centralized drinking water supply and an object of recreational and fishing activities, it is necessary to organize systems for treating surface wastewater.

Keywords: mineralization, ionic composition, organic pollutants, nutrient pollutants, residential areas, Petrozavodsk Bay of the Onego Lake

REFERENCES

1. Analiticheskie, kineticheskie i raschetnye metody v gidrohimicheskoj praktike. Pod red. Lozovika P.A., Efremenko N.A. SPb.: Nestor-Istorija, 2017. 272 s.
2. Balaganskij A.F., Karpechko V.A., Litvinenko A.V., Salo Ju.A. Resursy rechnogo stoka i vodnyj balans // Krupnejshie ozera-vodohranilishha Severa-Zapada evropejskoj territorii Rossii: sovremennoe sostojanie i izmenenija jekosistem pri klimaticheskih i antropogennyh vozdejstvijah. Petrozavodsk: KarNC RAN, 2015. S. 31–38.
3. Gricevskaja G.L. Zabolochennost' i ozernost' juzhnoj Karelii na primere rek Suny i Shuja // Tr. Karel'sk. Fil.AN SSSR. 1964. Vyp. 6. S. 8–24.

4. Karpechko Ju.V. Gidrologicheskaja ocenka antropogennogo vozdejstvija na vodosbory v taezhnoj zone evropejskogo severa Rossii. Dissertacija na soiskanie uchenoj stepeni doktora geograficheskih nauk. Petrozavodsk, 2004. 303 s.
5. Lozovik P.A. Gidrogeohimicheskie kriterii sostojanija poverhnostnyh vod gumidnoj zony i ih ustojchivosti k antropogennomu vozdejstviju. Dissertacija na soiskanie uchenoj stepeni doktora himicheskih nauk. Petrozavodsk, 2006. 481 s.
6. Lozovik P.A. Kislotno-osnovnoe ravnovesie poverhnostnyh vod gumidnoj zony // Geohimija. 2007. № 10. S. 1139–1144.
7. Lozovik P.A., Kulik N.V., Efremenko N.A. Litofil'nye jelementy i tjazhelye metally v Onezhskom ozere: istochniki postuplenija, soderzhanie i transformacija // Trudy Karel'skogo nauchnogo centra RAN. 2020. № 4. S. 62–74.
https://doi.org/10.17076/lim1189
8. Lozovik P.A., Borodulina G.S., Karpechko Ju.V., Kondrat'ev S.A., Litvinenko A.V., Litvinova I.A. Biogennaja nagruzka na Onezhskoe ozero po dannym naturnyh nabljudenij // Trudy KarNC RAN. Serija "Limnologija". 2016. № 5. S. 35–52.
https://doi.org/10.17076/lim303
9. Lozovik P.A., Shkiperova O.F., Zobkov M.B., Platonov A.V. Geohimicheskie osobennosti poverhnostnyh vod Karelii i ih klassifikacija po himicheskim pokazateljam // Trudy KarNC RAN. 2006. № 9. S. 130–143.
10. Mezhregional'noe atmosfernoe zagrjaznenie territorij. Respublika Karelija. SPb.: NII ohrany atmosfernogo vozduha, 1998. 93 s.
11. Nikanorov A.M., Zhulidov A.V. Biomonitoring metallov v presnovodnyh jekosistemah. L., 1991. 312 s.
12. Normativy kachestva vody vodnyh ob''ektov rybohozjajstvennogo znachenija, v tom chisle normativov predel'no dopustimyh koncentracij vrednyh veshhestv v vodah vodnyh ob''ektov rybohozjajstvennogo znachenija (Utv. Prikazom Minsel'hoza Rossii ot 13.12.2016 g. № 552).
13. RD 52.24.643-2002. Metod kompleksnoj ocenki stepeni zagrjaznennosti poverhnostnyh vod po gidrohimicheskim pokazateljam. SPb..: Gidrometeoizdat, 2004. 50 s.
14. Sabylina A.V. Himicheskij sostav vody pritokov Onezhskogo ozera // Krupnejshie ozera-vodohranilishha Severa-Zapada evropejskoj territorii Rossii: sovremennoe sostojanie i izmenenija jekosistem pri klimaticheskih i antropogennyh vozdejstvijah. Petrozavodsk: KarNC RAN, 2015. S. 61–68.
15. Sabylina A.V., Lozovik P.A., Zobkov M.B. Himicheskij sostav vody Onezhskogo ozera i ego pritokov // Vodnye resursy. 2010. T. 37. № 6. S. 717–729.
16. SP. 32.13330.2018. Svod pravil. Kanalizacija. Naruzhnye seti i sooruzhenija. SNiP 2.04.03-85 (Utverzhden i vveden v dejstvie prikazom Minstroja Rossii ot 25.12.2018 № 860/pr).
17. Shatalova O.K., Akimenko N.Ju. Neorganizovannyj sbros poverhnostnyh stochnyh vod v sisteme vodootvedenija goroda // Novye idei novogo veka: materialy mezhdunarodnoj nauchnoj konferencii FAD TOGU. 2020. T. 3. S. 509–514.