

УДК 504.064

ГИДРОХИМИЧЕСКИЕ АНОМАЛИИ В РЕКАХ МУРМАНСКОЙ ОБЛАСТИ¹

© 2024 г. О. С. Решетняк^{a, b, *}

^aИнститут наук о Земле Южного федерального университета,
Ростов-на-Дону, 344090 Россия

^bГидрохимический институт, Ростов-на-Дону, 344090 Россия

*e-mail: olgare1@mail.ru

Поступила в редакцию 20.07.2023 г.

После доработки 07.11.2023 г.

Принята к публикации 25.11.2023 г.

Представлены данные о наличии гидрохимических аномалий в воде рек Мурманской области, выделены контрастные гидрохимические аномалии и составлены геохимические ряды. Меньше всего аномальных величин зафиксировано по содержанию в речных водах магния, кальция и органических веществ, больше всего — по соединениям металлов. Большинство выявленных гидрохимических аномалий положительные и слабоконтрастные. Контрастные аномалии чаще всего встречаются по соединениям марганца. Большинство выявленных аномалий по содержанию соединений марганца в речных водах имеет смещенный генезис (в бассейне р. Печенги). Гидрохимические аномалии в воде экологически благополучных участков рек Лотты и Уры имеют природный генезис и обусловлены геохимическими особенностями водосборов.

Ключевые слова: гидрохимические аномалии, контрастность аномалии, речные воды, арктическая зона, реки Мурманской области.

DOI: 10.31857/S0321059624030071 EDN: AUMTXX

ВВЕДЕНИЕ

Исследования экосистем арктической зоны России входит в число приоритетных государственных задач, выполнение которых призвано обеспечить устойчивое развитие и экологическую безопасность в регионе.

Природные воды — связующий компонент биосферы, в процессе своего круговорота взаимодействующий с горными и осадочными породами, почвами, атмосферой и растительностью. Химический состав природных вод отражает естественные природно-климатические условия территории, в границах которой они формируются. На химический состав природных вод существенно влияет хозяйственная деятельность человека на водосборе, что влечет за собой формирование аномально высоких концентраций

химических веществ (гидрохимических аномалий) [11]. Выявление гидрохимических аномалий предполагает знание фоновое содержание химических веществ в речных водах на исследуемых территориях, которое определяется с помощью статистического анализа многолетних рядов данных.

В данном исследовании под гидрохимической аномалией понимается участок распространения природных вод (участок реки) с содержанием в воде какого-либо компонента или минерализацией воды, аномальными по отношению к их “фоновым” значениям. При этом за гидрохимический фон принимается среднее или модальное содержание химического вещества в пределах геохимически однородной системы речного бассейна.

Гидрохимические аномалии в речных водах по своему генезису могут быть естественными, образование которых вызвано действием природных процессов, и антропогенными (техногенными), связанными с деятельностью человека. Порог

¹ Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ (научный проект 18-05-60165 в части оценки гидрохимического фона) и в рамках Госзадания Плана НИТР Росгидромета 2020–2024 гг. (тема 4.2 в части выявления и характеристики гидрохимических аномалий).

аномальности концентраций определяли как величины, отличающиеся от среднего содержания вещества для данной природной зоны на 2 стандартных отклонения (слабая аномалия) и 3 стандартных отклонения (уверенная аномалия) [5].

Формирование гидрохимических аномалий в речных водах тесно связано с наличием гидрогеохимических аномалий в подземных водах. Техногенные потоки на водосборах рек в районах активной добычи полезных ископаемых — основные факторы формирования техногенных гидрохимических аномалий в поверхностных водах [13]. Для рек северных районов может наблюдаться “формирование весенних и осенних гидрогеохимических аномалий...” по содержанию металлов, что связывают с периодами максимального протаивания сезонно-талого слоя и влиянием техногенных источников. Например, в бассейне р. Яны “под влиянием поверхностного и подземного стока с территории техногенной зоны (пос. Батагай, хвостохранилище и отвалы месторождения Эге-Хайя)” происходит формирование гидрогеохимических аномалий цинка [6]. Активные процессы урбанизации и развитие сельского хозяйства могут стать причиной дополнительного поступления биогенных веществ в поверхностные воды и формирования устойчивых техногенных аномалий по главным ионам и биогенным элементам [14]. Таким образом, изучение гидрохимических аномалий может быть использовано для выявления источников загрязнения и оценки последствий климатических изменений в речном бассейне.

