

УДК 556.535.8:536.248 (470.21)

Т.А. Черепанова, В.В. Максимова, Т.Т. Горбачева

Изменение гидрохимического состава и форм миграции элементов в р. Нива после снижения техногенной нагрузки

T.A. Cherepanova, V.V. Maksimova, T.T. Gorbacheva

The change in hydrochemical composition and forms of migration of elements in the Niva River after the decrease of technogenic load

Аннотация. Проведено обобщение результатов мониторинга гидрохимического состава р. Нива до и после снижения техногенной нагрузки на ее бассейн (1984-1985 гг. и 2007 г. соответственно). Рассмотрены химический состав почвенных вод после периода снеготаяния и модификация гидрохимического состава оз. Имандра как возможные факторы, влияющие на речной сток в Белое море. Определен состав растворенных форм основных элементов в речной воде с помощью ПК "Селектор".

Abstract. Generalization of results of monitoring the hydrochemical composition of the Niva River before and after the decrease of technogenic load (1984-1985 and 2007 accordingly) has been carried out. Chemical composition of soil waters after the snowmelt period and modification of hydrochemical composition of the Imandra Lake as possible factors influencing the river drain to the White Sea have been considered. The structure of the dissolved forms of elements in the river water has been determined by the "Selector" computer program.

Ключевые слова: гидрохимический состав, формы миграции, физико-химическое моделирование, ПК "Селектор", подстилочные воды, Белое море

Key words: hydrochemical composition, migration forms, physical and chemical modeling, "Selector" computer Program, litter waters, the White Sea

1. Введение

Соотношение площадей суши водосбора моря и самого моря являются косвенным показателем влияния речного стока на окраинные моря Северного Ледовитого океана. Для водосбора Белого моря это отношение составляет 8.25 и является наибольшим показателем для этих морей (Филатов, Тержеев, 2007). При таком соотношении площадей и общей площади водосбора бассейна Белого моря в 1 100 тыс. км² особое значение приобретает исследование процессов формирования на ней потоков растворенного вещества с речным стоком и их трансформация в прибрежной зоне. Процессы смешения речных и морских вод в Белом море исследовались главным образом на примере устьевых зон таких крупных рек, как Северная Двина (Кравчишина, Лисицын, 2001), Онега (Долотов и др., 2008), Кемь (Долотов и др., 2004). Для малых рек бассейна Белого моря этот вопрос рассмотрен в большей степени относительно типа распределения элементов при смешении вод и на основе оценок валовых концентраций (Захарова, 1995; Савенко, 2003; Савенко и др., 2011), что не позволяет судить о перераспределении форм миграции элементов. Ранее основные приемы моделирования процессов взаимодействия природных и геотехногенных систем с помощью ПК "Селектор" были применены в работах (Мазухина, Сандимиров, 2002; 2003; 2005). Эти приемы во многом аналогичны приемам моделирования процессов, происходящих в зоне смешения речных и морских вод (Савченко и др., 2008; 2009). И в том, и в другом случае проводится моделирование форм нахождения элементов в двух разнородных объектах, а далее – процессов выпадения твердых фаз при смешении вод с большой разностью в минерализации.

Цель данной работы – оценка современного состояния гидрохимического состава и физико-химическое моделирование форм миграции элементов в составе речных вод на примере реки Нива для последующего прогноза трансформации процессов выпадения новообразованных фаз в зоне смешения ее вод с водами Белого моря.

2. Район, объекты и методы исследования

Река Нива является одной из самых полноводных рек Кандалакшского и Терского берегов Белого моря: ее среднегодовой приток в море 5,06 км³ при суммарном притоке речных вод со стороны Мурманской области в размере 25,77 км³ (Филатов, Тержеев, 2007). Общая площадь водосбора р. Нива составляет 12 830 км².

Для оценки вариабельности полного гидрохимического состава речных вод нами использованы данные ежемесячного мониторинга р. Нива в замыкающем створе (район ГЭС-3, Кандалакша, 6,2 км от устья), проводимого Мурманским УГКС Госкомгидромета в 1984 и 1985 гг. (Ежегодник..., 1984; 1985).

Современное состояние гидрохимического состава р. Нива оценивалось по данным за 2007 г., предоставленным ГУ "Мурманское УГМС" (*Справка...*, 2008), а также по данным гидрохимического контроля 2011 г. (*Ежегодник...*, 2012).

Для выявления факторов формирования гидрохимического состава речных вод на территории водосбора были использованы результаты ежегодного мониторинга почвенных подстилочных вод на точке опробования, ближайшей к замыкающему створу р. Нива. Координаты точки отбора 67°22,837' N 32°26,016' E. Приемниками почвенных вод являлись гравитационные лизиметры конструкции Д. Дерома (*Derome et al.*, 1991). Лизиметры установлены стационарно на мониторинговых площадках сети ИППЭС, отбор проб производится ежемесячно в течение вегетационного периода. В данной работе приведена вариабельность результатов по июньскому отбору 2007 г., характеризующему состав подстилочных вод после периода снеготаяния.

