

На правах рукописи



Галахина Наталия Евгеньевна

ОЦЕНКА ВОЗДЕЙСТВИЯ ТЕХНОГЕННЫХ ВОД ПРЕДПРИЯТИЯ
ЖЕЛЕЗОРУДНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ НА СИСТЕМУ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ
СЕВЕРНОЙ КАРЕЛИИ С УЧЕТОМ ПРИРОДНЫХ УСЛОВИЙ

Специальность – 03.02.08 Экология (химия)

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени

кандидата химических наук

Петрозаводск– 2018

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном учреждении науки «Институт водных проблем Севера Карельского научного центра РАН» в лаборатории гидрохимии и гидрогеологии

Научный руководитель: доктор химических наук, старший научный сотрудник
Лозовик Петр Александрович

Научный консультант: доктор химических наук, профессор
Фрумин Григорий Тевелевич

Официальные оппоненты: **Кремлева Татьяна Анатольевна**, доктор химических наук, федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Тюменский государственный университет», профессор кафедры органической и экологической химии

Никитин Олег Владимирович, кандидат географических наук, доцент, федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Казанский федеральный университет», доцент кафедры прикладной экологии

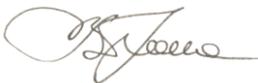
Ведущая организация: Институт проблем экологии и недропользования Академии наук Республики Татарстан, г. Казань

Защита состоится «18» апреля 2018 г. в 14.00 часов на заседании объединенного совета по защите диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук Д 999.097.02 на базе ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет», ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет» по адресу: 420015, г. Казань, ул. К. Маркса, 68, зал заседаний Ученого Совета (А-330).

С текстом диссертации можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технологический университет» и на сайте <http://www.kstu.ru/servlet/contentblob?id=173759>.

Автореферат разослан «___» _____ 2018 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
Д 999.097.02



Степанова
Светлана
Владимировна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. В настоящее время проблема воздействия промышленных предприятий на окружающую среду, в том числе и на водную, остается весьма актуальной. С одной стороны, наблюдается дефицит надежных универсальных методик оценки этого воздействия, а с другой – зачастую остаются невыясненными факторы, обуславливающие изменения состава воды в зоне техногенеза. Особенно это относится к предприятиям горнодобывающей промышленности. Для нее характерно существенное влияние на окружающую среду в связи с добычей полезных ископаемых, складированием вскрышных пород, проведением буровзрывных работ, созданием хвостохранилищ и наличием техногенных вод. Примером такого предприятия в Карелии является крупнейший на Северо-Западе России Костомукшский горно-обогатительный комбинат (ГОК) (АО «Карельский окатыш»), функционирующий с 1982 г. Основным направлением деятельности комбината является добыча и переработка железистых кварцитов Костомукшского, а в последние годы – и Корпангского месторождений в высококачественное сырье – железорудные окатыши. Техногенное воздействие предприятия на водную среду привело к изменению гидрологического и гидрохимического режимов ряда водных объектов, находящихся в зоне его влияния. В то же время негативное влияние предприятия может ослабляться действием природных факторов, в результате чего снижается антропогенная нагрузка на водные объекты.

Наряду с указанными выше аспектами немаловажным является достоверная оценка последствий влияния горнодобывающей промышленности на водную среду. В настоящее время разработано большое число методических подходов к выявлению загрязнения водных объектов. Однако, насколько они применимы для водоемов, находящихся в зоне действия предприятий горнодобывающей железорудной промышленности, остается неясным. Поэтому актуальным является сравнение и анализ на примере конкретных водных объектов и установление наиболее объективных методов оценки их состояния и загрязненности.

Цель работы заключалась в оценке влияния предприятий железорудной промышленности на водную среду с учетом природных и техногенных факторов формирования вод и в разработке нормативов допустимого сброса техногенных вод на примере Костомукшского ГОК (Республика Карелия).

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

1. Обобщение и анализ многолетней (1970-2012 гг.) гидрохимической информации по техногенным водам Костомукшского ГОК и их водоприемникам;
2. Анализ и обобщение различных методических подходов оценки загрязненности водной среды применительно к водным объектам, подверженным влиянию предприятий горнодобывающей железорудной промышленности;
3. Оценка поступления веществ в воду в результате выщелачивания руды Костомукшского и Корпангского месторождений и степени токсичности техногенных вод Костомукшского ГОК;
4. Обоснование возможности минимизации негативного воздействия Костомукшского ГОК на окружающую среду;
5. Разработка методики нормирования допустимого сброса техногенных вод с учетом их объема и степени загрязнения;
6. Усовершенствование методики определения сульфатов с BaCl_2 и сульфазо III.

Объектом исследования являются техногенные воды Костомукшского ГОК и водные объекты севера Карелии – система р. Кенти и оз. Ср. Куйто, находящиеся в зоне его влияния.

