

ОЦЕНКА СОВРЕМЕННОГО СОСТОЯНИЯ КАЧЕСТВА ВОД НОРИЛЬСКОГО ПРОМЫШЛЕННОГО РАЙОНА

М. М. Базова, Д. В. Кошевой

Институт геохимии и аналитической химии им. В. И. Вернадского РАН (Москва, Российская Федерация)

Статья поступила в редакцию 12 января 2017 г.

Природа Норильского промышленного района (НПР) подвержена воздействию отходов горно-металлургической промышленности. Большое количество отходов поступает в водные объекты, находящиеся на территории НПР, поэтому исследование качества окружающей промышленную зону водоемов – важная задача охраны окружающей среды. Основными загрязнителями водоемов являются тяжелые металлы и их соединения. Дана оценка качества вод, основанная на исследовании химического и микроэлементного состава озерных и речных вод. Проанализировано экотоксикологическое состояние исследованных озер и рек.

Ключевые слова: *малые озера, реки, качество вод, тяжелые металлы, диоксид серы, горно-металлургические предприятия.*

Введение

Проблема загрязнения окружающей среды и деградации арктических экосистем вследствие хозяйственно-экономической деятельности предприятий ОАО ГМК «Норильский никель» становится наиболее актуальной в текущем столетии. «Норильский никель» является одним из центров горно-металлургической промышленности в России и ориентирован на поиск, разведку, добычу, обогащение и переработку полезных ископаемых, а также производство цветных и драгоценных металлов. Часть предприятий находится в Норильске, поэтому наряду с несомненными достижениями в области строительства, горного дела и металлургии в условиях Крайнего Севера город также известен на весь мир неблагоприятной экологической обстановкой. По общему числу выбросов загрязняющих веществ в атмосферу Норильск с большим отрывом лидирует в сравнении с другими городами. Металлургические комбинаты длительное время выбрасывают в атмосферу миллионы тонн токсичных веществ и тяжелых металлов, что приводит к необратимым экологическим последствиям для окружающей среды, а особенно для здоровья населения и состояния экосистемы. Процесс производства в цветной металлургии характеризуется выбросами вредных веществ. В результате происходит загрязнение атмосферы, поверхностных и подземных вод, наземных элементов экосистемы химическими веществами [1]. Исследование экологической обстановки в Норильском регионе имеет

не только локальное прикладное значение, оно важно для понимания влияния цветной металлургии на окружающую среду северных территорий.

В ежегодных докладах «О состоянии окружающей природной среды Российской Федерации» большое внимание уделено состоянию атмосферного воздуха Норильского региона, но почти не приводятся данные о состоянии водных объектов и почв. Однако очевидно, что выбросы в атмосферу оседают на окружающих территориях, поступают в почвенный, растительный и снежный покровы. При таянии последнего многочисленными ручьями и реками они поступают в водные объекты.

Целью исследований являлось изучение химического состава рек и озер Норильского промышленного района в условиях антропогенных нагрузок.

Общая характеристика региона и антропогенной нагрузки

Норильский промышленный район (НПР) расположен в северо-западной части Восточной Сибири, на территории полуострова Таймыр. По административному делению он принадлежит к Красноярскому краю. Равнинный рельеф низменности местами нарушается небольшими возвышенностями. Большая часть территории представлена равнинной полярной зоной, в южной части простирается узкая полоса лесотундры. Территория НПР расположена к северу от Полярного круга и относится к континентальной части Арктики. Близость Северного Ледовитого океана обуславливает своеобразие

климатических условий. Климат района резко континентальный с отрицательной среднегодовой температурой воздуха на уровне $-9...-10^{\circ}\text{C}$, абсолютный минимум составил -57°C . Преобладающими направлениями ветра в осенне-зимний период (октябрь-май) являются южное и юго-восточное, в весенне-летний период (июнь-сентябрь) — западное и северо-западное [2].

Норильский промышленный район связан с богатейшими месторождениями никеля, меди, кобальта, платины, палладия, родия, серебра, теллура, селена и других особо ценных металлов. Наиболее ценными полезными ископаемыми региона являются месторождения сульфидных медно-никелевых руд [3; 4]. В настоящее время в Норильске разрабатываются три месторождения: Норильск-1, Талнахское и Октябрьское [5]. Это комплексные месторождения, помимо основных полезных компонентов (никеля и меди) в рудах в тех или иных количествах имеются кобальт, металлы платиновой группы, золото, серебро, селен, теллур. Для энерго- и теплоснабжения НПр используется природный газ. Он добывается на Пеляткинском, Северо-Соленинском, Южно-Соленинском и Мессояхском месторождениях. Все они расположены западнее Енисея [6; 7]. Повышенные содержания Ni, Cu, Co, платиноидов и других металлов в морских водах арктического региона некоторые исследователи из Норвегии, Швеции, Финляндии, Германии связывают с трансграничным поступлением с воздушными аэрозолями от Норильского горнопромышленного комплекса [8]. Функционирование цветной металлургии характеризуется выбросами вредных веществ, вследствие чего происходит загрязнение атмосферы, поверхностных и подземных вод, наземных экосистем химическими веществами.

Наибольшую опасность представляют выбросы диоксида серы, которые составляют порядка 97% всех выбросов Заполярного филиала «Норильского никеля», и тяжелые металлы. В результате фотохимических реакций окисления сернистого газа происходит образование серной кислоты. Серная кислота, с одной стороны, оказывает влияние на биоту, с другой — выступает в качестве растворителя минеральных и органических соединений металлов в аэрозолях и в почвах, что способствует высвобождению и миграции металлов [9; 10]. Кроме диоксида серы в результате производственной деятельности «Норильского никеля» в атмосферу в больших количествах дополнительно поступают Ni, Cu, Co, As, V, Mn, Se, Te. В условиях Арктики с ее уязвимой природой проблема загрязнения водоемов тяжелыми металлами и их соединениями возникает даже в тех случаях,

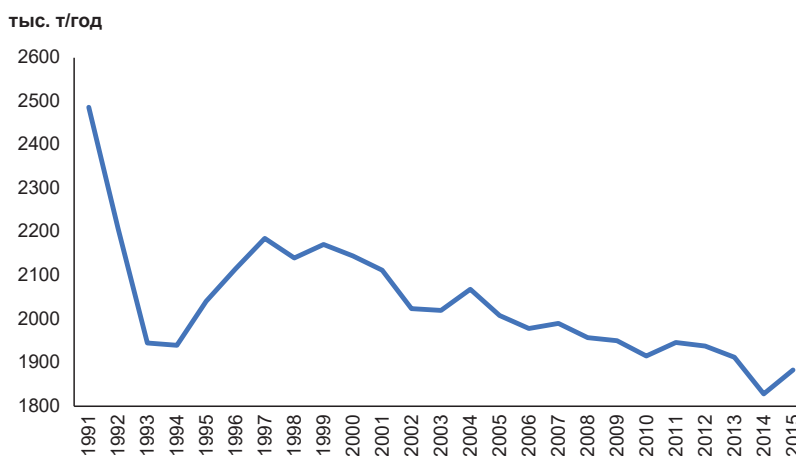


Рис. 1. Выбросы всех загрязняющих веществ в атмосферу от ОАО ГМК «Норильский никель» в 1991–2015 гг.

когда их содержание не превышает предельно допустимых концентраций (ПДК). Одна из причин — высокая аккумулятивная способность водных живых организмов. Именно эта особенность делает водные живые организмы токсически опасными. Такое комплексное негативное воздействие ведет к снижению биологического разнообразия, исчезновению кислоточувствительных видов, что, в свою очередь, приводит к уменьшению устойчивости экосистем.