Ранее показано [1], что “выявленных гидрохимических аномалий в арктических речных водах сравнительно немного и контрастность их невелика..., по степени концентрирования химического вещества практически все выявленные гидрохимические аномалии относятся к геохимическим полям слабого концентрирования (коэффициент контрастности до 10)”, за исключением аномалий в реках Кольского п-ова.

Преобладание в границах арктической зоны гидрохимических аномалий именно на территории Кольского п-ова определяется геологическими особенностями (“пестротой минерально-геохимической специализации Балтийского

кристаллического щита” [1]) и наличием ярко выраженной гидрохимической азональности в регионе. Это обусловило формирование положительных гидрохимических аномалий по содержанию в воде соединений железа, цинка, марганца и сульфатов. Поэтому дальнейшее изучение гидрохимических аномалий проведено более детально для отдельных рек Мурманской области.

МАТЕРИАЛЫ, ОБЪЕКТЫ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследование выполнено на основе многолетних (1990–2021 гг.) гидрохимических данных о содержании химических веществ в воде рек Мурманской области. Проявления аномальности в химическом составе речных вод изучались для главных ионов (Ca^{2+} , Mg^{2+} , HCO_3^- , SO_4^{2-} и Cl^-), соединений тяжелых металлов (Fe, Cu, Zn, Ni, Mn), биогенных и органических веществ (ОВ). Вариационные ряды данных в среднем составляли 97–437 значений по каждому показателю. Данные получены в рамках регулярных наблюдений на водных объектах Мурманской области сотрудниками Мурманского УГМС Росгидромета. Отбор проб воды, химический анализ воды и контроль качества гидрохимической информации проводится согласно нормативным документам в области мониторинга состояния окружающей среды. Отбор проб проводился в основные гидрологические фазы, в среднем 6–7 раз в год для учета сезонной изменчивости химического состава речных вод.

Перечень объектов исследования (речных участков) и их основные характеристики представлены в табл. 1, расположение пунктов наблюдений приведено на картосхеме (рис. 1). На территории Мурманской области хорошо выражена широтная ландшафтная зональность: выделяются тундровая и лесная зоны. Основные типы почв — подзолистые и болотные. На побережье Баренцева моря развиты тундровые почвы (20% территории) с оторфованным органомным горизонтом и пропитанным гумусом недифференцированным минеральным профилем. В условиях избыточной увлажненности формируются пресные речные воды, обогащенные органическим веществом и соединениями тяжелых металлов [7, 8].

Таблица 1. Характеристики отдельных участков рек Мурманской области

№ п/п	Река – пункт наблюдений	Площадь водосбора, км ² [2]	Среднегодовой расход воды, м ³ /с [9]
1	Вирма – с. Ловозеро	167.0	1.17
2	Кола – выше устья (г. Кола)	3850.0	41.2
3	Колос-йоки – пгт Никель (выше устья)	140.0	2.88
4	Лотта – устье (5 км от устья)	7950	85.1
5	Нама-йоки – пос. Луостари	142.0	1.82
6	Печенга – ст. Печенга	1680.0	23.3
7	Поной – с. Краснощелье	3810.0	39.9
8	Териберка – 60-й км Серебрянской автодороги	933.0	31.7
9	Ура – с. Ура-Губа	1020.0	14.0
10	Хауки-лампи-йоки – г. Заполярный	51.5	0.90



Рис. 1. Расположение объектов исследования – участков рек Мурманской области и пунктов наблюдений на реках (нумерация пунктов соответствует номерам табл. 1) (составлено автором на основе [4]).