Анализ почвенных вод проводился химико-аналитической лабораторией ИППЭС КНЦ РАН. Сразу после отбора проб определялся pH вод потенциометрическим методом без предварительной фильтрации. Затем каждая проба фильтровалась через бумажный фильтр "синяя лента" (диаметр пор 1-2,5 мкм). Анализ фильтрата проводился методами атомно-эмиссионной (K, Na) и атомно-абсорбционной (Ca, Mg, Zn, Mn, Cu, Ni, Al, Fe) спектроскопии, P, Si и NH₄⁺ – методом фотоколориметрии. Определение анионного состава вод, включающего NO₃⁻, SO₄⁻ и Cl⁻, проводилось методом ионообменной хроматографии.

3. Результаты и обсуждение

Доиндустриальный гидрохимический состав малых рек Кольского полуострова. Природный уровень рек Кандалакшского побережья Белого моря до начала активного индустриального развития Мурманской области приведен в работе (*Филатов, Тержевик*, 2007). Фоновые значения pH варьировали в пределах 6,7-7,0, содержание кислорода не снижалось ниже 9,5 мг/л. Содержание органического углерода не превышало 7 мг/л, Si – 4 мг/л, аммонийного азота – 0,12 мг/л, минеральных форм фосфора – 0,004 мг/л, Ca – 4 мг/л, Mg – 1,5 мг/л, Na + K (суммарно) – 3 мг/л, Fe – 0,2 мг/л. В анионном составе абсолютно доминировали гидрокарбонаты (13-15 мг/л или 0,21-0,26 мг-экв/л), содержание сульфатов и хлоридов в нормальных концентрациях (мг-экв/л) являлись величинами одного порядка (в среднем не более 0,05 мг-экв/л).

Современный уровень техногенной нагрузки на территорию водосбора р. Нива и оценка состояния ее вод. Согласно данным, приведенным в официальных материалах Министерства природных ресурсов и экологии Мурманской области (*Доклад...*, 2007), уровень техногенной нагрузки на водосбор р. Нива остается весьма высоким. В 2007 г. суммарные выбросы загрязняющих веществ по Мурманской области составили 385,96 тыс. т, в том числе трех основных предприятий, оказывающих наибольшее влияние на водосбор р. Нива: комбината "Североникель" ОАО КГМК (г. Мончегорск) – более 42 тыс. т, ОАО "Олкон" (г. Оленегорск) – более 29 тыс. т, филиала "КАЗ-СУАЛ" ОАО "СУАЛ" (г. Кандалакша) – более 11 тыс. т. Сброс недостаточно очищенных вод в бассейн р. Нива, озеро Нюдъявр, составил 17,6 млн м³, причем производственные сточные воды составляли менее 40 %, а остальная часть приходилась на сток с поверхностными водотоками территории водосбора озера. В водоемы бассейна оз. Имандра, из которого вытекает р. Нива, АО "Апатит" было сброшено более 134 млн м³ недостаточно очищенных производственных и шахтных вод.

Влияние снижения азротехногенной нагрузки. Одними из основных предприятий, негативно влияющих на речные экосистемы Мурманской области, являются медно-никелевые комбинаты КГМК. Начиная с 1998 г. на комбинате "Североникель" был проведен ряд мероприятий по модернизации производства в плавильном цехе, что способствовало существенному снижению как газообразных, так и твердых выбросов. Однако, как показывают результаты мониторинга, на качество вод р. Нива это не оказало существенного влияния. В 2011 г. гидрохимический контроль качества воды в бассейне р. Нива проводился на р. Нюдауй, оз. Монче, реках Белая, Ковдора, Можель, Ена, Вите, Нива, Отводном канале Нива ГЭС-III; на озерах Бол. Вудъявр, Пермус, Чунозеро, Имандра (*Ежегодник...*, 2012). Наиболее характерными загрязняющими веществами бассейна р. Нива были признаны соединения меди, никеля, марганца и молибдена. Вода р. Нива в тот период оценивалась как "слабо загрязненная" 2-го класса. Следует подчеркнуть, что оценка класса загрязненности речных вод проводится по ключевым загрязнителям, для комплексной оценки это оказывается явно недостаточным. Исходя из расширенных данных, приведенных в табл. 1, очевидно, что никаких существенных изменений основного гидрохимического состава р. Нива в направлении восстановления природного фона не наблюдается. За период активного индустриального развития (1980-2007 гг.) только содержание отдельных элементов, таких как Ca, Fe, Mg, Si сохранилось на уровне природной вариабельности.