В настоящее время Норильск занимает лидирующие позиции по количеству техногенных выбросов в атмосферу. По данным нескольких источников [5; 11; 12], Норильский никелевый завод в год выбрасывает в атмосферу до 12 тыс. т пыли, в которой содержится 2000 т никеля, 350 т меди и 20 т кобальта. На рис. 1 представлена тенденция снижения выбросов загрязняющих веществ в атмосферу за 2003—2015 гг. от предприятий «Норникеля», в число которых помимо заводов входят обогатительные фабрики, шахты, цементный завод и рудники по добыче нерудного сырья. Максимальное значение выбросов пришлось на 1991 г. и составило 2486 тыс. т. К 1994 г. они снизились до 1940 тыс. т и затем снова увеличились к 1997 г. до 2185 тыс. т. С 1991 по 2014 гг. выбросы снизились на 658 тыс. т (с 2486 до 1828 тыс. т). К 2015 г. выбросы увеличились на 55 тыс. т. В то же время объем сброса загрязненных сточных вод уменьшился на 6,2% [12].

Объекты исследования

По данным [13], загрязненные территории вокруг металлургических комбинатов можно разделить на три зоны, границы и очертания которых зависят от местных особенностей атмосферной циркуляции и рельефа.

Первая зона — импактная зона загрязнения, распространяющаяся на 10—15 км вокруг «Норникеля». Эта область включает антропогенно измененные территории вокруг Норильска, Талнаха и Кайернана. Аэрозоли тяжелых металлов, перемещаясь

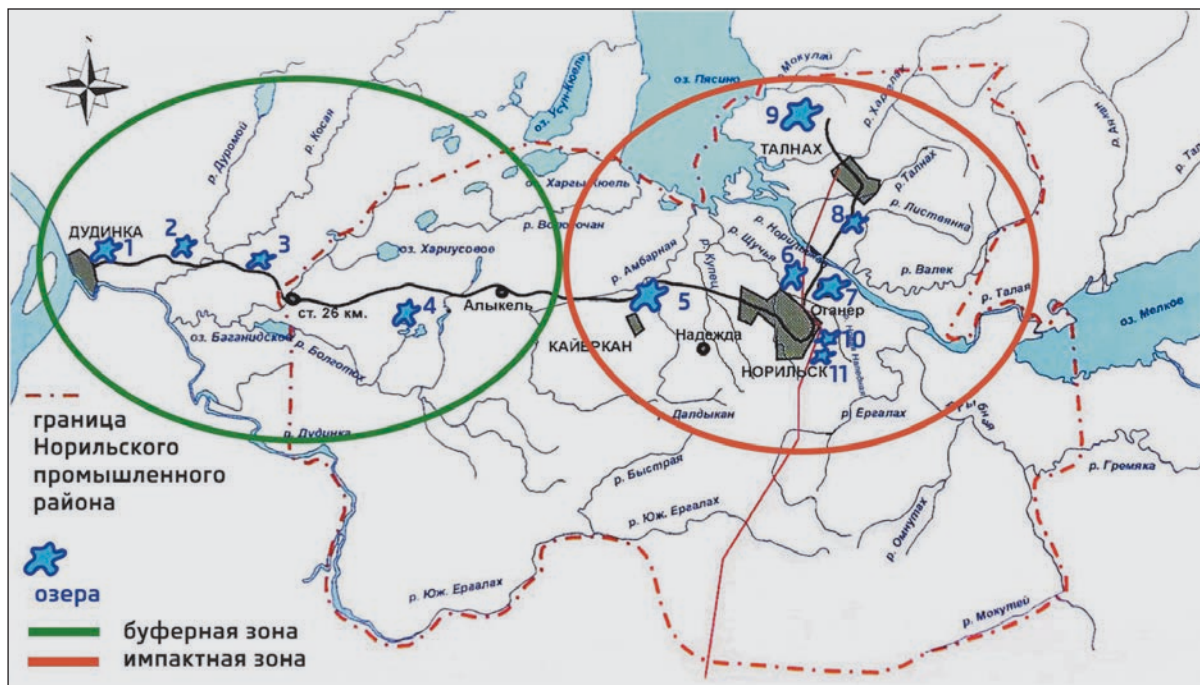


Рис. 2. Гидрографическая сеть Норильского промышленного района и точки исследования

с воздушными массами в атмосфере в составе оседающей пыли (сухое выпадение), а также твердыми и жидкими осадками (влажное выпадение), попадают на подстилающую поверхность, что приводит к ухудшению экологической обстановки в наземных экосистемах. В пределах этой зоны особую опасность представляет загрязнение вод металлами вследствие аэротехногенного рассеивания промышленных производств.

Вторая зона (буферная) размещается в 10—20 км от «Норникеля» и на 50 км к югу от Норильска. В этой зоне нарушается естественный химический и микробиологический состав почв. Кумулятивный эффект негативного воздействия всех загрязняющих веществ на экосистемы до конца еще не выявлен.

Третья зона (фоновая) без видимых негативных изменений во внешней среде распространяется на 80—100 км от источника загрязнения. Однако в этой зоне фиксируются первичные изменения в физиологическом функционировании и микроскопической структуре растительных тканей.

Основным водным объектом, в который поступает речной сток с территории обширного района, является озеро Пясина, расположенное у подножия северо-западных отрогов плато Путорана. В озеро впадают реки Амбарная, Коева, Бучеко-Юрэх, Щучья, Самоедская Речка и многие другие. Самый большой приток — река Норильская (Талая), собирающая свои воды с обширного горно-озерного района. Режим озера в основном зависит от режима Норильской, имеющей несколько крупных притоков: Рыбная, Валек, Талнах, Хараелах, Томулах.

В августе 2016 г. в ходе экспедиционных работ на трансекте Норильск — Дудинка были отобраны

пробы воды в 11 озерах и 9 реках в зависимости от удаленности от источника загрязнения. В буферной зоне были исследованы 4 озера, в импактной зоне — 7 озера и 9 рек (рис. 2, в тексте статьи используется нумерация озера, предложенная на рисунке). Река Щучья является самой загрязненной на территории НПР, качество ее воды по многим показателям выходит за пределы требований, предъявляемым к составу и свойствам воды водотоков рыбохозяйственного значения. На рис. 3 представлено озеро, исследованное в черте города Дудинка.

Методы исследования

Отбор проб осуществлялся в период позднего осеннего охлаждения, когда вегетационные процессы незначительны, устанавливается гомотермия и отсутствует стратификация. При выборе озера принимались во внимание следующие морфометрические характеристики: малые площади акваторий (0,04—7 км²) и удельного водосбора, небольшие глубины (1,5—2 м), малая проточность. Из исследования исключены озера, в которые непосредственно сбрасывались сточные воды.

Для определения общего химического состава пробы воды отбирали в полиэтиленовые бутылки фирмы «Vitlab» объемом 250 мл. Предварительно бутылки были тщательно очищены в лаборатории. При отборе проб воды бутылки дважды ополаскивали водой озера, затем наполняли с глубины 0,5 м, затем замораживали до определения общего химического анализа воды. Для определения микроэлементов использовали пробирки «Vitlab» объемом 15 мл, предварительно подкисленные трехпроцентной азотной кислотой. Фильтрацию проб проводили непосредственно



Рис. 3. Озеро в городе Дудинка

в лаборатории. Химические анализы проб воды выполняли в лаборатории Института геохимии и аналитической химии им. В. И. Вернадского РАН. Аналитическая программа работ включала определение pH, электропроводности, Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ , щелочности (Alk), SO_4^{2-} , Cl^- , цветности, перманганатной окисляемости (COD Mn), Si. Химиико-аналитические работы проводились в стационарных условиях.