Химический состав воды исследуемых рек подвержен значительной изменчивости в зависимости от условий формирования местного стока (поверхностно-склоновый тип, почвен-

но-грунтовые воды, или воды грунтового происхождения), гидрометеорологических условий или сезона года. В целом, в условиях избыточного увлажнения реки Мурманской области характе-

ризуются очень низкой минерализацией воды (до 200 мг/дм³). По химическому составу относятся к гидрокарбонатному или хлоридному классу с преобладанием в катионном составе ионов кальция и натрия соответственно, в определенных условиях формируется смешанный тип вод [9].

Методика исследования

Оценка фонового содержания химических веществ в воде рек Мурманской области выполнена ранее, и результаты представлены в работе [1]. Автором проведена статистическая обработка многолетних рядов гидрохимических данных. Для всех исследуемых участков рек по всем гидрохимическим показателям были рассчитаны медианные значения концентраций за каждый год, найдено среднее арифметическое значение медианных концентраций и стандартное отклонение, характеризующее природное содержание веществ в речных водах. Далее выполнены проверка на однородность полученных выборок (с использованием стандартных статистических приемов в пакете прикладных программ Statistica 13.0) и проверка на наличие временного тренда (на основе расчетов коэффициента ранговой корреляции Кенделла) для подтверждения фонового содержания химических веществ (для оценки гидрохимического фона).

Выявление аномальных концентраций химических веществ в воде исследуемых рек (выявление

гидрохимических аномалий). Для этого использован общий геохимический критерий аномальности — величина стандартного отклонения от геохимического фона территории.

С учетом небольших объемов выборок и неоднородности распределения фонового содержания химических веществ в пределах арктической зоны в целом за аномальные принимались концентрации, превышающие три стандартных отклонения от гидрохимического фона для исследуемой территории [1].

Характеристика гидрохимических аномалий в речных водах Мурманской области и построение геохимических рядов аномальности. Для описания выявленных аномальных значений использовалось понятие критерия контрастности гидрохимической аномалии (или коэффициент концентрирования элемента (вещества и т. п.), т. е. отношение концентрации вещества в воде к его фоновому содержанию): если $K_c < 10$ — это слабоконтрастная гидрохимическая аномалия, если $K_c \geq 10$ — контрастная аномалия. Фоновые концентрации химических веществ, т. е. гидрохимический фон $C_{\text{гхфон}}$, и его изменчивость ($\pm \sigma$, стандартное отклонение) в речных водах Мурманской области приведены в табл. 2. При этом расчеты выполнены с учетом анализа вариационных рядов концентраций на наличие трендов для исключения резко возрастающих тенденций антропогенного генезиса. Как показано ранее,

Таблица 2. Значения фонового содержания химических веществ в речных водах Мурманской области (составлено автором по [2]; ХПК — химическое потребление кислорода)

Гидрохимические показатели	Гидрохимический фон $C_{\text{гхфон}} \pm \sigma$, мг/дм ³	Однородность C_r , %
Mg ²⁺	3.43 ± 4.88	142
Ca ²⁺	8.12 ± 11.33	140
Cl ⁻	6.48 ± 1.54	24
SO ₄ ²⁻	4.98 ± 4.05	81
HCO ₃ ⁻	17.70 ± 5.29	30
ОВ (по ХПК)	14.40 ± 2.80	19
N-NH ₄ ⁺	0.03 ± 0.02	59
Соединения Fe	0.15 ± 0.03	18
Соединения Cu*	4.96 ± 3.83	77
Соединения Zn*	5.24 ± 0.72	14
Соединения Mn*	5.99 ± 0.63	10

*мкг/дм³.

статистически значимые тренды встречаются на арктических участках рек достаточно часто [12], однонаправленные процессы охватывают большие территории, что говорит об эволюции химического состава природных вод под действием глобальных процессов, в том числе изменения климата, однако отделить их от влияния антропогенной деятельности затруднительно.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В ранее выполненных исследованиях при оценке аномальности содержания химических веществ в речных водах различных регионов проводилось сравнение среднесезонных концентраций или средних концентраций для однородной территории (природно-территориального комплекса внутри бассейна реки) с фоновыми значениями. Именно поэтому количество выявленных гидрохимических аномалий в арктических речных водах выявлено сравнительно немного и контрастность их невелика [1, 11].