Предметом исследования является состояние водных объектов, находящихся под влиянием Костомукшского ГОК.

Методология и методы исследования. В работе использованы литературные сведения по оценке загрязненности вод, а также многолетние гидрохимические данные по водным объектам района Костомукши и собственные опыты по моделированию состава и токсичности техногенных вод горно-обогатительного комбината. Химические анализы воды выполнялись по аттестованным методикам в лаборатории гидрохимии и гидрологии ИВПС КарНЦ РАН, аккредитованной в системе аккредитации аналитических лабораторий России.

Положения, выносимые на защиту:

- Установленные физико-химические процессы и природно-техногенные факторы, обуславливающие формирование и изменчивость состава воды зоны техногенеза и водоприемников техногенных вод горно-обогатительного комбината.
- Обоснованная методика оценки загрязненности водных объектов с использованием региональных ПДК.
- Мероприятия по снижению негативного влияния Костомукшского ГОК на окружающую среду.
- Методика нормирования допустимого сброса сточных вод с учетом их объема и степени загрязнения.

Научная новизна исследования заключается в следующем: 1) выявлены природно-техногенные факторы и физико-химические процессы, обуславливающие формирование воды зоны техногенеза и водоприемников техногенных вод горно-обогатительного комбината; 2) установлено, что наиболее объективную оценку загрязненности водоемов дает методика, учитывающая региональный фон элементов и их ПДК для рыбохозяйственных водоемов; 3) предложены мероприятия по снижению токсического действия техногенных вод (разбавление их природными водами и добавление солей Са и Mg); показано, что внедрение флотационного дообогащения магнетитового концентрата на Костомукшском ГОК приведет к негативным экологическим последствиям; 4) разработана методика нормирования допустимого сброса сточных вод, учитывающая их объем и степень загрязнения.

Теоретическая значимость работы. Установлено, что наиболее объективную оценку загрязненности воды дает методика, учитывающая региональный фон элементов и их ПДК для рыбохозяйственных водоемов; предложен простой метод оценки количества загрязненных вод, учитывающий региональный индекс загрязненности воды и объем стока из водного объекта. Выявлены приоритетные загрязняющие вещества техногенных вод Костомукшского ГОК и впервые описаны геохимические процессы формирования вод зоны его техногенеза.

Практическая значимость работы заключается в том, что обоснованные методики оценки загрязненности воды и нормирования допустимого сброса сточных вод позволяют объективно охарактеризовать экологическое состояние водоемов, упростить систему нормирования и расчет платы за сброс сточных вод.

Соответствие диссертации паспорту научной специальности. Диссертация соответствует паспорту специальности 03.02.08 Экология (химия) согласно разделу прикладная экология – исследование влияния антропогенных факторов на экосистемы различных уровней с целью разработки экологически обоснованных норм воздействия хозяйственной деятельности человека на живую природу; исследования физико-химических аспектов оценки и регулирования антропогенного воздействия на живую природу; за разработку методов анализа и технологических решений, обеспечивающих предотвращение загрязнения природной среды и минимизацию воздействия химических производств на окружающие экосистемы.

Степень достоверности результатов. Достоверность результатов обеспечивалась использованием современных методов анализа и обработки результатов, выполненных в соответствии с действующей нормативной документацией (ГОСТ, РД, ПНД Ф и др.), проверкой их на воспроизводимость, а также отсутствием противоречий с теми сведениями, которые были известны ранее.

Апробация работы. Основные материалы диссертационной работы представлены и обсуждены на Всероссийской конференции с международным участием «Северные территории России: проблемы и перспективы развития» (Архангельск, 2008), научно-практической конференции с международным участием «Современные фундаментальные проблемы гидрохимии и мониторинга качества поверхностных вод России» (Азов, 2009; Ростов-на-Дону, 2015), I-ом региональном семинаре «Связь образования и науки в подготовке новых кадров» (Петрозаводск, 2009), III, V и VI Всероссийских конферен-

циях с международным участием «Экологические проблемы Северных регионов и пути их решения» (Апатиты, 2010, 2014), IV-ой Школе-конференции молодых ученых с международным участием «Водная среда и природно-территориальные комплексы: исследование, использование, охрана» (Петрозаводск, 2011), 64-ой научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Науки о Земле: задачи молодых» (Петрозаводск, 2012), научно-практической конференции, посвященной 80-летию ЕГФ КГПА (Петрозаводск, 2012), конференции «Химия – 2013. Физическая химия. Аналитическая химия. Нанохимия. Теория, эксперимент, практика, преподавание» (Москва, 2013).