Большинство рек Кандалакшского берега характеризуются весьма низкими показателями минерализации (24 мг/л⁻¹), поскольку их бассейны сложены в основном трудно выщелачиваемыми кристаллическими архейскими образованиями (гнейсами и амфиболитами, нередко интенсивно

гранитизированными (Филатов, Терзевик, 2007). В условиях доминирования гранитов и гнейсов источником Са являются алюмосиликаты, а Mg – минералы биотит и амфибол. Коренные породы, содержащие Na (альбит, нефелин) и K (ортоклаз, мусковит, плагиоклаз, биотит) слабо поддаются выветриванию, поэтому содержание Na^+ и K^+ в реках водосбора Белого моря в доиндустриальный период в сумме не превышало 3 мг/л. По данным 2007 г. это значение существенно было превышено уже только по одному Na. Из-за роста в 3-5 раз суммы K^+Na^+ , сульфат- и хлорид-ионов в период индустриального развития общая минерализация вод р. Нива в настоящее время в 2 раза превышает природный фон.

В период активного индустриального развития содержание таких биогенных элементов, как N и P в р. Нива характеризовалось высокой сезонной вариабельностью, причем не только после снеготаяния, но и в середине летнего сезона. Как правило, в природных условиях практически для всех форм N и P (и органических, и минеральных) характерен резкий минимум в середине вегетационного периода в связи с активным биологическим поглощением этих элементов. Поступление и промышленных, и бытовых стоков в речную систему р. Нива, вероятно, способствовало нарушению равновесия между внутрисистемными процессами аммонификации и нитрификации.

Влияние территории водосбора. Известно, что все реки водосбора Белого моря имеют преимущественно снеговое питание, а отсюда можно предполагать существенное влияние на них вод, дренирующих почвы территории водосбора в период снеготаяния. Как отмечал Вернадский, "почвенные растворы бассейна реки определяют основную часть солевого состава речной воды" (Вернадский, 1960). В период снеготаяния почва территории водосбора находится в промерзшем состоянии, и ее верхний слой на протяжении почти всего периода снеготаяния водонепроницаем (Система..., 2010). Исходя из этого, можно предположить, что наиболее актуальным вопросом может являться дренаж только самого верхнего (подстильного) слоя почв территории водосбора р. Нива. Сравнительный анализ состава речных вод и подстильных вод после периода снеготаяния, проведенный нами, позволяет выделить два фактора, влияющих на гидрохимический состав исследуемой речной воды, – природный и техногенный (табл. 1).

Таблица 1. Химический состав (мг/л) р. Нива и почвенных вод на ее водосборе

Параметры	р. Нива		Почвенные подстильные воды	оз. Имандра**
	1984-1985 гг.	2007 г.	2007 г. (min-max)	1993-2003 гг. (min-max)
pH	6,94 ± 0,15	7,35	3,63-3,76	6,88-7,70
Al	н.о.*	0,05	0,42-0,67	0,014-0,15
P	0,009 ± 0,007	0,005	0,005-0,017	0,01-0,07
Ca	3,87 ± 0,37	4,6	2,66-4,81	3,43-4,14
Fe	0,03 ± 0,01	0,07	0,2	0,009-0,06
K	1,67 ± 0,17	1,25	0,21-0,25	1,64-3,10
Mg	1,42 ± 0,35	1,57	0,76-1,19	0,97-1,44
Mn	н.о.	0,002	0,05-0,15	0,006-0,04
Na	7,76 ± 0,94	4,92	0,38-0,74	13,6-30,0
SO_4^{2-}	12,68 ± 1,21	11,4	1,7-2,7	22,7-50,8
Si	1,06 ± 0,26	н.о.	0,41-0,60	0,10-1,45
Cl ⁻	5,11 ± 0,45	5,55	0,67-1,04	4,3-10,3
NO_3^-	0,04 ± 0,02	0,14	0,1	0,001-0,16 (по N)
NH_4^+	0,18 ± 0,08	0,02	4,48	0,002-0,08 (по N)
Zn	0,009 ± 0,002	0,004	0,019-0,023	0,001-0,015
Cu	0,004 ± 0,001	0,005	0,008-0,014	0,004-0,01
Ni	0,007 ± 0,002	н.о.	0,004-0,02	0,007-0,027

Примечание. * н.о. – не определялось; ** – данные из работы (Моисеенко, Шаров, 2011).

Близость концентраций Ca, Mg, Si, P, NO_3^- в исследуемых объектах (река и почва) указывает на доминирование природного фактора в их происхождении. В свою очередь, значительно более низкие концентрации в подстильных водах территории водосбора по Na, SO_4^{2-} , Cl⁻ позволяют сделать предположение о доминировании техногенного фактора в их происхождении в речных водах, а также преобладающего влияния техногенных стоков, а не атмосферного переноса. А вот сопоставимость концентраций Cu и Ni в почвенных растворах и речной воде указывает на влияние дальнего переноса этих основных загрязнителей. Так, в работе Виноградовой и др. (2008) проведен расчет траекторий движения воздушных масс к акватории Белого моря по данным реанализа метеорологических полей NOAA. По мнению авторов работы, атмосферный поток Cu и Ni на акваторию Белого моря преобладает над речным стоком.