В данном исследовании выполнено сравнение с фоновыми характеристиками всех измеренных за многолетний период концентраций химических веществ в воде отдельных рек Мурманской области, оценены доля концентраций $> (C_{\text{фон}} + 3\sigma)$ и диапазон их контрастности (диапазон значений Кс). Далее для всех гидрохимических показателей оценены доли концентраций, превышающих фоновый уровень в ≥ 1.5 раза. Наличие аномальных концентраций химических

веществ в речных водах Мурманской области в 1990–2021 гг. приведено в табл. 3.

Анализ представленных данных показал следующее:

для всех исследуемых участков рек характерны положительные гидрохимические аномалии в воде в многолетнем аспекте;

аномалии выявлены по всем гидрохимическим показателям, включенным в исследование (т. е. по наиболее характерным веществам, содержание которых анализируется в рамках государственного мониторинга и используется при оценке качества воды);

доля гидрохимических показателей с аномальными значениями меняется от 27 (реки Лотта и Териберка) до 100% (р. Хауки-лампи-йоки);

наименьшее количество гидрохимических аномалий характерно для ионов Ca^{2+} (выявлено на 10% участков рек), Mg^{2+} и ОВ (20% участков рек имеют аномалии по данным показателям);

наибольшее количество гидрохимических аномалий характерно для соединений Fe, Zn, Mn (наблюдаются в воде всех исследуемых речных участков) (табл. 3).

Более подробная характеристика химического состава воды и гидрохимических аномалий в воде отдельных участков рек Мурманской области за многолетний период приведены в табл. 4. Здесь представлена информация для отдельных участков рек, в воде которых доля выявленных аномальных значений составила $>10\%$ при $\text{Кс} \geq 1.5$.

Таблица 3. Доля аномальных концентраций химических веществ в воде отдельных участков рек Мурманской области в 1990–2021 гг. (ГК – гидрокарбонаты; ОВ – органическое вещество; 1 – на участке реки нет гидрохимических аномалий; 2 – доля аномальных значений до 10% (при $\text{Кс} \geq 1.5$); 3 – доля аномальных значений 10–50% (при $\text{Кс} \geq 1.5$); 4 – доля аномальных значений $\geq 50\%$ (при $\text{Кс} \geq 1.5$))

Река – пункт наблюдений	Гидрохимический показатель										
	Mg^{2+}	Ca^{2+}	Cl^-	SO_4^{2-}	ГК	ОВ	N-NH_4^+	Fe	Cu	Zn	Mn
Вирма – с. Ловозеро	1	1	1	1	3	2	3	4	1	3	4
Кола – выше устья (г. Кола)	1	1	1	1	1	1	3	2	1	3	3
Колос-йоки – выше устья (пос. Никель)	2	1	3	4	2	1	3	3	3	4	4
Лотта – устье	1	1	1	1	1	1	1	2	1	3	3
Нама-йоки – пос. Луостари	1	1	2	4	3	1	2	3	2	3	4
Печенга – ст. Печенга	1	1	1	4	2	1	2	2	1	3	4
Поной – с. Краснощелье	1	1	1	1	1	1	2	4	1	4	4
Териберка – 60-й км Серебрянской а/д	1	1	1	1	1	1	1	2	1	3	3
Ура – с. Ура-Губа	1	1	2	1	1	1	1	3	1	3	3
Хауки-лампи-йоки – г. Заполярный	3	3	3	4	2	2	4	2	2	4	4

Стоит отметить, что даже для наиболее экологически благополучной экосистемы р. Лотты выявлены слабо контрастные гидрохимические аномалии по содержанию в воде соединений Zn и Mn, что указывает на их природный характер.