В отобранных пробах для определения перечисленных параметров использовались следующие методы: pH — потенциометрический метод, электропроводность при 20°C — кондуктометрическое определение, цветность — фотометрическое определение, кремний — спектрофотометрическое определение в виде синего восстановленного кремнемолибденового комплекса, перманганатная окисляемость — титриметрическое определение, щелочность — потенциометрическое титрование по методу Грана, сульфаты, хлориды — ион-хроматографическое определение, калий, натрий — атомно-эмиссионная спектрометрия в пламени, кальций, магний — атомно-абсорбционная спектрометрия в пламени.

Для определения элементного состава растворов проводился анализ на масс-спектрометре высокого разрешения с ионизацией в индуктивно-связанной плазме для элементного и изотопного анализа ELEMENT2 (производитель — «Thermo Finnigan»). Калибровку чувствительности прибора по всей шкале масс осуществляли с помощью стандартных растворов, включающих анализируемые в пробах элементы. Для контроля качества измерений и учета дрейфа чувствительности прибора анализы проб чередовали с анализами стандартного образца с периодичностью 1:10. Концентрация микроэлементов

определялась атомно-адсорбционным (GFAAS, Perkin-Elmer-5000, Corp. Norwalk, США) методом с непламенной атомизацией (HGA-400) в лаборатории методов исследования и анализа веществ и материалов.

Характеристика химического состава озерных и речных вод

Внутренние водоемы, имеющие небольшие площади и объемы по сравнению с воздушными системами, наиболее чувствительны к неблагоприятным последствиям, чем наземные экосистемы. Поэтому именно малые озера, вследствие их преимущественного атмосферного питания, лучше всего отражают последствия аэротехногенного загрязнения.

Однако буферная «емкость» гидроморфных комплексов имеет определенный порог устойчивости, за пределами которого начинается деградация самой системы [14].

Наблюдения за гидрологическим режимом водных объектов начались в 1937 г. в период строительства Норильска с целью решения вопросов развития Норильского промышленного района. Изучение гидрологического режима рек и озер проводилось проектной конторой Норильского горно-металлургического комбината [15]. В связи с промышленным освоением Норильского и Талнахского месторождений в начале 1960-х годов параллельно начали вести гидрохимические наблюдения. В связи с тем, что антропогенный фактор не оказывал существенного влияния на состояние водных экосистем, период 1960—1970 гг. можно принять за условно-фоновый. Природные воды на тот период характеризовались как слабо и мало-минерализованные гидрокарбонатно-кальциевого

Таблица 1. Основные показатели химического состава озерных вод НПП

Озеро	pH	x, мкСм/см	Ca ²⁺ , мг/л	Mg ²⁺ , мг/л	Na ⁺ , мг/л	K ⁺ , мг/л	SO ₄ ²⁻ , мг/л	Cl ⁻ , мг/л	Alk, мкмоль-экв/л	Цветность, ° Pt-Co
1	8,88	47	4,73	1,77	0,69	0,31	4,00	0,68	242	14
2	8,45	73	8,82	2,99	0,91	0,33	4,00	0,36	352	21
3	7,25	72	7,52	2,87	1,70	0,26	5,60	0,35	110	9
4	7,50	198	22,4	7,20	2,93	0,04	16	0,21	308	3
5	7,71	337	58,5	12,2	2,38	0,45	120	2,20	616	2
6	8,17	389	28,1	23,1	3,96	4,72	83	1,50	462	2
7	7,65	245	22,2	10,4	9,10	0,40	300	22	2222	11
8	8,22	190	19,8	7,40	3,27	0,67	49	1,55	1210	30
9	8,59	174	18,5	6,22	3,06	0,55	13	1,00	1320	17
10	8,66	160	19,6	7,09	2,54	0,65	60	0,80	2053	5
11	8,52	209	21,8	5,17	6,48	0,77	7,10	8,3	2273	19

Таблица 2. Основные показатели химического состава речных вод НПП

Река	pH	x, мкСм/см	Ca ²⁺ , мг/л	Mg ²⁺ , мг/л	Na ⁺ , мг/л	K ⁺ , мг/л	SO ₄ ²⁻ , мг/л	Cl ⁻ , мг/л	Alk, мкмоль-экв/л	Цветность, ° Pt-Co
Щучья	7,72	2441	218	31,1	124	18,33	1200	90,0	770	11
Купец	8,10	875	111	19,86	15,70	2,62	300	4,50	814	3
Новая Наледная	8,29	1520	66,3	12,2	213,5	6,33	230	150	1907	10
Амбарная	7,93	343	42,2	11,38	3,78	0,28	80	0,90	990	3
Кайеркан	8,07	622	83,2	28,39	13,17	1,77	248	1,54	2053	6
Далдыкан	7,32	547	49,9	24,76	5,50	0,91	240	2,50	88	3
Талнах	8,49	476	61,1	7,76	10,68	1,67	182	8,60	1650	9
Хараелах	8,87	85	10,5	2,38	1,10	0,06	15	1,67	2457	5
Томулах	8,11	344	53,9	7,57	2,93	0,22	130	120	1833	3

состава с низким содержанием органических и биогенных веществ [16]. В то же время в воде озер отмечено повышенное содержание сульфатов, которое обусловлено наличием руд, насыщенных сульфидами, а также развитием карстовых явлений при наличии гипсоносных пород. За условно-фоновый период принят 1975 г. и взяты данные по реке Норилка в поселке Валек, где проводились систематические наблюдения за водным режимом. Ввиду немногочисленных гидрохимических данных в тот период сложно было учесть пространственную неоднородность изменения химического состава воды на территории Норильского промышленного района.

В табл. 1 приведены данные по химическому составу озерных вод, в табл. 2 — речных вод. По мере удаления от антропогенных источников загрязнения

в воде озер наблюдаются изменения химического состава вод.

Для рек Щучья и Амбарная характерны повышенные значения минерализации — более 1400 мг/л. Концентрации сульфатов в воде также отличаются повышенными содержаниями. По химическому составу они носят переходный характер от гидрокарбонатных к сульфатному. С одной стороны, здесь относительно близко расположены сульфидные медно-никелевые руды, с другой — в составе промышленных выбросов и сбросов сера и ее соединения составляют значимую часть.

Импактная зона

Воды озер 5—9 относятся к сульфатно-кальциевой группе, озер 10 и 11 — к гидрокарбонат-

но-кальциевой. Воды озер 5—7, расположенных вдоль трансекты, характеризуются повышенным содержанием основных ионов, низкой цветностью (от 2 до 11° Pt-Co). Вблизи поселка Оганер в воде озера 7 отмечено повышенное содержание сульфатов (300 мг/л), хлоридов (22 мг/л) и щелочности (2222 мкмоль-экв/л). Воды озера 5 характеризуются повышенным содержанием кальция (58,5 мг/л) по сравнению с другими озерами. Для озер, расположенных севернее и южнее комбината «Норникель» (озера 8—11), характерны более высокие (в четыре-пять раз) значения щелочности (в диапазоне от 1210 до 2273 мкмоль-экв/л) и электропроводности (в диапазоне от 190 до 209 мкСм/см).

Воды рек Щучья, Купец, Новая Наледная, Амбарная, Кайеркан, Далдыкан относятся к сульфатно-кальциевому классу. Для рек Щучья и Амбарная характерны повышенные значения минерализации — более 1400 мг/л. Концентрации сульфатов в воде также отличаются повышенными содержаниями. С одной стороны, это связано с относительно близким расположением сульфидных медно-никелевых руд, с другой — в составе промышленных выбросов и сбросов сера и ее соединения составляют значимую часть.