Река Нива вытекает из оз. Имандра, поэтому мы посчитали целесообразным дополнить исследования сопоставлением гидрохимического состава речных и озерных вод. Детальное исследование изменения гидрохимического состава оз. Имандра в период и после снижения антропогенного загрязнения приведено в работе (Moiseenko et al., 2009). Вариабельность концентраций основного состава и элементов-загрязнителей оз. Имандра приведена в табл. и относится к периоду после существенного снижения техногенной нагрузки (1998-2003 гг.). Как можно заметить, по многим параметрам (рН, Al, Ca, Fe, Mg, Si) отмечаются сопоставимые значения концентраций в речной и озерной воде. Значительно более высокие концентрации в оз. Имандра характерны для Na и сульфат- и хлорид-ионов. Согласно расчетам техногенного геохимического давления на внутриматериковые моря (Максимова, 1986) в бассейне Белого моря практически все сульфаты антропогенного генезиса достигают моря, не подвергаясь иммобилизации на территории водосборного бассейна. Однако если сопоставить концентрации сульфат-ионов в оз. Имандра и р. Нива (табл. 1), то с этим утверждением нельзя согласиться, особенно если принимать во внимание тот факт, что существенная часть сульфат-ионов в речной воде может иметь морское происхождение. По нашему мнению, вопрос иммобилизации сульфатов в озерной воде до истока р. Нива является весьма интересным и требует дальнейших исследований.

Динамика катионного и анионного состава вод р. Нива. В данной работе применена классификация природных вод по О.А. Алекину (1953), согласно которой все природные воды делятся по преобладающему аниону (в эквивалентных отношениях) на три класса: гидрокарбонатных и карбонатных, сульфатных и хлоридных вод. Каждый класс по преобладающему катиону подразделяется на три группы: кальциевую, магниевую и натриевую. Воды незагрязненных малых рек водосбора Белого моря относятся преимущественно к гидрокарбонатному классу, группе кальция, иногда – магния (Филатов, Тержевик, 2007). Для оценки сезонной динамики гидрохимического состава р. Нива концентрации каждого иона были нами переведены в нормальные концентрации (мкг-экв/л), расчетные данные приведены в табл. 2. Как можно заметить, в катионном составе произошел абсолютный переход вод р. Нива в натриевую группу, и эта тенденция сохраняется по настоящее время. Сохраняется также тенденция перехода вод р. Нива в сульфатный класс, особенно в позднеосенний период.

Таблица 2. Сезонная динамика гидрохимического состава р. Нива

Месяц отбора	Концентрация иона, мкг-экв л ⁻¹								
	NH ₄ ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻
Март	13	130	74	335	33	310	200	260	2
Май	1	210	99	291	31	262	99	331	0
Июль	4	180	82	270	49	270	189	189	0
Октябрь	1	180	90	270	23	261	169	148	1
Ноябрь	4	250	337	265	33	170	141	337	1
Март	1	200	66	443	61	329	99	229	1
Май	1	299	66	604	54	280	161	242	1
Июль	1	150	99	196	43	261	130	254	4
Октябрь	1	140	140	361	56	270	110	385	11
2007	1	230	129	214	32	207	157	237	2

Формы миграции элементов с речным стоком. Аналитическое определение общего содержания элементов в водах, проводимое в целях оценки влияния на них индустриальных центров, признается в настоящее время недостаточным и зачастую необъективным. Причиной является то обстоятельство, что миграционная способность элементов определяется не столько общим (валовым) содержанием, сколько соотношением существующих форм их нахождения в исследуемой среде (Florence, 1982; Линник, Набиванец, 1986).

При моделировании форм нахождения элементов в составе речных вод и их перераспределения после снижения техногенной нагрузки нами фиксировалось (задавалось) содержание элементов катионной части раствора (Na, K, Ca, Mg, Fe) и элементов анионной части (P, Cl, N, S, Si), концентрации которых соответствовали аналитическим. Система моделировалась как открытая по отношению к атмосфере, в соответствии с природой хорошо аэрированных речных вод р. Нивы. Такой подход успешно опробован в рамках системы Al-B-Br-Ar-He-Ne-C-Ca-Cl-F-K-Mg-Mn-N-Na-P-S-Si-Sr-Cu-Zn-H-O-e, где e – электрон, в работах (Мазухина и др., 2009; Мазухина, 2012; Горбачева, Мазухина, 2014) и позволяет определить основные тенденции вероятного изменения состава раствора. В исходный список базовой мультисистемы были включены индивидуальные вещества: в водном растворе – 295, в газовой фазе – 76, органических соединений – 111. Состав расчетного раствора был сопоставлен с аналитическими данными при 25 °С. В связи с тем, что моделирование речных вод проводилось в отношении региона с суровыми климатическими условиями, значение температуры принималось равным +4 °С. Такая температура близка к предельному значению температуры проявления биологической активности

на исследуемой территории и отмечена в период отбора проб после снеготаяния в 1984 г. Именно поэтому для сопоставимости данных моделирование ионного состава воды, отобранной в 2007 г., проводилось при этой же температуре. Результаты моделирования по наиболее значимым элементам приведены в табл. 3.