На большей части территории Мурманской области “ландшафты относятся к южнотундровому семейству кислого класса и характеризуются минимальной мощностью почвенного покрова”, происходит накопление значительного количества элементов (особенно тяжелых металлов), поступающих за счет аэротехногенного переноса или поверхностного стока с водосборов, в силу их низкой миграционной способности [3].

При усилении антропогенной нагрузки и повышении степени загрязненности воды на исследуемых речных участках отмечается увеличение перечня показателей, по которым выявлены аномальные значения, и количества гидрохимических аномалий в общем массиве концентраций за многолетний период, в том числе и контрастных аномалий. Так, для рек Колос-йоки и Хауки-лампи-йоки с высокой степенью загрязненности воды (“грязная” или “очень грязная”) гидрохимические аномалии фиксируются по широкому перечню показателей с разной контрастностью и частотой встречаемости.

На участке выше устья р. Колос-йоки (пос. Никель) выявлены контрастные гидрохимические аномалии (при $K_c \geq 10.0$) в содержании SO_4^{2-} (28.6%) и соединений Mn (39.3%). Для р. Хауки-лампи-йоки (г. Заполярный) по четырем показателям формируются контрастные гидрохимические аномалии с разной частотой встречаемости: по соединениям Zn – 1.4%, $N-NH_4^+$ – 12.7%, соединениям Mn – 59.2% и SO_4^{2-} – 67.6% случаев (табл. 4).

Фоновое значение содержания ионов SO_4^{2-} в воде рек Мурманской области достаточно низкое и составляет всего 4.98 мг/дм³, поэтому в воде наиболее загрязненной реки – Хауки-лампи-йоки все концентрации превышают границу в ($C_{фон} + 3\sigma$), при этом две трети этих превышений являются контрастными гидрохимическими аномалиями.

Анализ и обобщение полученных характеристик позволили выделить контрастные гидрохимические аномалии в речных водах Мурманской области за многолетний период и составить геохимические ряды, характеризующие определенный участок реки с точки зрения вероятности проявления аномальности в содержании в воде различных веществ (табл. 5). За период исследования не было выявлено контрастных аномалий на участках рек Лотта, Ура и Поной, единичные случаи – на участках рек Печенги и Териберки, относительно мало контрастных гидрохимических аномалий наблюдалось в р. Нама-йоки в районе пос. Луостари. Для исследуемых участков рек контрастные гидрохимические аномалии чаще всего встречаются только по соединениям Mn, реже по $N-NH_4^+$, ионам SO_4^{2-} и соединениям Fe.

Стоит отметить, что много гидрохимических аномалий выявлено по содержанию в воде рек соединений Mn. Природные источники поступления в речные воды Мурманской области соединений Mn – подземные (грунтовые) воды, а также миграционные потоки из почв подзолистых и заболоченных территорий (в которых происходит мобилизация Fe, Mn и других элементов на водосборе). При снижении Eh и pH Mn способен накапливаться в водной толще. Способность соединений Mn (II) к окислению до гидроокислов и сорбция на взвеси обуславливают их накопление в донных отложениях. “Для марганца характерна высокая скорость молекулярной диффузии в граничный слой между донными отложениями и придонной водой, что указывает на высокую вероятность вторичного загрязнения воды соединениями марганца” [10] в случаях их накопления в донных осадках. Таким образом, повышенное природное содержание соединений Mn в речных водах Мурманской области будет иметь устойчивый характер при различных геохимических обстановках.

Изучение формирования гидрохимических аномалий в речных водах в целом имеет важное прикладное значение для оценки последствий загрязнения водосборов рек в условиях изменения климата. Исследование, оценка и прогноз возможной трансформации водных экосистем под воздействием антропогенных

Таблица 4. Характеристики химического состава воды и гидрогеохимических аномалий в воде отдельных участков рек Мурманской области в 1990–2021 гг.