Поскольку основной сброс загрязненных сточных вод (около 95%) в поверхностные водные объекты приходится на бассейны рек Щучья и Новая Наледная, именно они характеризуются повышенным содержанием основных ионов. В реке Купец отмечено повышенное содержание Ca (218 мг/л) и SO₄ (1200 мг/л). Воды рек Талнах и Томулах относятся к гидрокарбонатно-кальциевому классу и характеризуются относительно низкими содержаниями сульфатов (182 и 130 мг/л соответственно) и высокой щелочностью (1650 и 1833 мкмоль-экв/л соответственно).

Буферная зона

Воды озер 1 и 2 относятся к гидрокарбонатно-кальциевой группе, характеризуются относительно низким содержанием основных ионов, низкой щелочностью (242 и 352 мкСм/см) и электропроводностью (47 и 73 мкСм/см). Влияние техногенных сульфатов здесь минимальное в силу отдаленности от горно-металлургических предприятий (4 мг/л). Воды озер 3 и 4 характеризуются сульфатно-кальциевым составом воды, тяготеющим к смене на гидрокарбонатно-кальциевый в случае улучшения экологической обстановки в городе.

Воды реки Хараелах (приток реки Норильская) относятся к гидрокарбонатно-кальциевому классу, имеют низкую электропроводность (85 мкСм/см) и высокую щелочность (2457 мкмоль-экв/л). Это скорее всего обусловлено непосредственным влиянием со стороны горно-металлургических предприятий, ведущим к загрязнению вод, а также комплексом природных факторов, основными из которых являются климатические условия и геологическое строение территории.

Характеристика микроэлементного состава речных и озерных вод

В последние десятилетия в связи с функционированием горнопромышленного комплекса водные объекты испытывают повышенную антропогенную нагрузку. На трансформацию химического состава вод влияют как наземные, так и воздушные источники загрязнения. Наибольший вклад в загрязнение вносят сточные воды предприятий «Норильского никеля», шахтные угольные воды поселка Кайеркан, сброс твердых отходов производства. Аэротехногенное воздействие со стороны комбинатов объясняется переносом на отдаленные участки пыли, содержащей Cu, Ni, Pb и другие металлы, а также диоксиды серы [16]. Норильский промышленный район много лет подвержен воздействию горно-металлургических производств, в связи с этим водные объекты, считавшиеся до 1975 г. фоновыми, отличаются повышенным содержанием большой группы металлов.

В табл. 3 приведены данные по микроэлементному составу озерных вод, в табл. 4 — речных вод.

Превышение концентрации меди относительно ПДК связано с распространением сульфидных медно-никелевых руд, а также геохимическим фоном. Высокие содержания Ni и Zn объясняется сбросами грязных вод и притоков воды со шламовых хвостохранилищ, находящихся на водосборах этих рек.

Анализ данных позволил выделить пять озер, отличающихся повышенным содержанием некоторых элементов. В озере 5 отмечены повышенные содержания Co (1,02 мкг/л) и Ni (67,6 мкг/л). Это напрямую связано с преобладающим направлением ветров в весенне-летний период и соответственно эмиссией загрязняющих веществ с комбината «Надежда». Высокие содержания Li (1,64 мкг/л), B (10,5 мкг/л), Al (79,9 мкг/л), Rb (5,63 мкг/л), Ba (9,52 мкг/л) в озере 6 вероятнее всего связаны с выходами базальтовых пород. Так, в озере 3 отмечено повышенное содержание элементов, что скорее всего связано с близостью расположения к Норильскому промышленному комбинату. Кроме того, в озерах 1 и 3 отмечено повышенное по сравнению с другими озерами содержание Fe (0,23 и 0,18 мкг/л соответственно) и Mn (26,0 и 37,4 мкг/л), которое, по-видимому, обусловлено влиянием заболоченных ландшафтов, а также более мощным почвенным слоем. Высокие концентрации Sr (189 мкг/л) и Mo (0,27 мкг/л) обнаружены в озере 11.

Бассейн реки Щучья. Микроэлементный состав воды реки Щучья по некоторым элементам в 100 и 1000 раз превышает ПДК. Среди них стоит выделить наиболее значимые: Al, Ni, Cu, Zn, Rb, Sr, Cd. В реке Купец (левом притоке Щучьей) отмечены повышенные значения Ni (563 мкг/л), Cu (15,8 мкг/л), Mn (128 мкг/л), что свидетельствует о критической загрязненности воды в реке. Воды реки Новая Наледная (правого притока Щучьей) в основном загрязнены B (103 мкг/л), Co (80,7 мкг/л), Ni (2040 мкг/л), Sb (0,27 мкг/л), что на два-три порядка

Таблица 3. Содержания микроэлементов в озерных водах НПР, мкг/л

Озеро	Li	B	Al	Fe	V	Mn	Co	Ni	Cu	Rb	Sr	Y	Mo	Ba
1	0,26	1,60	14,4	0,23	0,46	26,0	0,09	1,85	5,00	0,38	13,3	0,09	0,07	—
2	0,14	2,08	15,3	0,05	0,43	10,8	0,03	0,73	3,42	0,19	20,6	0,09	0,04	—
3	0,20	1,76	16,2	0,18	0,28	37,4	0,08	1,17	4,33	0,26	20,1	0,03	0,05	—
4	0,44	5,64	4,23	0,03	0,82	26,0	0,05	0,46	2,50	0,04	106	0,01	0,23	0,56
5	0,73	4,07	—	0,10	0,20	9,26	1,02	67,6	16,5	0,48	142	0,02	—	5,46
6	1,64	10,5	79,9	0,19	0,71	23,3	0,27	15,1	14,1	5,63	119	0,07	0,19	9,52
7	0,37	4,35	4,20	0,08	0,44	10,5	0,08	6,17	7,43	0,65	102	0,02	0,06	—
8	0,39	4,16	44,6	0,06	0,60	11,5	0,26	8,52	20,5	1,45	75,0	0,03	0,22	4,78
9	0,22	3,50	5,79	0,02	0,19	8,38	0,05	3,05	6,27	0,53	75,4	—	0,13	0,45
10	0,33	3,58	10,3	—	0,15	3,11	0,04	6,39	10,9	0,91	65,4	0,01	0,14	0,83
11	0,53	7,60	35,1	0,07	0,40	6,92	0,12	5,63	6,13	0,80	189	0,02	0,27	1,55

Таблица 4. Содержания микроэлементов в речных водах НПР, мкг/л

Река	B	Al	Fe	Ti	V	Mn	Co	Ni	Cu	Zn	Rb	Sr	Y	Mo	Cd	Sb	Ba	La	Ce
Щучья	82,1	653	3,83	5,79	0,60	445	34,1	1202	598	46,2	21,4	2064	0,45	0,66	11,6	0,27	23,3	0,36	0,81
Амбарная	9,45	3,69	0,03	0,50	0,55	4,52	0,06	3,23	3,15	1,40	0,23	154	0,02	0,17	0,02	0,03	4,69	—	0,01
Далдыкан	49,0	8,67	0,44	0,70	—	1198	15,0	275	3,82	4,68	1,58	165	0,10	0,03	0,08	—	8,96	0,08	0,12
Купец	54,1	18,9	0,35	1,04	0,32	128	13,2	563	15,8	1,29	1,97	991	0,04	0,74	0,10	0,05	35,1	0,03	0,04
Новая Наледная	103	15,1	0,05	1,12	—	23,4	80,7	2040	5,65	10,6	8,66	824	0,04	1,10	0,04	0,27	15,0	0,02	0,03
Кайеркан	17,8	13,8	—	0,50	0,07	12,6	0,68	8,77	9,41	12,6	1,31	759	0,05	1,55	0,02	0,26	22,4	0,02	0,05
Талнах	19,0	1638	7,53	56,3	—	62,7	18,4	224	209	15,2	2,54	792	0,51	0,79	0,09	0,16	12,5	0,49	1,07
Харелах	0,85	7,16	—	—	0,70	—	—	—	2,07	7,40	0,06	27,3	0,012	0,08	0,02	0,09	—	—	—
Томулах	4,89	115	0,47	3,91	0,40	47,6	0,38	3,08	12,8	15,1	0,24	291	0,08	0,25	—	0,14	8,72	0,06	0,13

превышает ПДК. Загрязнение воды реки происходит под влиянием промышленных и хозяйственно-бытовых сточных вод предприятий и ЖКХ.