Таблица 3. Долевое распределение элементов (%) в воде р. Нива по основным химическим формам

Форма нахождения элемента в водах	1984 г.	2007 г.
Fe²⁺	*	*
FeSO ₄ ⁰	*	*
Fe(OH) ₃ ⁰	2.9	4.4
FeSO ₄ ⁺	*	*
Fe(OH) ₄ ⁻	0.04	0.15
Fe ³⁺	*	*
FeOH ²⁺	0.08	0.02
FeOH ⁺	*	*
FeO ⁺	62.2	41.5
HFeO ₂ ⁰	34.8	53.8
FeO ₂ ⁻	0.02	0.07
FeCl ⁺	*	*
FeCl ²⁺	*	*
Ca²⁺	98.1	98.5
CaOH ⁺	*	*
CaCO ₃ ⁰	0.01	0.01
Ca(HCO ₃) ⁺	0.2	0.2
CaHSiO ₃ ⁺	*	*
CaCl ⁺	*	*
CaCl ₂ ⁰	*	*
CaSO ₄ ⁰	1.7	1.2
Cu²⁺	97.9	94.9
CuOH ⁺	2.2	5.0
CuCl ⁺	0.02	0.04

Примечание. * – концентрация составляет меньше $1 \cdot 10^{-4}$ мг/л.

Форма миграции элемента во многом связана с процессами комплексообразования с органическими и неорганическими лигандами, причем процесс комплексообразования существенно усиливается в присутствии в водах органического вещества. Однако суммарная концентрация комплексообразующих лигандов в природных водах, как правило, ниже суммарной концентрации элементов, способных образовывать комплексы. На основе расчетных данных относительно разности сумм катионной и анионной части природных вод, выраженной в нормальных концентрациях, а ее относят к сумме анионов органических кислот, можно утверждать, что роль органического вещества в перераспределении форм миграции в водах р. Нива незначительна (табл. 2). Исходя из этого, качественный состав форм миграции большинства элементов весьма беден и определяется однороднолигандными соединениями (табл. 3).

Доминирующей формой миграции и щелочных (K, Na) и щелочноземельных металлов (Ca, Mg) в р. Нива является свободная ионная форма (Na⁺, K⁺, Ca²⁺, Mg²⁺). Поскольку соли щелочноземельных элементов не склонны к гидролизу, то среди возможных форм их миграции содержание гидроксидных комплексов минимально. Анионы минеральных кислот (гидрокарбонаты, сульфаты, хлориды) обладают слабой комплексообразующей способностью, поэтому очень незначительная доля щелочноземельных металлов (Ca, Mg) в водах р. Нива находится в виде ионных пар или ассоциатов с указанными анионами (не более 2 %) (табл. 3). После снижения техногенной нагрузки доля вклада их сульфатных комплексов в общее распределение снизилась, а доля свободных ионов – повысилась.

Особое внимание стоит уделить формам миграции Fe, поскольку этот элемент играет одну из ключевых ролей в геохимических циклах многих элементов. Для Fe отмечено самое большое разнообразие форм нахождения в исследуемой нами речной воде (ионных и молекулярных), но доминирующими формами являлись FeO⁺ и HFeO₂⁰. После снижения техногенной нагрузки отмечается перераспределение содержания Fe между двумя основными формами, что, вероятно, связано с изменением pH в сторону подщелачивания (табл. 1). Гидроксидная форма Fe (Fe(OH)₃) практически нерастворима в воде, но легко образует коллоидные растворы, а значит, обладает высокой адсорбционной способностью по отношению к загрязнителям. Увеличение ее доли в речной воде с 2.86 до 4.42 %, а также доли гидроксидной формы железа HFeO₂ с 35 до 54 % после снижения техногенной

нагрузки (табл. 3) может способствовать повышению масштабов накопления загрязняющих веществ в приустьевых зонах Кандалакшского залива.

Учитывая наличие слаборастворимых молекулярных форм $\text{Fe}(\text{OH})_3$ и CaSO_4^0 среди возможных форм миграции, сделано предположение о начальном формировании центров осадкообразования еще в речных водах, что является важным моментом для дальнейшего моделирования процессов смешения речных и морских вод.

4. Заключение

В данной работе проведено определение тенденции изменения гидрохимического состава р. Нива, впадающей в Кандалакшский залив Белого моря. Формирование вод р. Нива идет под влиянием совокупности природных и техногенных факторов, среди которых выделены дренаж подстильного горизонта почв территории водосбора и трансформация состава вод оз. Имандра. Показано, что уровень загрязнения р. Нива по настоящее время остается весьма высоким, а снижение техногенной нагрузки слабо повлияло на качество ее вод. Повышение доли миграционно-активных форм Fe после снижения техногенной нагрузки может являться причиной вторичного загрязнения устьевых зон р. Нива и повышения нагрузки на морские экосистемы.