Личный вклад автора. Анализ литературных данных, сбор и обработка гидрохимической информации, экспериментальные исследования по выщелачиванию руды и биотестированию техногенных вод, а также усовершенствование методики определения сульфатов и выполнение химических анализов по определению pH, электропроводности, цветности, концентрации O_2 , CO_2 , HCO_3^- и SO_4^{2-} выполнены лично автором. Постановка цели и задач исследования, интерпретация и анализ полученных результатов, формулирование основных выводов диссертационной работы проведены совместно с научным руководителем.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 16 работ, из них 5 статей в рецензируемых журналах, рекомендованных ВАК.

Структура и объем работы. Работа состоит из введения, 5 глав, заключения и списка литературы. Диссертация изложена на 161 странице, включая 36 рисунков и 54 таблицы. Библиографический список включает 163 источника.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** обоснована актуальность выбранной темы исследования, сформулированы цель и задачи исследования, охарактеризована ее научная новизна, теоретическая и практическая значимость полученных результатов, даны сведения о методах исследования, а также обозначены выносимые на защиту положения.

Глава 1. Различные методические подходы к оценке загрязненности водных объектов с целью выявления антропогенного влияния на них (литературный обзор)

В главе выполнен анализ и обобщение материалов литературы по вопросу оценки состояния водных объектов с использованием различных методических подходов. Приведена краткая информация о крупнейших предприятиях горнодобывающей железорудной промышленности Европейской части России, среди которых Оленегорский и Ковдорский ГОК (Мурманская область), Михайловский ГОК (Курская область), Лебединский ГОК (Белгородская область) и Костомукшский ГОК (Карелия).

Глава 2. Объекты и методы исследования

Данная глава посвящена характеристике водных объектов севера Карелии, находящихся в зоне влияния Костомукшского ГОК. Кроме того, в ней описаны методики исследования, а также дана информация о методах химического анализа проб воды.

Для получения более надежных данных по содержанию сульфатов в исследуемых объектах усовершенствована методика их определения спектрофотометрическим методом с $BaCl_2$ и сульфоназо III, позволившая улучшить воспроизводимость градуировочных графиков и добиться сходимости результатов анализа с образцами внутреннего контроля и в рамках международного проекта «ICPWaters» (Intercomparison 1226).

Глава 3. Источники загрязнения и последствия влияния

Костомукшского горно-обогатительного комбината на окружающую среду

По существующей на ГОК технологии дробленая руда измельчается и в виде водной взвеси проходит через магнитные сепараторы. После отделения железорудного концентрата оставшаяся взвесь перекачивается в хвостохранилище, которое сформировано на основе оз. Костомукшское путем намыва дамбы в истоке из него р. Кенти. Хвостохранилище используется для оборотного водоснабжения комбината, а также для захоронения отходов производства (хвостов).

Костомукшский ГОК оказывает существенное техногенное влияние на окружающую среду. К источникам загрязнения воздушной и водной среды относятся выбросы в атмосферу, а также техногенные воды (Поверхностные воды..., 2001) и отвалы вскрышных пород.

Газовые и пылевидные выбросы в атмосферу

Среди загрязняющих веществ, поступающих в атмосферу Республики Карелия от предприятий горнодобывающей промышленности, подавляющая доля (97%) приходится на Костомукшский ГОК. В выбросах комбината в атмосферу (50,5 млн. т/год) преобладает SO_2 (75-77%), образующийся в процессе обжига железной руды, на втором месте находятся твердые вещества (14-18%), затем следуют оксиды азота и углерода (3-5%) и прочие вещества (<1%) (Государственный доклад..., 2009). Влияние Костомукшского ГОК по данным анализов снеговых вод наиболее значительно проявляется в радиусе до 3 км и ограничивается радиусом 30-50 км (Feoktistov, Lazareva, 1994).

Количество пылевидных выбросов, образующихся за счет буровзрывных работ, транспортировке руды и вскрышных пород и намыве дамбы, оценить невозможно, но по данным (Фадеева, 2001) их влияние по лесной растительности прослеживается до 15 км от ГОК, где осаждаются основная масса пылевидных частиц. Слабое загрязнение ими наблюдается на расстоянии до 34 км от комбината.

Техногенные воды

К техногенным водам относятся рудничные воды, которые накапливаются в карьерах и откачиваются из них в хвостохранилище на Костомукшском месторождении, а на Корпангском поступают в р. Полвиярвийоки (бассейн оз. В. Куйто), а также вода хвостохранилища и вода, фильтрующаяся через тело плотины (фильтрационная вода) и через отвалы вскрышных пород. Что касается отводных каналов (южного и северо-западного), которые построены для отведения вод с водосбора хвостохранилища, то они являются не источником техногенных вод, а их приемниками.

Техногенные воды выделяются очень высокой минерализацией ($\Sigma_{и}$) и аномальным соотношением главных катионов. $\Sigma_{и}$ в рудничные воде достигает в среднем 1500 мг/л (рисунок 1).