Таким образом, из анализа состояния воды в Щучьей и ее притоках можно сделать вывод, что фоновые показатели состава воды не соответствуют нормативным требованиям для установленной категории водопользования, а степень загрязненности воды в реках можно охарактеризовать как очень высокую.

Бассейн реки Амбарная. В Амбарной отмечены превышения ПДК по B, Al, Mn, V, Ni, Sr, Ba. Характерными загрязняющими веществами реки Кайеркан (правого притока Амбарной) являются Ni (8,77 мкг/л), Cu (9,41 мкг/л), Zn (12,6 мкг/л), Mo (1,55 мкг/л), Ba (22,4 мкг/л). В реке Далдыкан (правом притоке Амбарной) отмечены превышения ПДК по многим микроэлементам, особенно по Co (15,0 мкг/л), Ni (275 мкг/л), Mn (1198 мкг/л).

Анализ сравнения полученных данных с ПДК вредных веществ для рыбохозяйственных водоемов показывает, что водные объекты бассейна Амбарной подвержены антропогенному воздействию, качество воды в них по многим показателям не отвечает нормативным требованиям.

Бассейн реки Норильская. Характерные загрязняющие вещества реки Харелах (правого притока Норильской): Sr (27,3 мкг/л), V (0,70 мкг/л), Cd (0,02 мкг/л), для которых количество случаев превышения ПДК составляет 3, 7 и 10 соответственно. Характерной особенностью загрязнения поверхностных вод реки Талнах (правого притока Норильской) является повышенное содержание в воде соединений Al (1638 мкг/л), Ni (224 мкг/л), Cu (209 мкг/л), Mn (62,7 мкг/л), Ti (56,3 мкг/л), Co (18,2 мкг/л), Fe (7,53 мкг/л), V (4,20 мкг/л). По этим превышениям можно судить о том, что степень загрязненности водоема считается высокой. О загрязнении воды реки

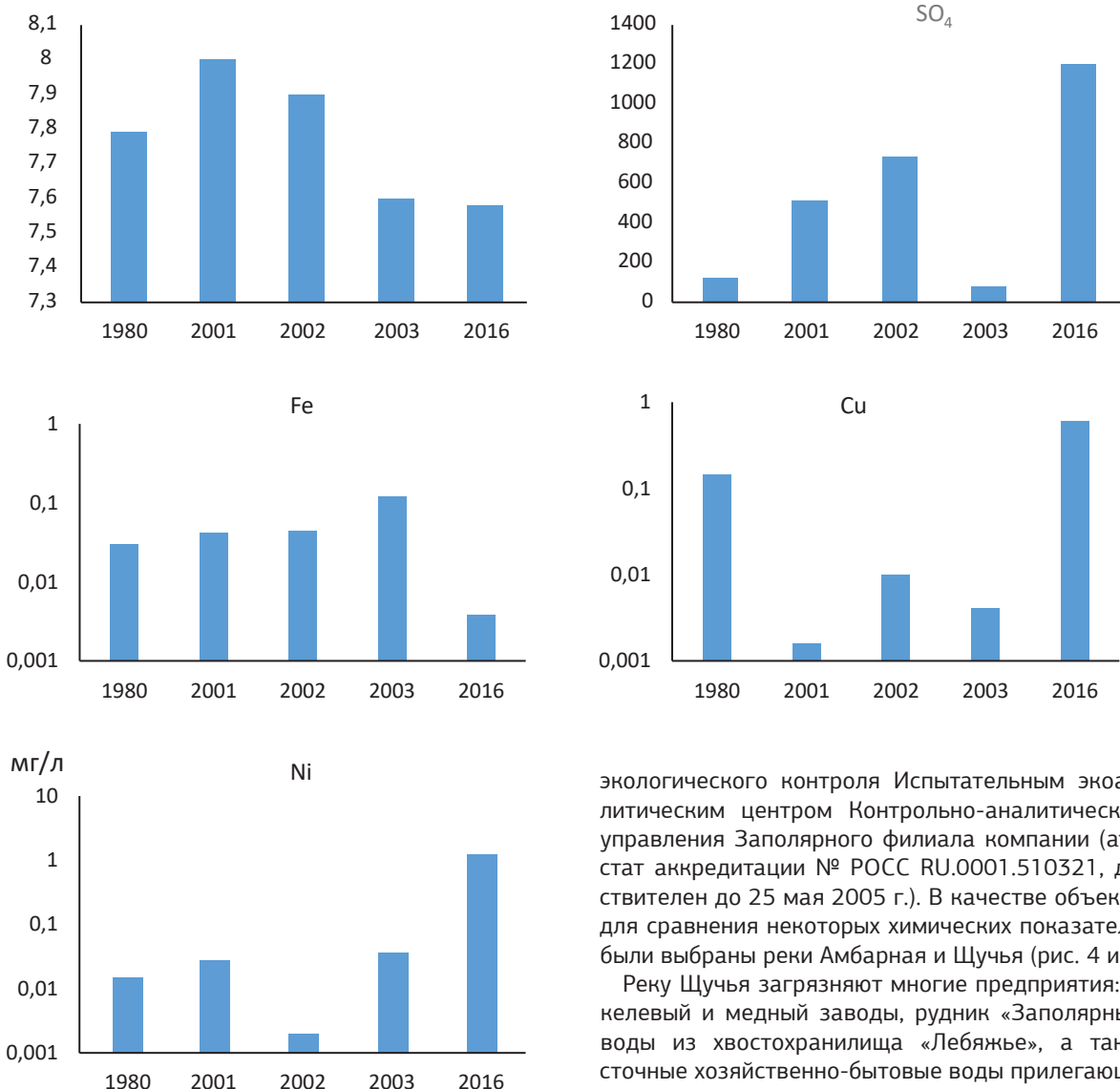


Рис. 4. Гистограммы pH, SO₄, Fe, Cu, Ni в реке Амбарная за разные годы

Томулах (правого притока Норильской) можно судить по содержанию соединений Al (115 мкг/л), Mn (47,6 мкг/л), Cu (12,8 мкг/л), Zn (15,1 мкг/л).

Изменение некоторых показателей химического состава речных вод за 1980, 2001—2003 и 2016 гг.

В период с 1980 по 2003 гг. измерения гидрохимических показателей водных объектов Норило-Пясинской системы велись по единой стандартной методике. Наблюдения за загрязнением водных объектов проводилось на стационарных пунктах. Пробы воды отбирались на 15 пунктах по большому количеству химических показателей [17]. Для сравнительного анализа современного состояния химического состава вод были взяты 1980, 2001, 2002, 2003 и 2016 гг. Гидрохимические данные о реках за 2003 г. получены в процессе производственного

экологического контроля Испытательным экоаналитическим центром Контрольно-аналитического управления Заполярного филиала компании (аттестат аккредитации № РОСС RU.0001.510321, действителен до 25 мая 2005 г.). В качестве объектов для сравнения некоторых химических показателей были выбраны реки Амбарная и Щучья (рис. 4 и 5).