Литература

- Derome J., Niska K., Lindroos A.-J., Välikangas P.** Ion-balance monitoring plots and bulk deposition in Lapland during July 1989 – June 1990. The Finnish Forest Research Institute, Research Papers. 1991. V. 373. P. 49-76.
- Florence T.M.** The speciation of trace elements in waters. *Talanta*. 1982. V. 5. P. 345-364.
- Moiseenko T.I., Sharov A.N., Vandysh O.I. et al.** Long-term modification of Arctic lake ecosystems: Reference condition, degradation under toxic impacts and recovery (case study Imandra Lakes, Russia). *Limnologica*. 2009. V. 39. P. 1-13.
- Алекин О.А.** Основы гидрохимии. Л., Гидрометеиздат, 1953. 296 с.
- Вернадский В.И.** Избранные сочинения. Т. 5. М., Изд-во АН СССР, 1960. 422 с.
- Виноградова А.А., Максименков Л.О., Погарский Ф.А.** Атмосферный перенос антропогенных тяжелых металлов с территории Кольского полуострова на поверхность Белого и Баренцева морей. *Известия Российской академии наук. Физика атмосферы и океана*. 2008. Т. 44, № 6. С. 812-821.
- Горбачева Т.Т., Мазухина С.И.** Физико-химическое моделирование состава органического вещества атмосферных выпадений на островной части Белого моря. *Метеорология и гидрология*. 2014. № 2. С. 69-77.
- Доклад по охране окружающей среды и рациональному использованию природных ресурсов Мурманской области в 2007 году. 2008. URL: http://mpr.gov-murman.ru/upload/iblock/678/2007_.pdf
- Долотов Ю.С., Филатов Н.Н., Шевченко В.П. и др.** 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., Шевченко В.П. и др.** Комплексные исследования в Онежском заливе Белого моря и эстуарии реки Онега в летний период. *Океанология*. 2008. Т. 48, № 2. С. 276-289.
- Ежегодник "Качество поверхностных вод Российской Федерации". Гидрохимический институт, 1984, 1985, 2012 гг. URL: <http://www.meteor.ru/product/infomaterials/ezhegodniki/>.
- Захарова Е.А.** Основные закономерности глобального стока фосфора. Дис. ... канд. геогр. наук. М., МГУ, 1995. 203 с.
- Кравчишина М.Д., Лисицын А.П.** Гранулометрический состав взвешенных веществ в маргинальном фильтре реки Северной Двины. *Океанология*. 2011. Т. 51. № 1. С. 94-109.
- Линник П.Н., Набиванец Б.И.** Формы миграции металлов в пресных поверхностных водах. Л., Гидрометеиздат, 1986. 271 с.
- Мазухина С.И.** Формирование поверхностных и подземных вод Хибинского горного массива. Апатиты, КНЦ РАН, 2012. 173 с.
- Мазухина С.И., Маслобоев В.А., Чудненко К.В. и др.** Исследование состояния оз. Большой Вудъявр после экологической катастрофы 1930-х годов методами физико-химического моделирования. *Химия в интересах устойчивого развития*. 2009. № 17. С. 51-59.
- Мазухина С.И., Сандимиров С.С.** Влияние техногенных стоков на физико-химические характеристики пресноводного водоема. *Вестник МГТУ*. 2002. Т. 5, № 2. С. 253-260.
- Мазухина С.И., Сандимиров С.С.** Моделирование влияния техногенных стоков на озеро Имандра (Кольский полуостров). *Метеорология и гидрология*. 2003. № 1. С. 83-91.
- Мазухина С.И., Сандимиров С.С.** Применение физико-химического моделирования для решения экологических задач Кольского Севера. Апатиты, КНЦ РАН, 2005. 106 с.

- Максимова М.П.** Воздействие техногенного геохимического давления на внутриматериковые моря. Водные ресурсы. 1986. № 5. С. 159-154.
- Савенко А.В.** Геохимия стронция, фтора и бора в зоне смешения речных и морских вод. М., ГЕОС, 2003. 170 с.
- Савенко А.В., Покровский О.С., Кожин М.Н.** Трансформация стока растворенных веществ в устьевых областях малых водотоков Южного побережья Кольского полуострова. Океанология. 2011. Т. 51. № 5. С. 837-848.
- Савченко А.В., Грамм-Осипов Л.М., Марьяш А.А.** Физико-химическое моделирование поведения микроэлементов при смешении кислой речной воды (река Юрьева) с морской водой. Океанология. 2008. Т. 48, № 4. С. 520-526.
- Савченко А.В., Грамм-Осипов Л.М., Марьяш А.А.** Физико-химическое моделирование поведения микроэлементов (As, V, Cr, Co, Hg) при смешении речной и морской вод (система река Раздольная – Амурский залив). Океанология. 2009. Т. 49, № 1. С. 45-52.
- Система Белого моря. Отв. ред. А.П. Лисицын. М., Научный Мир, т. 1, 2010. 478 с.
- Справка о качестве поверхностных вод суши и морских вод на территории деятельности ГУ "Мурманское УГМС" за 2007 год (Мурманская область, Кандалакшский район). Под ред. М.Н. Зуевой. Мурманск, Центр мониторинга окружающей среды, 2008. 19 с.
- Филатов Н.Н., Тержевик А.Ю.** Белое море и его водосбор под влиянием климатических и антропогенных факторов. Петрозаводск, Карельский научный центр РАН, 2007. 349 с.