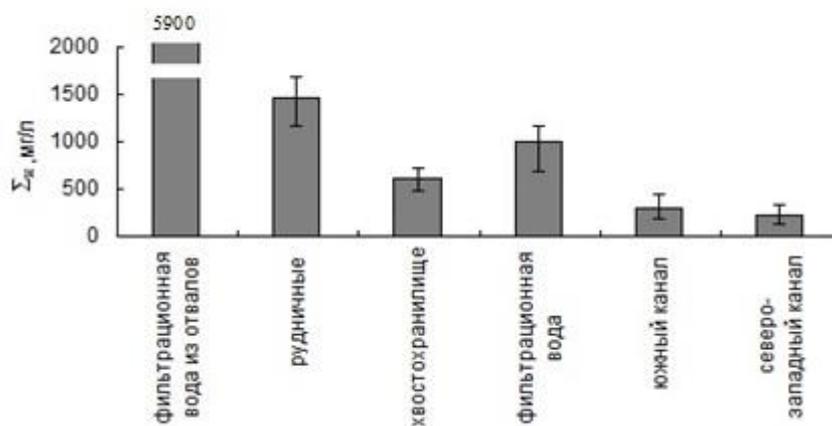


Рисунок 1 – Минерализация техногенных вод и отводных каналов

В воде хвостохранилища $\Sigma_{и}$ достигает 650 мг/л. Вода хвостохранилища относится к необычному сульфатно-калиевому типу, который в природе не встречается. Вода южного канала, как и фильтрационная вода, относится к сульфатному классу группы Ca, Mg, а северо-западного – к сульфатно-магниевому типу. Такое различие связано с влиянием различных техногенных источников на состав их воды. В северо-западный канал поступают воды, фильтрующиеся через отвалы вскрышных пород, в ионном составе которых преобладают сульфаты и магний, а в южный канал – воды, фильтрующиеся через тело плотины.

Для техногенных вод Костомукшского ГОК, за исключением фильтрационных вод, характерно высокое содержание азотсодержащих веществ, среди которых преобладают нитраты, достигающие в последние годы 9,3 мгN/л в воде хвостохранилища и 39,0 мгN/л в рудничной воде центрального карьера. В этих водах отмечается и высокое содержание $N_{орг}$ (4,1 – 21,7 мг/л) за счет наличия 2,4,6-тринитротолуола и продуктов его распада. Концентрация

2,4,6-тринитротолуола достигает 4 мг/л (8ПДК) в рудничной воде и 1 мг/л (2ПДК) в воде хвостохранилища.

В ряде случаев техногенные воды характеризуются очень высоким содержанием микроэлементов. При этом из всех вод в наибольшей степени выделяются рудничные воды (никель – 56 мкг/л, литий – 95 мкг/л, марганец – 1,23 мг/л, алюминий – 4,93 мг/л). В фильтрационной воде и в водоотводных каналах содержание микроэлементов повышено по сравнению с природным фоном, но оно ниже ПДК этих элементов для рыбохозяйственных водоемов.

На основании представленной характеристики техногенных вод Костомукшского ГОК можно сделать вывод о том, что к компонентам, определяющим их специфику, относятся, прежде всего, SO_4^{2-} , K^+ , NO_3^- , литий, никель, марганец, азоторганические соединения, а также минерализация воды и соотношение главных катионов.

Отвалы вскрышных пород

Горнодобывающая деятельность связана с образованием большого количества вскрышных пород и «хвостов» производства. Их средний объем на Костомукшском ГОК в 2007-2010 гг. составил 88,8 млн. т/год.

Минерализация в воде, фильтрующейся через отвалы, достигает 5900 мг/л, а содержание сульфатов – 3036 мг/л. Эти воды относятся к сульфатно-магниевым. В воде, фильтрующейся через отвалы, концентрация $\text{N}_{\text{орг}}$ составляет 36,6 мгN/л, содержание нитратов достигает 52,8 мгN/л, а в водоеме рядом с отвалом оно снижается до 34,2 мгN/л.

В кислой воде, фильтрующейся через отвалы (рН 4,7), наблюдается очень высокое содержание никеля (3,9 мг/л), лития (137 мкг/л), марганца (24,4 мг/л) и алюминия (29,2 мг/л), тогда как уже в поверхностном источнике вблизи отвалов (рН 6,9) концентрация Al резко снижается до 18 мкг/л за счет гидролиза его солей.

Изменение химического состава воды хвостохранилища за многолетний период

В результате превращения оз. Костомукшское в хвостохранилище произошло существенное изменение его гидрологического режима (Пальшин и др., 1994). Уровень воды в озере поднялся со 157,12 до 180,30 мБалтийской системы (июль 1993 г.), существенно увеличилась площадь зеркала (с 5,18 до 34,2 км²) и объем воды (с 0,017 до 0,430 км³). В результате строительства южного и северо-западного каналов площадь водосбора хвостохранилища уменьшилась со 142 км² до 68,4 км². Период условного водообмена увеличился с 0,23 года до 30 лет.