Реку Щучья загрязняют многие предприятия: никелевый и медный заводы, рудник «Заполярный», воды из хвостохранилища «Лебяжье», а также сточные хозяйственно-бытовые воды прилегающих предприятий. С 1980 по 2016 гг. pH снизился с 7,8 до 7,6. Концентрация сульфатов была высокой в 2002 и 2016 гг., что непосредственно связано с тенденцией выбросов загрязняющих веществ (см. рис. 1). Концентрации ионов железа были ниже предельно допустимых за исключением 2003 г. Концентрации ионов меди превысили предельно допустимые в 1980 и 2016 гг. в сотни раз, с 2001 по 2003 гг. — в разы и десятки раз. Концентрации ионов никеля в 1980, 2001 и 2003 гг. превысили предельно допустимые в несколько раз, в 2016 г. — в сотни раз.

Река Амбарная в отличие от Щучьей в меньшей степени подвержена влиянию предприятий за исключением разработки угольного месторождения в районе поселка Кайеркан. Концентрация сульфатов за рассмотренные годы была высокой в 2001 и 2016 гг. Это напрямую связано с выбросами загрязняющих веществ (см. рис. 1). С 1994 по 2001 гг. произошло увеличение выбросов, с 2002 по 2014 гг. наблюдалось устойчивое снижение, с 2015 г. отмечен дальнейший рост, что непосредственно сказалось на концентрации сульфатов в речной воде.

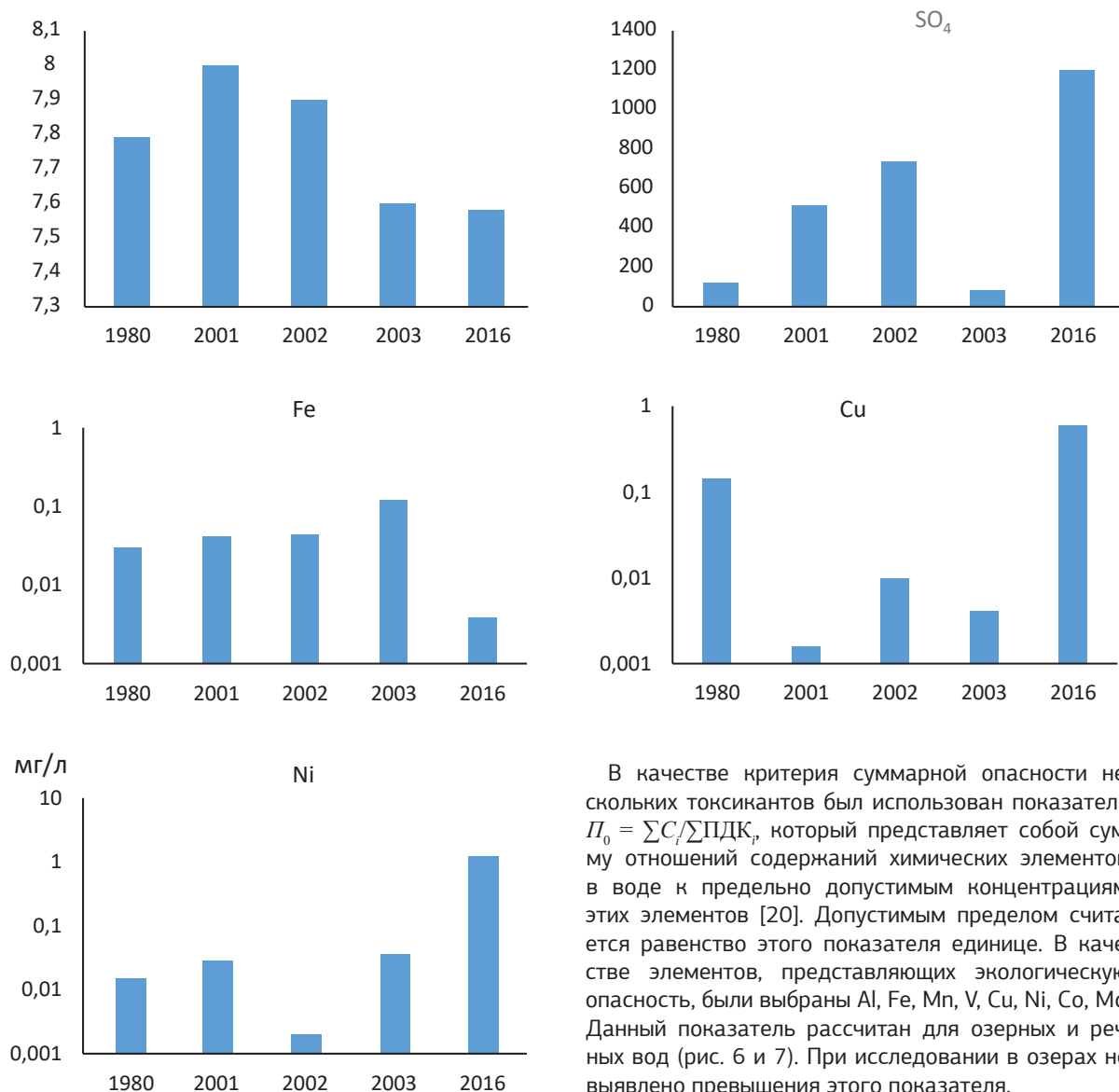


Рис. 5. Гистограммы pH, SO₄, Fe, Cu, Ni в реке Щучья за разные годы

Концентрации ионов меди за все годы превышали ПДК. Концентрации ионов железа за исключением 1980 г. были ниже ПДК.

Оценка индекса токсичности вод

Многие металлы, содержащиеся в природных объектах, способны вовлекаться в биогеохимические циклы и накапливаться в живых организмах, а также оказывать прямое токсическое действие и обуславливать отдаленные негативные последствия [3]. Важной особенностью металлов как элементов загрязнения является то, что после попадания в окружающую среду их потенциальная токсичность и биодоступность в большой степени определяются формой их нахождения. В то же время может наблюдаться суммарное воздействие группы металлов, способное создавать токсичные условия для обитателей вод [17; 18].

В качестве критерия суммарной опасности нескольких токсикантов был использован показатель $P_0 = \sum C_i / \sum ПДК_i$, который представляет собой сумму отношений содержаний химических элементов в воде к предельно допустимым концентрациям этих элементов [20]. Допустимым пределом считается равенство этого показателя единице. В качестве элементов, представляющих экологическую опасность, были выбраны Al, Fe, Mn, V, Cu, Ni, Co, Mo. Данный показатель рассчитан для озерных и речных вод (рис. 6 и 7). При исследовании в озерах не выявлено превышения этого показателя.

В реках Щучья, Далдыкан, Купец, Новая Наледная и Талнах отмечено значительное превышение P_0 . Это в первую очередь связано с тем, что около 95% сброса загрязненных стоков приходится на бассейны рек, расположенных в непосредственной близости к промышленным предприятиям, а именно Щучьей, Купца, Новой Наледной, Далдыкана и Талнаха.

Следует отметить, что ни ПДК, ни указанный критерий не учитывают возможного влияния одного вещества на токсичность другого, т. е. оно может быть как положительным, так и отрицательным. Хотя эти показатели законодательно утверждены, к ним нужно относиться с некоторой долей критики.