References

- Alekin O.A.** Osnovy gidrohimii [Fundamentals of hydrochemistry]. L., Gidrometeoizdat, 1953. 296 p.
- Vernadskiy V.I.** Izbrannyye sochineniya [Selected works]. T 5. M., Izd-vo AN SSSR, 1960. 422 p.
- Vinogradova A.A., Maksimenkov L.O., Pogarskiy F.A.** Atmosfernyy perenos antropogennykh tyazhelykh metallov s territorii Kolskogo poluostrova na poverhnost Belogo i Barentseva morey [Atmospheric transport of anthropogenic heavy metals from the Kola Peninsula to the surfaces of the White and Barents Seas]. Izvestiya Rossiyskoy akademii nauk. Fizika atmosfery i okeana. 2008. T. 44, N 6. P. 812-821.
- Gorbacheva T.T., Mazuhina S.I.** Fiziko-himicheskoe modelirovanie sostava organicheskogo veshchestva atmosferynykh vyipadeniy na ostrovnnoy chasti Belogo moray [Physicochemical modeling of composition of the organic matter in precipitation over the White Sea islands]. Meteorologiya i gidrologiya. 2014. N 2. P. 69-77.
- Doklad po ohrane okruzhayushey sredy i ratsionalnomu ispolzovaniyu prirodnykh resursov Murmanskoj oblasti v 2007 godu [The Report on environmental protection and rational use of natural resources of the Murmansk region in 2007]. 2008. URL: http://mpr.gov-murman.ru/upload/iblock/678/2007_.pdf
- Dolotov Yu.S., Filatov N.N., Shevchenko V.P. i dr.** O haraktere prirodnykh protsessov v fazyi priliva i otliva v estuariyah Karelskogo poberezhya Belogo moray [On character of natural processes in flood- and ebb-tides in estuaries of Karelian coast, White Sea]. Okeanologiya. 2004. T. 44, N 5. P. 784-792.
- Dolotov Yu.S., Filatov N.N., Shevchenko V.P. i dr.** Kompleksnyye issledovaniya v Onezhskom zalive Belogo morya i estuarii reki Onega v letniy period [Multidisciplinary studies in Onega Bay of the White Sea and estuary of the river Onega during the summer period]. Okeanologiya. 2008. T. 48, N 2. P. 276-289.
- Ezhegodnik "Kachestvo poverhnostnykh vod Rossiyskoy Federatsii" [Annual "Quality of a surface water of the Russian Federation"]. Gidrohimicheskii institut, 1984, 1985, 2012 gg. URL: <http://www.meteorf.ru/product/infomaterials/ezhegodniki/>.
- Zaharova E.A.** Osnovnyye zakonomernosti globalnogo stoka fosfora [General regularities of a global runoff of phosphorus]. Dis. ... kand. geogr. nauk. M., MGU, 1995. 203 p.
- Kravchishina M.D., Lisitsyn A.P.** Granulometricheskii sostav vzveshennykh veshchestv v marginalnom filtrе reki Severnoy Dvinyi [Grain size of suspended particulate matter in the Northern Dvina River marginal filter]. Okeanologiya. 2011. T. 51. N 1. P. 94-109.
- Linnik P.N., Nabivanets B.I.** Formy migratsii metallov v presnykh poverhnostnykh vodah [Forms of metals migration in fresh surface waters]. L., Gidrometeoizdat, 1986. 271 p.
- Mazuhina S.I.** Formirovanie poverhnostnykh i podzemnykh vod Hibinskogo gornogo massiva [Formation of surface and underground waters of the Khibiny mountain massif]. Apatity, KNTs RAN, 2012. 173 p.
- Mazuhina S.I., Masloboev V.A., Chudnenko K.V. i dr.** Issledovanie sostoyaniya oz. Bolshoy Vud'yavr posle ekologicheskoy katastrofy 1930-h godov metodami fiziko-himicheskogo modelirovaniya [Research of Bol'shoy Vud'yavr lake state after environmental accident of the 1930th years by methods of physical-chemical modeling]. Himiya v interesah ustoychivogo razvitiya. 2009. N 17. P. 51-59.
- Mazuhina S.I., Sandimirov S.S.** Vliyanie tehnogennykh stokov na fiziko-himicheskie harakteristiki presnovodnogo vodoema [Influence of technogenic runoff on physical and chemical characteristics of a fresh water reservoir]. Vestnik MGTU. 2002. T. 5, N 2. P. 253-260.