Весь временной промежуток наблюдений за оз. Костомукшским, а впоследствии хвостохранилищем, можно разделить на 3 периода: 1970-1978 гг. – до эксплуатации железорудного месторождения, когда водоем находился в естественном состоянии; 1984-1993 гг. – период выхода комбината на проектные показатели и эксплуатация хвостохранилища в бесбросовом режиме, ставшим причиной наполнения его до критической отметки; 1994 - настоящее время – период регулируемых попусков воды из хвостохранилища в систему р. Кенти.

В естественном состоянии оз. Костомукшское являлось мезогумусным водоемом, мало минерализованным, со слабокислой реакцией среды (таблица 1). По ионному составу вода относилась к гидрокарбонатному классу группы кальция. В воде озера отмечалось низкое содержание биогенных элементов и высокие концентрации железа, что является характерным для природных вод региона.

Таблица 1 – Некоторые показатели химического состава воды оз. Костомукшского (1970-78 гг.) и хвостохранилища (1984-2011 гг.)

Год исследования	K^+	SO_4^{2-}	$\Sigma_{\text{и}}$	рН	NH_4^+	NO_3^-	Классификация по Алекину
	мг/л				мгN/л		
1970-1978	0,8	2,5	21,1	6,5	0,11	0,006	HCO_3^- , Ca^{2+} , Mg^{2+}
1984	59	31,2	247	8,0	0,06	0,24	HCO_3^- , K^+
1987-1993	105	69,5	380	8,2	0,04	0,95	HCO_3^- , K^+
1994-2011	146	199	565	8,0	0,1	7,5	HCO_3^- , SO_4^{2-} , K^+ (1994-1998 гг.) SO_4^{2-} , HCO_3^- , K^+ (1998-2002 гг.) SO_4^{2-} , K^+ (2003-2011 гг.)

После ввода в эксплуатацию Костомукшского ГОК произошел рост минерализации воды хвостохранилища, продолжающийся в настоящее время (в 2011 г. $\Sigma_{и}$ составила 757 мг/л). В многолетнем плане отмечается увеличение концентрации всех ионов, особенно K^+ и SO_4^{2-} , при этом наблюдается снижение содержания гидрокарбонатов. Ионный состав воды хвостохранилища постепенно стал сульфатно-калиевым (таблица 1). Изменилось соотношение ионов щелочных металлов (Na^+/K^+) и щелочно-земельных к щелочным ($Ca^{2+}+Mg^{2+}/Na^++K^+$). В оз. Костомукшское эти соотношения равнялись 3,5 и 2,8, тогда как уже на начальном этапе эксплуатации хвостохранилища их значения снизились до 0,1 и 0,5 соответственно.

С превращением оз. Костомукшское в хвостохранилище в нем снизилось содержание органического вещества (ОВ). Величины перманганатной окисляемости и цветности в 1993 г. составили 3,2 мгО/л и 29 град. против 12,7 и 70 в 1978 г. соответственно. Связано это с увеличением поступления в водоем техногенных вод, отличающихся низким содержанием ОВ и уменьшением притока с водосборной территории.

В первые годы эксплуатации хвостохранилища в его воде резко увеличилось содержание $Fe_{общ}$ (6,9 мг/л), взвешенных веществ (до 112 мг/л) и $P_{общ}$ (220-380 мкг/л), что связано со взмучиванием естественных донных отложений, накопленных в оз. Костомукшское. В дальнейшем при аккумулировании пульпы, характеризующейся большой плотностью, на дне озера этот эффект утрачен и содержание взвеси и $Fe_{общ}$ уменьшилось к 1993 г. до 2,0 и 0,1 мг/л соответственно. Уменьшению содержания железа способствовало также снижение количества гумусовых веществ в воде хвостохранилища и повышение величины рН, которая в естественном состоянии водоема отвечала слабокислой реакции среды (рН 6,5), а в рассматриваемый период – слабощелочной (рН 8,0-8,2) (табл. 1). Причиной такого изменения рН стало увеличение концентрации HCO_3^- на начальном этапе эксплуатации хвостохранилища.

Наблюдается увеличение содержания нитратов, которое в последнее десятилетие стабилизировалось и стало относительно постоянным, но на высоком уровне (среднее значение за 2002-2011 г. составило 8,9 мгN/л), тогда как на начальном этапе эксплуатации хвостохранилища оно низким (в среднем 0,7 мгN/л).