Гидрохимический показатель	Характеристики					
	диапазон концентраций, мг/дм ³	среднее значение	количество определений	Концентрации > (С _{фон} + 3σ)		
				кратность превышения К	доля, %, значений при К ≥ 1.5	доля, %, контрастных аномалий при К ≥ 10.0
1	2	3	4	5	6	7
р. Вирма – с. Ловозеро						
HCO ₃ ⁻	≤ 2.0–117	22.4	173	1.02–3.49	14.4	0
N-NH ₄ ⁺	≤ 0.005–2.04	0.22	173	1.11–22.7	19.6	11.0
Fe	0.03–5.93	0.98	172	1.04–24.7	77.3	7.0
Zn*	≤ 0.001–89	11.8	131	1.03–12.0	34.3	2.3
Mn*	≤ 0.001–376	38.9	156	1.02–47.7	66.0	11.5
р. Кола – г. Кола, выше устья						
N-NH ₄ ⁺	≤ 0.005 – 4.6	0.21	345	1.10–35.0	29.4	4.3
Zn*	≤ 0.001 – 32	8.0	175	1.08–4.32	22.8	0
Mn*	≤ 0.001 – 115	10.3	264	1.05–14.6	22.7	0.7
р. Колос-йоки – пос. Никель, выше устья						
Cl ⁻	0.30 – 52.8	11.5	170	1.02–4.76	14.7	0
SO ₄ ²⁻	0.80 – 834.0	156.9	315	1.42–48.7	97.4	28.6
N-NH ₄ ⁺	≤ 0.005–2.12	0.12	282	1.08–23.5	24.5	1.4
Fe	≤ 0.05–2.12	0.22	233	1.02–8.80	12.0	0
Cu*	≤ 0.001–111.0	12.3	437	1.03–6.70	10.7	0
Zn*	≤ 0.001 – 68.8	17.7	236	1.08–9.30	66.5	0
Mn*	0.30 – 357	72.2	281	1.02–45.3	82.6	39.9
р. Лотта – устье						
Zn*	≤ 0.001– 47.0	5.6	97	1.08–6.35	13.4	0
Mn*	≤ 0.001– 50.0	7.7	146	1.02–6.35	17.8	0
р. Нама-йоки – пос. Луостари						
SO ₄ ²⁻	3.7 – 253.0	35.5	172	1.03–14.8	54.6	0.6
HCO ₃ ⁻	≤ 2.0 – 130.0	33.2	165	1.02–3.87	22.3	0
Fe	0.03 – 1.11	0.22	186	1.02–4.63	11.3	0
Zn*	≤ 0.001– 72.0	7.33	218	1.03–9.73	19.7	0
Mn*	≤ 0.001 –244.0	25.8	269	1.02–31.0	72.9	4.1
р. Печенга – ст. Печенга						
SO ₄ ²⁻	7.2 – 106.0	36.1	171	1.02–6,19	66.1	0
Zn*	≤ 0.001– 53.0	7.14	256	1.03–7,16	15.2	0
Mn*	≤ 0.001 – 124.0	18.9	272	1.02–15,7	66.2	1.1
р. Поной – с. Красноселье						
Fe	0.03 – 2.07	0.76	170	1.08–8.63	84.7	0
Mn*	0.60 – 84.0	19.4	141	1.02–10.7	56.0	0.7
р. Териберка – 60-й км Серебрянской автодороги						
Zn*	≤ 0.001– 96.0	15.3	159	1.08–13.0	42.1	1.9
Mn*	≤ 0.001– 69.2	10.5	167	1.02–8.40	28.7	0
р. Ура – с. Ура-Губа						
Fe	0.20 – 2.42	0.24	170	1.03–8.20	17.2	0
Zn*	≤ 0.001– 39.0	12.0	24	1.22–5.27	41.7	0
Mn*	≤ 0.001– 73.6	10.9	134	1.02–9.34	35.1	0
р. Хауки-лампи-йоки – г. Заполярный						
Mg ²⁺	2.7 – 73.3	21.6	164	1.02–4.06	26.2	0
Ca ²⁺	9.8 – 93.6	43.5	165	1.02–2.22	12.7	0
Cl ⁻	1.4 – 120.0	15.5	172	1.02–10.8	30.2	0.6
SO ₄ ²⁻	28.9 – 460.0	212.7	272	1.69–26.8	100	67.6
N-NH ₄ ⁺	≤ 0.005–2.38	0.37	315	1.11–26.4	57.1	12.7
Zn*	≤ 0.001– 88.0	22.2	218	1.08–11.9	72.5	1.4
Mn*	≤ 0.001 – 517.0	93.9	272	1.02–65.6	87.1	59.2

*мкг/дм³.