Заключение

Анализ антропогенного воздействия на водные объекты Норильского промышленного района позволил оценить особенности формирования химического состава озерных и речных вод в импактной и буферной зонах. Установлено, что пять из семи озер в импактной зоне относятся к сульфатно-кальциевой группе, тогда как

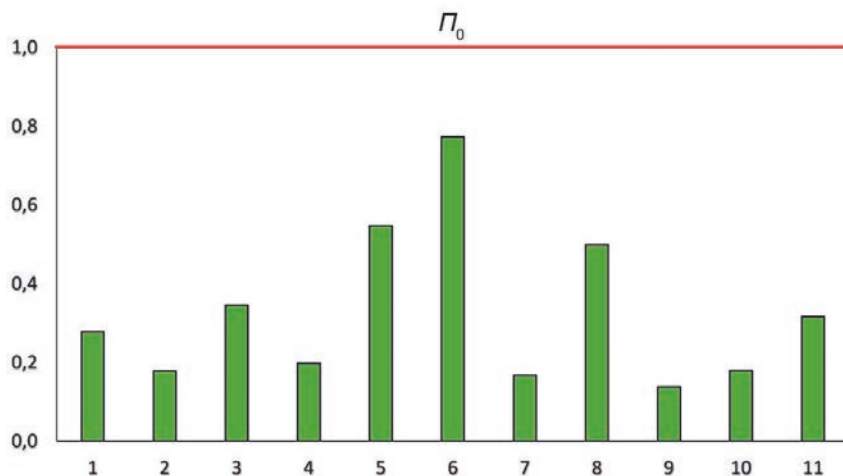


Рис. 6. Критерий суммарной опасности нескольких токсикантов для озерных вод НПР

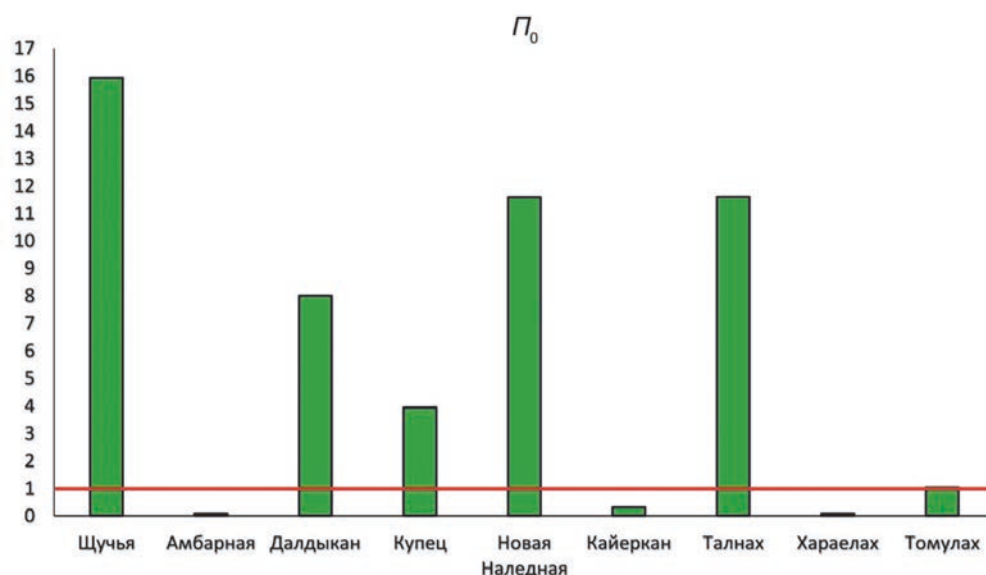


Рис. 7. Критерий суммарной опасности нескольких токсикантов для речных вод НПР

два — к гидрокарбонатно-кальциевой. В буферной зоне воды озера 4 являются гидрокарбонатно-кальциевыми. В озерах на участке Норильск — Дудинка воды относятся к гидрокарбонатно-кальциевым и сульфатно-кальциевым группам.

Характеристика микроэлементного состава вод позволила выявить в некоторых озерах повышенные по сравнению с другими концентрации меди, никеля, марганца, стронция, кобальта, молибдена, которые обусловлены совокупным воздействием антропогенной нагрузки и ландшафтными особенностями региона, а именно наличием заболоченных участков. В некоторых реках в современный период отмечено значительное увеличение концентрации меди и никеля, несмотря на сокращение выбросов в течение десятилетнего периода.

Анализ экотоксикологического состояния водных объектов позволил установить, что самые высокие значения рассчитанного индекса токсичности характерны для объектов, расположенных

в импактной зоне, что свидетельствует о подверженности водных систем экологическим рискам.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № 15-29-06948).

Литература

1. Сайт Федеральной службы государственной статистики. — URL: <http://www.gks.ru>.
2. Ресурсы поверхностных вод СССР. — Т. 16: Ангаро-Енисейский район. — Вып. 1: Енисей. — Л.: Гидрометеиздат, 1973.
3. Додин Д. А., Батуев Б. Н. Атлас пород и руд Норильских медно-никелевых месторождений. — Л.: Недра, 1971. — 560 с.
4. Кунилов В. Е. Минерально-сырьевая база АО «Норильский комбинат» — состояние и проблемы развития // Недра Таймыра: Сборник научных трудов. — Вып. 2. — Норильск: ВСЕГЕИ, 1997. — С. 160—173.

5. Сайт компании «Норильский никель». — URL: <http://www.nornik.ru>.
6. Сайт АО «Норильскгазпром». — URL: <http://www.ngaz.ru>.
7. Инвестиционная стратегия муниципального образования город Норильск до 2030 года. — URL: http://norilsk-city.ru/files/2/26039/investicionnaya_strategiya.pdf.
8. AMAP — Arctic Pollution: Persistent Organic Pollutants, Heavy Metals, Radioactivity, Human Health, Changing Pathways / Arctic Monitoring and Assessment Programme (AMAP). — Oslo, 2002. — 112 p.
9. Гурский Ю. Н. Анализ экологических проблем Российского Севера на примере комплексного геолого-геохимического изучения Норило-Пясиной водной системы // Развитие минерально-сырьевой базы Сибири: от В. А. Обручева, М. А. Усова, Н. Н. Урванцева до наших дней: Материалы Всероссийского форума с международным участием. — Томск, 2013. — С. 479—482.
10. Моисеенко Т. И., Базова М. М. Закисление вод и его влияние на содержание элементов в природных водах Кольского Севера // Геохимия. — 2016. — № 1. — С. 126—140.
11. Савченко В. А. Экологические проблемы Таймыра. — М.: СИП РИА, 1998. — 194 с.
12. Красноярский край: Официальный портал. — URL: <http://www.krskstate.ru/80>.
13. Евсеев А. В., Красовская Т. М. Эколого-географические особенности природной среды районов Крайнего Севера России. — Смоленск: Изд-во СГУ, 1996. — 232 с.
14. Моисеенко Т. И. Закисление вод: факторы, механизмы и экологические последствия. — М.: Наука, 2003. — 276 с.
15. О роли подземного питания в стоке р. Норильской // Известия Новосибирского отдела Географического общества СССР. — Вып. 2. — Новосибирск, 1958. — С. 14—20.
16. Заславская М. Б., Лапина Е. С. Техногенная трансформация химического состава водных объектов // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 5. География. — 2008. — № 3.
17. Ежегодные государственные доклады о состоянии и охране окружающей среды в Красноярском крае за 1980, 2001—2003 годы. — Красноярск.
18. Вернадский В. И. Биосфера и ноосфера. — М.: Наука, 1989. — 261 с.
19. Rauch J. N., Pacyna J. M. Earth's global Ag, Al, Cr, Cu, Fe, Ni, Pb, and Zn cycles // Global Biogeochem. Cycles. — 2009. — Vol. 23. — (GB2001).
20. Птицын А. Б. Теоретическая геохимия / Отв. ред. И. Д. Рябчиков. — Новосибирск: Академ.изд-во «Гео», 2006. — 180 с.

Информация об авторах

Базова Мария Михайловна, кандидат геолого-минералогических наук, научный сотрудник, Институт геохимии и аналитической химии им. В. И. Вернадского РАН (119991, Россия, ГСП-1, Москва, В-334, ул. Косыгина, д. 19), e-mail: mm.bazova@yandex.ru.