Отмечается тренд роста содержания лития (от 55 в 1995 г. до 98 мкг/л в 2011 г.) и в меньшей степени никеля в пределах 5-20 мкг/л

Таким образом, в последнее десятилетие в воде хвостохранилища отмечается стабилизация ряда химических показателей (содержание NO_3^- , Ni), но продолжает расти концентрация K^+ , SO_4^{2-} , литий, а также наблюдается увеличение минерализации воды и уменьшение ее щелочности.

Изменение химического состава воды системы р. Кенти за многолетний период

Качество воды системы р. Кенти (рисунок 2) с вводом в строй Костомукшского ГОК существенно изменилось по сравнению с природным состоянием (таблица 2). Минерализация воды системы р. Кенти в естественном состоянии изменялась в пределах 20-25 мг/л. Ионный состав воды соответствовал гидрокарбонатному классу группы кальция, магния.



Рисунок 2 – Карта-схема системы р. Кенти, озер Верхнее и Среднее Куйто

Азот представлен в основном органической формой. Отмечалось невысокое содержание NH_4^+ и зачастую отсутствие NO_2^- и NO_3^- . Содержание железа находилось на региональном уровне. В период бесбросового режима эксплуатации хвостохранилища основное техногенное влияние приходилось на оз. Окуневое в результате поступления фильтрационных вод, что отразилось на повышении содержания минеральных компонентов, и в первую очередь ионов калия.

Начиная с 1994 г., основное техногенное влияние на систему р. Кенти стали оказывать попуски воды из хвостохранилища. Поступление техногенных вод еще в большей степени отразилось на химическом составе воды системы р. Кенти, прослеживается четкая аналогия с многолетними изменениями состава воды хвостохранилища.

Отмечается рост минерализации воды ($\Sigma_{\text{и}}$ в среднем изменяется в пределах от 450 в оз. Окуневое до 120 мг/л в оз. Кенто) и только в оз. Ср. Куйто ее значение не превышает 24 мг/л. На основании данных по средневзвешенному составу техногенных вод кратности их разбавления в системе р. Кенти в среднем составляют 1,5 для оз. Поппалиярви, 3 – оз. Койвас, 6 – оз. Кенто как по содержанию калия, так и по концентрации сульфатов. Оз. Ср. Куйто, в которое впадает р. Кенти, подвергается меньшему техногенному влиянию в связи с большим разбавляющим эффектом как за счет собственных водных масс, так и вод оз. В. Куйто, поступающих в устье р. Кенти. Кратность разбавления техногенных вод в оз. Ср. Куйто изменяется в пределах 60-100.

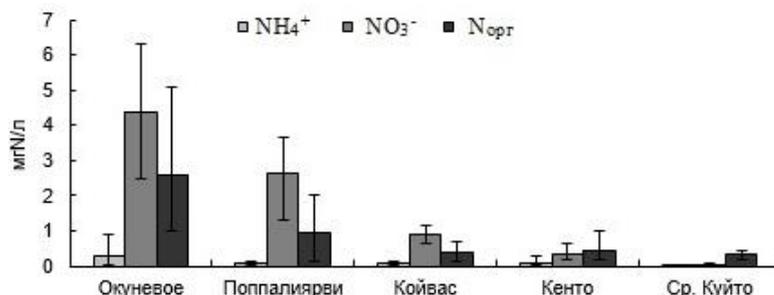
По ионному составу по всей системе имеется генетически близкий антропогенно измененный тип вод (вода верхних озер (Окуневое, Поппалиярви) относится к сульфатно-калиевому типу, нижних (Койвас, Кенто) – к сульфатно-калиево-кальциевому). Вода оз. Ср. Куйто вблизи устья р. Кенти соответствует гидрокарбонатному классу группы кальция, магния, т.е. природному типу вод.

Таблица 2 – Некоторые показатели химического состава воды системы р. Кенти в естественном состоянии (1977-1978 гг.) и в бесбросовом режиме эксплуатации хвостохранилища (1993 г.)

Озеро	1977-78 гг.					1993 г.				
	$\text{K}^+\text{+Na}^+$	SO_4^{2-}	$\Sigma_{\text{и}}$	NO_3^-	pH	K^+	SO_4^{2-}	$\Sigma_{\text{и}}$	NO_3^-	pH
	мг/л			мгN/л		мг/л			мгN/л	
Окуневое	1,2	5,3	24,5	0	6,6	49	153	361	0,32	7,4
Поппалиярви	2,0	7,0	23,7	0	6,6	11	43	99	0,33	7,2
Койвас	2,4	5,7	20,3	0	6,6	4	9	32	0,02	7,0

Для водоемов системы стало более характерным азотное загрязнение. Анализ среднеемноголетнего содержания нитратов позволил выявить закономерное уменьшение их концентраций от верхних озер системы к нижним (рисунок3).