- Mazuhina S.I., Sandimirov S.S.** Modelirovanie vliyaniya tehnogennykh stokov na ozero Imandra (Kolskiy poluostrov) [Modeling of technogenic runoff influence on the Imandra Lake (Kola Peninsula)]. Meteorologiya i gidrologiya. 2003. N 1. P. 83-91.
- Mazuhina S.I., Sandimirov S.S.** Primenenie fiziko-himicheskogo modelirovaniya dlya resheniya ekologicheskikh zadach Kolskogo Severa [Application of physical-chemical modeling for the resolving of ecological problems of the Kola North]. Apatityi, KNTs RAN, 2005. 106 p.
- Maksimova M.P.** Vozdeystvie tehnogennogo geohimicheskogo davleniya na vnutrimaterikovye moray [Influence of technogenic geochemical pressure upon the inland seas]. Vodnyie resursy. 1986. N 5. P. 159-154.
- Savenko A.V.** Geohimiya strontsiya, flora i bora v zone smesheniya rechnykh i morskikh vod [Geochemistry of strontium, fluorine, and boron in the river-sea water mixing zone]. M., GEOS, 2003. 170 p.
- Savenko A.V., Pokrovskiy O.S., Kozhin M.N.** Transformatsiya stoka rastvorenykh veshchestv v ustevykh oblastyakh malyykh vodotokov Yuzhnogo poberezhya Kolskogo poluostrova [Transformation of dissolved components runoff in the mouth areas of small watersheds of southern coast of the Kola Peninsula]. Okeanologiya. 2011. T. 51. N 5. P. 837-848.
- Savchenko A.V., Gramm-Osipov L.M., Maryash A.A.** Fiziko-himicheskoe modelirovanie povedeniya mikroelementov pri smeshenii kisloy rechnoy vody (reka Yureva) s morskoy vodoy [Physico-chemical modeling of behaviour of microelements at mixing acid river water (Yuriev River) with sea water]. Okeanologiya. 2008. T. 48, N 4. P. 520-526.
- Savchenko A.V., Gramm-Osipov L.M., Maryash A.A.** Fiziko-himicheskoe modelirovanie povedeniya mikroelementov (As, V, Cr, Co, Hg) pri smeshenii rechnoy i morskoy vod (sistema reka Razdolnaya – Amurskiy zaliv) [Physico-chemical modeling of behavior of microelements (As, V, Cr, Co, Hg) during mixing of river and sea waters (the Razdolnaya River–Amur Bay System)]. Okeanologiya. 2009. T. 49, N 1. P. 45-52.
- Sistema Belogo moray [White Sea system]. Otv. red. A.P. Lisitsyn. M., Nauchnyy Mir, t. 1, 2010. 478 p.
- Spravka o kachestve poverhnostnykh vod sushi i morskikh vod na territorii deyatelnosti GU "Murmanskoe UGMS" za 2007 god (Murmanskaya oblast, Kandalakshskiy rayon) [The reference of quality of a surface water of land and sea waters in the territory of GU "Murmansk UGMS" activity for 2007 (Murmansk region, the Kandalaksha region)]. Pod red. M.N. Zuevoy. Murmansk, Tsentr monitoringa okruzhayushey sredy, 2008. 19 p.
- Filatov N.N., Terzhevik A.Yu.** Beloe more i ego vodosbor pod vliyaniem klimaticheskikh i antropogennykh faktorov [The White Sea and its watershed under influence of climate and antropogenic impacts]. Petrozavodsk, Karelskiy nauchnyy tsentr RAN, 2007. 349 p.

Информация об авторах

Черпанова Татьяна Алексеевна – Институт проблем промышленной экологии Севера КНЦ РАН, и.о. мл. науч. сотрудника, e-mail: mamahoma@mail.ru

Cherepanova T.A. – Institute of North Industrial Ecology Problems KSC RAS, Acting Junior Researcher, e-mail: mamahoma@mail.ru

Максимова Виктория Вячеславовна – Институт проблем промышленной экологии Севера КНЦ РАН, и.о. мл. науч. сотрудника, e-mail: maximova@inep.ksc.ru

Maksimova V.V. – Institute of North Industrial Ecology Problems KSC RAS, Acting Junior Researcher, e-mail: maximova@inep.ksc.ru

Горбачева Тамара Тимофеевна – Институт проблем промышленной экологии Севера КНЦ РАН, канд. биол. наук, вед. науч. сотрудник

Gorbacheva T.T. – Institute of North Industrial Ecology Problems KSC RAS, Cand. of Biol. Sci., Senior Researcher, e-mail: gorbacheva@inep.ksc.ru