Таблица 5. Геохимические ряды аномальности для отдельных рек Мурманской области (цифрами внизу обозначена максимальная кратность превышения фонового значения (максимальное значение Кс); полужирным шрифтом — показатели, по которым наиболее часто встречаются контрастные гидрохимические аномалии ($K_c \geq 10$))

Река — пункт наблюдений	Геохимические ряды аномальности
Лотта — устье	$Mn_6 - Zn_6$
Териберка — 60-й км Серебрянской автодороги	$Zn_{13} - Mn_8$
Поной — с. Краснощелье	$Mn_{11} - Fe_9$
Ура — с. Ура-Губа	$Mn_9 - Fe_8 - Zn_5$
Кола — выше устья (г. Кола)	$(N-NH_4^+)_{35} - Mn_{15} - Zn_4$
Печенга — ст. Печенга	$Mn_{16} - (SO_4^{2-})_6 - Zn_7$
Нама-йоки — пос. Луостари	$Mn_{31} - (SO_4^{2-})_{15} - Zn_{10} - Fe_5 - (HCO_3^-)_4$
Вирма — с. Ловозеро	$Mn_{48} - Fe_{25} - (N-NH_4^+)_{23} - Zn_{12} - (HCO_3^-)_4$
Колос-йоки — выше устья (пос. Никель)	$(SO_4^{2-})_{49} - Mn_{45} - (N-NH_4^+)_{24} - Zn_9 - Fe_9 - Cu_7 - (Cl^-)_5$
Хауки-лампи-йоки — г. Заполярный	$Mn_{66} - (SO_4^{2-})_{27} - (N-NH_4^+)_{26} - Zn_{12} - (Cl^-)_{11} - (Mg^{2+})_4 - (Ca^{2+})_2$

источников и глобальных изменений окружающей среды остаются по-прежнему актуальными.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам проведенных исследований установлены следующие закономерности.

Исследуемые участки рек Мурманской области можно разделить на две группы: первая — это экологически благополучные участки рек Колы, Лотты, Териберки и Уры, для которых выявлены гидрохимические аномалии по трем и четырем показателям, вторая — это остальные участки рек с большим количеством аномальных концентраций по большинству показателей.

Меньше всего аномальных концентраций зафиксировано по таким показателям, как Mg^{2+} , Ca^{2+} и органические вещества, а больше всего — по соединениям тяжелых металлов. Гидрохимические аномалии выявлены в воде 10% исследуемых участков рек по содержанию ионов Ca^{2+} и 20% — по ионам Mg^{2+} и органическим веществам, до 100% участков рек — по содержанию соединений Fe, Zn и Mn.

Выявленные гидрохимические аномалии в воде отдельных участков рек Мурманской области — положительные, и большинство их слабоконтрастные. Контрастные гидрохимические аномалии чаще всего встречаются по соединениям Mn. Большинство выявленных аномалий в содержании соединений Mn в речных водах имеет смешанный (природно-антропогенный) генезис (например, в бассейне р. Печенги). Выявленные аномалии в воде рек, функционирующих в состоянии экологического благополучия (по состоянию гидробиоценозов), имеют естественную природу, обусловленную геохимическими особенностями водосборов.

Наличие гидрохимических аномалий на отдельных участках рек с низким уровнем антропогенного воздействия свидетельствует о природном характере данных аномалий, т. е. о повышенном природном содержании соединений тяжелых металлов в воде отдельных рек Мурманской области.