Рисунок 3 – Концентрация азотсодержащих соединений в водоемах системы р. Кенти и оз. Ср. Куйто (2001-2010 гг.)



Расчеты средневзвешенного содержания нитратов показали совпадение их значений с наблюдаемыми для озер Окуневое, Поппалиярви и Койвас, а для оз. Кенто получено почти двукратное отличие этих показателей (0,64 мгN/л – расчетное и 0,35 мгN/л – наблюдаемое). Такое различие в содержании нитратов связано с их «утилизацией» в оз. Кенто. По-видимому, такая картина наблюдается и в оз. Койвас как малопроточном, но которая замаскирована разложением тринитротолуола с образованием нитратов. С использованием методики оценки трансформации лабильных веществ в озерных системах на примере лигносульфонатов (Лю-

зовик, Кулакова, 2013) получены кинетические параметры трансформации нитратов в системе р. Кенти по их химическому балансу в оз. Кенто. Установлено, что скорость трансформации составляет 0,27 мгN/л в год, период полупревращения 0,9 года, константа скорости – 0,77 год⁻¹. Благодаря процессам, протекающим в водах р. Кенти, снижается концентрация NO₃⁻ в оз. Кенто.

Микроэлементный состав, за исключением лития и никеля, полностью соответствует природным фоновым показателям. Концентрация лития от верхних к нижним озерам изменяется от 46 до 11 мкг/л, никеля – от 9,9 до 1,9 мкг/л.

Оценка загрязненности системы р. Кенти с использованием различных методических подходов

С использованием различных методических подходов осуществлена оценка загрязненности техногенных вод и системы р. Кенти. Методика (Былинкина и др., 1962) не позволяет в полной мере оценить состояние системы, поскольку из рекомендуемых в ней показателей используются только два химических (содержание аммония и БПК₅), которые не отражают загрязнение. Авторы (Оксиюк и др., 1993) используют только частные показатели, и в их методике нет интегрированной оценки качества воды и не учитываются геохимические особенности региона. В результате получается завышенная степень загрязненности вод (по цветности, Cu, Mn), которая связана с региональной спецификой.

В геоэкологии широко используются два показателя оценки загрязнения вод – геохимическая нагрузка, определяемая по фоновым концентрациям ($Z_C = \sum C_{набл}/C_{фон} - (n-1)$), и техногенная нагрузка, устанавливаемая по ПДК ($Z_T = \sum C_{набл}/ПДК_i - (n-1)$). Проблема здесь заключается в том, что для территорий с низкими фоновыми концентрациями ($C_{фон} \ll ПДК$) получается очень высокий уровень загрязнения по Z_C и весьма низкий по Z_T .

Расчеты по методикам Г.Т. Фрумина (1998) и Д.Г. Замолдчикова (1993) для каждого объекта системы дали близкие значения экологически допустимого уровня (ЭДУ) (таблица 3). Видно, что чем грязнее объект, тем может быть выше ЭДУ. Остается выбрать такую его величину, которая отвечает экологическому благополучию водного объекта по гидробиологическим показателям согласно работе В.А. Абакумова (1991). В полной мере классифицировать систему р. Кенти по его методике не представляется возможным, поскольку система больше подвержена минеральному загрязнению, а не органическому. В то же время можно выявить наибольшую трансформацию в зоопланктонном и зообентосном сообществах озер системы (Куликова, Калинин, 2007; Рябинкин, 1998). Существенные изменения их видового разнообразия отмечаются в верхних озерах системы и в оз. Койвас и состояние этих объектов в соответствии с методикой (Абакумов, 1991) можно отнести к антропогенному экологическому регрессу, тогда как в оз. Кенто и тем более в оз. Ср. Куйто изменения незначительные и эти водоемы можно принять за фоновые. В таком случае ЭДУ для оз. Кенто по K⁺ и SO₄²⁻ составляют в 2 раза, а по литию – в 6 раз, меньшие значения, чем их ПДК. Что касается оз. Ср. Куйто, то для него величины ЭДУ весьма низкие, на уровне показателей природных вод, и их вряд ли следует брать за основу.

Таблица 3 – Оценка загрязненности водных объектов системы р. Кенти и оз. Ср. Куйто по различным методикам

Водный объект	ЭДУ, рассчитанные по методикам						ГЭ по Иванову	Z _T
	Фрумина			Замолдчикова				
	K ⁺ , мг/л	SO ₄ ²⁻ , мг/л	литий, мкг/л	K ⁺ , мг/л	SO ₄ ²⁻ , мг/л	литий, мкг/л		
Хвостохранилище	162	266	93	173	294	114	162964	9,1
Оз. Окуновое	122	206	57	206	268	93	102730	6,8
Оз. Поппалаярви	67	137	33	90	181	44	58995	4,3
Оз. Койвас	33	73	19	49	113	25	28870	1,8
Оз. Кенто	22	43	14	31	64	19	21021	1,4
Оз. Ср. Куйто	2,2	5	6	4	6	9	7687	0,1

Значения биогеохимических порогов экологической толерантности, рассчитанных по методике С.А. Патины (1979), получились весьма низкие, на уровне фоновых концентраций: для K^+ – 1,9 мг/л, SO_4^{2-} – 10,1, никель – 3,3 мкг/л.