Кошевой Денис Владиславович, аспирант, младший научный сотрудник, Институт геохимии и аналитической химии им. В. И. Вернадского РАН (119991, Россия, ГСП-1, Москва, В-334, ул. Косыгина, д. 19), e-mail: prov.11@mail.ru.

Библиографическое описание данной статьи

Базова М. М., Кошевой Д. В. Оценка современного состояния качества вод Норильского промышленного района // Арктика: экология и экономика. — 2017. — № 3 (27). — С. 49—60. DOI 10.25283/2223-4594-2017-3-49-60.

THE ASSESSMENT OF THE CURRENT STATE OF WATER QUALITY IN THE NORILSK INDUSTRIAL REGION

Bazova M. M., Koshevoi D. V.

V. I. Vernadsky Institute of Geochemistry and Analytical Chemistry of RAS (Moscow, Russian Federation)

Abstract

The nature of the Norilsk industrial region (NIR) is vulnerable to mining and metallurgical industry waste. A large amount of waste enters water bodies located on the territory of the NIR, therefore the investigation of the quality of water bodies surrounding the industrial zone is a very important task for the protection of the environment. The main pollutants of reservoirs are heavy metals and their compounds. The article gives an assessment of water quality, based on the study of the chemical and microelement composition of lake and river water. The ecotoxicological state of the investigated lakes and rivers has been analyzed.

Keywords: small lakes, rivers, water quality, heavy metals, sulfur dioxide, mining and metallurgical enterprises.

This work was supported by the Russian Foundation for Basic Research (grant № 15-29-06948).

References

1. Sayt Federalnoy sluzhby gosudarstvennoy statistiki. [The website of the Federal Service of State Statistics]. Available at: <http://www.gks.ru>.
2. Resursy poverkhnostnykh vod SSSR. T. 16: Angaro-Eniseyskiy rayon. Vyp. 1. Enisey. [Surface water resources of the USSR. Vol. 16. Angara-Yenisei region. Issue 1. The Yenisei]. Leningrad, Gidrometeoizdat, 1973. (In Russian).
3. Dodin D. A., Batuyev B. N. Atlas porod i rud Norilskikh medno-nikelevykh mestorozhdeniy. [Atlas of rocks and ores of the Norilsk copper-nickel deposits]. Leningrad, Nedra, 1971, 560 p. (In Russian).
4. Kunilov V. E. Mineralno-syryevaya baza AO "Norilskiy kombinat" — sostoyaniye i problemy razvitiya. [Mineral and raw materials base of JSC "Norilsk Combine" — state and development problems]. Nedra Taymyra: Sbornik nauchnykh trudov. Vyp. 2. Norilsk, VSEGEI, 1997, pp. 160—173. (In Russian).
5. Sayt kompanii "Norilskiy nikel". [The website of Norilsk Nickel]. Available at: <http://www.nornik.ru>.
6. Sayt AO «Norilskgazprom» [The website of "Norilsk-gazprom"]. Available at: <http://www.ngaz.ru>.
7. Investitsionnaya strategiya munitsipalnogo obrazovaniya gorod Norilsk do 2030 goda. [Investment strategy of the municipal entity of the city of Norilsk until 2030]. Available at: http://norilsk-city.ru/files/2/26039/investitsionnaya_strategiya.pdf. (In Russian).
8. AMAP — Arctic Pollution: Persistent Organic Pollutants. Heavy Metals. Radioactivity. Human Health. Changing Pathways. Arctic Monitoring and Assessment Programme (AMAP). Oslo, 2002, 112 p.
9. Gurskiy Yu. N. Analiz ekologicheskikh problem Rossiyskogo Severa na primere kompleksnogo geologo-geokhimicheskogo izucheniya Norilo-Pyasinskoy vodnoy sistemy. [Analysis of environmental problems in the Russian North using the example of a comprehensive geological and geochemical study of the Norilo-Pyasina water system]. Razvitiye mineralno-syryevoy bazy Sibiri: ot V. A. Obrucheva. M. A. Usova. N. N. Urvantseva do nashikh dney. Materialy Vserossiyskogo foruma s mezhdunarodnym uchastiyem. Tomsk, 2013, pp. 479—482. (In Russian).
10. Moiseyenko T. I., Bazova M. M. Zakisleniye vod i ego vliyaniye na sodержaniye elementov v prirodnykh vodakh Kolskogo Severa. [The acidification of water and its influence on the content of elements in the natural waters of the Kola North]. Geokhimiya, 2016, no. 1, pp. 126—140. (In Russian).
11. Savchenko V. A. Ekologicheskiye problemy Taymyra. Moscow, SIP RIA, 1998, 194 p. (In Russian).
12. Krasnoyarskiy kray. Ofitsialnyy portal. [Official portal of the Krasnoyarsk Territory]. Available at: <http://www.krskstate.ru/80>.
13. Evseyev A. V., Krasovskaya T. M. Ekologo-geograficheskiye osobennosti prirodnoy sredy rayonov Kraynego Severa Rossii. [Ecological and geographical features of the natural environment of the Far North regions of Russia]. Smolensk, Izd-vo SGU, 1996, 232 p. (In Russian).
14. Moiseyenko T. I. Zakisleniye vod: faktory, mekhanizmy i ekologicheskiye posledstviya. Moscow, Nauka, 2003, 276 p. (In Russian).
15. O roli podzemnogo pitaniya v stoke r. Norilskoy. [On the role of underground food in the river The Norilsk]. Izvestiya Novosibirskogo otdela Geograficheskogo obshchestva SSSR. Vyp. 2. Novosibirsk, 1958, pp. 14—20. (In Russian).
16. Zaslavskaya M. B., Lapina E. S. Tekhnogennaya transformatsiya khimicheskogo sostava vodnykh ob'ektov. [Technogenic transformation of the chemical composition of water bodies]. Vestn. Mosk. un-ta, Ser. 5, Geografiya, 2008, no. 3. (In Russian).
17. Ezhegodnyye gosudarstvennyye doklady o sostoyanii i okhrane okruzhayushchey sredy v Krasnoyarskom kraye za 1980, 2001—2003 gody. [Annual state reports on the condition and protection of the environment in the Krasnoyarsk Territory for 1980, 2001—2003]. Krasnoyarsk. (In Russian).
18. Vernadskiy V. I. Biosfera i noosfera. [Biosphere and noosphere]. Moscow, Nauka, 1989, 261 p. (In Russian).
19. Rauch J. N., Pacyna J. M. Earth's global Ag. Al. Cr. Cu. Fe. Ni. Pb. and Zn cycles. Global Biogeochem. Cycles, 2009, Vol. 23. (GB2001).
20. Ptitsyn A. B. Teoreticheskaya geokhimiya. [Theoretical Geochemistry]. Edited I. D. Ryabchikov. Novosibirsk, Academic Publishing House "Geo", 2006, 180 p. (In Russian).

Information about the authors

Bazova Maria Mikhailovna, Ph.D. (Geology, Mineralogy), researcher, V. I. Vernadsky Institute of Geochemistry and Analytical Chemistry of RAS (19, Kosygin St., GSP-1, Moscow, 119991, Russia), e-mail: mm.bazova@yandex.ru.

Koshevoi Denis Vladislavovich, postgraduate student, junior researcher, V. I. Vernadsky Institute of Geochemistry and Analytical Chemistry of RAS (19, Kosygin St., GSP-1, Moscow, 119991, Russia), e-mail: prov.11@mail.ru.

Bibliographic description

Bazova M. M., Koshevoi D. V. The assessment of the current state of water quality in the Norilsk industrial region. The Arctic: ecology and economy, 2017, no. 3 (27), pp 49—60. (In Russian). DOI 10.25283/2223-4594-2017-3-49-60.