Полученные результаты могут быть использованы заинтересованными исследователями арктического региона при совершенствовании научно-методических подходов к оценке качества пресных речных вод арктической зоны и

при разработке экологически обоснованных рекомендаций по улучшению состояния рек Мурманской области.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Даниленко А.О., Косменко Л.С., Кондакова М.Ю., Решетняк О.С. Характеристика уровней содержания и гидрохимических аномалий в речных водах арктической зоны РФ // Тр. III Всерос. конф. "Гидрометеорология и экология: достижения и перспективы развития". СПб.: ХИМИЗДАТ, 2019. С. 467–470.
2. Каталог кодов пунктов гидрологических наблюдений на реках России. Вып. 1. Нижний Новгород, 2007. 36 с.
3. Кашулин Н.А., Даувальтер В.А., Сандимиров С.С., Раткин Н.Е., Терентьев П.М., Королева И.М., Вандыш О.И., Кудрявцева Л.П. Антропогенные изменения лотических экосистем Мурманской области. Ч. 2. Озерно-речная система реки Чуна в условиях аэротехногенного загрязнения. Апатиты: Кольский НЦ РАН, 2007. 238 с.
4. Кольский Север. Энциклопедический лексикон. [Электронный ресурс]. (дата обращения: 17.04.2023)
5. Криночкин Л.А. Прогнозная оценка территории России по региональным аномальным геохимическим полям. Автореф. дис. ... докт. геол.-минерал. наук. М., 2011. 46 с.
6. Макаров В.Н. Гидрогеохимические аномалии цинка в р. Яна // Наука и техника в Якутии. 2020. Т. 2. № 38. С. 26–30.
7. Никаноров А.М., Брызгалов В.А. Реки России. Ч. 1. Реки Кольского Севера (гидрохимия и гидроэкология). Ростов-на-Дону: НОК, 2009. 200 с.
8. Никаноров А.М., Соколова Л.П., Косменко Л.С., Решетняк О.С. Оценка состояния гидробиоценоза на участках водных объектов Кольского Севера с высокой степенью загрязненности воды соединениями меди и никеля // Метеорология и гидрология. 2009. № 11. С. 69–80.
9. Ресурсы поверхностных вод СССР. Т. 1. Кольский полуостров / Под ред. Ю.А. Елишина, В.В. Куприянова. Л.: Гидрометеиздат, 1970. 316 с.
10. Решетняк В.Н., Закруткин В.Е. Взаимосвязь химического состава и уровня загрязненности речных вод и донных отложений рек бассейна Северского Донца (в пределах Ростовской области) // Изв. вузов. Северо-Кавказский регион. Естественные науки. 2022. № 3. С. 91–100.
11. Решетняк О.С., Даниленко А.О., Кондакова М.Ю., Косменко Л.С. Природные концентрации химических веществ и гидрохимические аномалии в речных водах Европейской части России в пределах природно-территориальных комплексов // Водные ресурсы: новые вызовы и пути решения. Сб. науч. тр. Новочеркасск: Лик, 2017. С. 421–426.
12. Решетняк О.С., Кондакова М.Ю., Даниленко А.О., Косменко Л.С., Решетняк В.Н. Тенденции изменчивости химического состава речных вод Европейской части арктической зоны России // Изв. вузов. Северо-Кавказский регион. Естественные науки. 2019. № 1. С. 6–94.
13. Юркевич Н.В., Бортникова С.Б., Саева О.П., Корнеева Т.В. Гидрохимические аномалии в районе складирования сульфидных отходов золотодобычи (пос. Вершино-Дарасунский, Забайкальский край) // Геологическая эволюция взаимодействия воды с горными породами. Материалы четвертой Всерос. науч. конф. с международ. участием Улан-Удэ: БНЦ СО РАН, 2020. С. 282–285.
14. Янин Е.П. Изменение химического состава и техногенная метаморфизация речных вод в промышленно-урбанизированных районах // Науч. техн. аспекты охраны окружающей среды. 2006. № 3. С. 2–27.