Гидроэкологичность (ГЭ) по В.В. Иванову (1994) получилась приблизительно в 15 тыс. раз больше, чем значения Z_T (таблица 3), и ГЭ есть ни что иное, как в несколько тысяч раз больший коэффициент техногенной нагрузки.

При расчете индексов качества вод по методике Т.И. Моисеенко (1998) установлено закономерное их снижение от верхних озер к нижним, что более реально отражает картину загрязнения вод. Поскольку основной вклад в величину суммарных индексов дает изменение физико-химических параметров (в нашем случае изменение минерализации), вряд ли следует считать, что этот индекс в полной мере отражает состояние водных объектов системы.

Методика Роскомгидромета (1986 г.) показала, что все водные объекты, за исключением оз. Окунево, относятся к «чистым» (таблица 4). При расчете регионального индекса загрязненности воды (РИЗВ), учитывающего региональные ПДК (РПДК), выявлена высокая степень загрязнения верхних озер системы и слабая – нижних, что согласуется и с данными гидробиологических наблюдений системы р. Кенти (Куликова, Калинин, 2007).

Таблица 4 – Индексы загрязненности воды системы р. Кенти и оз. Ср. Куйто по данным наблюдений 2009-2012 гг.

Объект	ИЗВ	РИЗВ	КИЗВ	УКИЗВ	КПЗ	КИЗВ	УКИЗВ	КПЗ
Хвостохранилище	1,7	16,7	77,2	5,5	2($Fe_{общ}$, марганец)	113,7	8,1	5(K^+ , SO_4^{2-} , NO_3^- , литий, никель)
Оз. Окунево	1,1	9,9	52,3	3,7	1(марганец)	87,2	6,2	5(K^+ , SO_4^{2-} , NO_3^- , марганец, литий)
Оз. Поппаллярви	0,8	6,6	44,1	3,2	1(марганец)	73,8	5,3	4(K^+ , SO_4^{2-} , NO_3^- , литий)
Оз. Койвас	0,4	3,0	25,1	1,8	0	46,9	3,4	2(K^+ , SO_4^{2-})
Оз. Кенто	0,4	2,0	36,5	2,6	1(марганец)	50,5	3,6	1(K^+)
Оз. Ср. Куйто	0,2	0,3	29,2	2,0	0	6,0	0,4	0

По методике (РД 52.24.643-2002) обнаружено загрязнение вод только марганцем, которое не связано с техногенным влиянием, а всего лишь отражает региональную специфику вод. Расчеты с учетом РПДК показали более реальную картину загрязненности воды системы р. Кенти и позволили выявить среди критических показателей загрязненности: K^+ , SO_4^{2-} , NO_3^- , никель и литий, являющиеся приоритетными показателями, отражающими специфику техногенных вод Костомукшского ГОК и его влияние на водную среду.

Расчеты $S_{при}$ по методике (Веницианова и др., 2015), выполненные для водных объектов района Костомукши и Калевальского района, не подверженных антропогенному воздействию, позволили получить результаты, совпадающие со значениями третьего квартиля распределения химических показателей в водных объектах и близкие к региональным фоновым концентрациям. Для K^+ , SO_4^{2-} , NO_3^- , никель и литий значения $S_{при}$ очень низкие, меньше ПДК, и вряд ли их можно использовать в качестве региональных допустимых.

Таким образом, анализ применимости различных методических подходов оценки загрязненности водной среды показал, что сравнение наблюдаемых концентраций веществ только с фоновыми или с ПДК является недостаточным. Необходимо также учитывать, как региональную специфику вод, так и безопасный уровень содержания химических соединений для гидробионтов. Методика, учитывающая как геохимический фон элемента, так и его ПДК для рыбохозяйственных водоемов, позволяет более надежно и объективно оценивать загрязненность водных объектов и выявлять последствия антропогенного влияния.

Глава 4. Физико-химические и геохимические процессы, обуславливающие поступление и миграцию химических веществ в водной среде при технологической переработке железной руды и складировании отходов производства

Минералогический состав руды

По литературным данным (Геология..., 1981; Горьковец, Раевская, 1992) и результатам минералогического анализа железной руды Костомукшского и Корпангского месторождений главными породообразующими минералами этих руд являются магнетит (до 45%), биотит (до 45%), кварц (21-32 %) и плагиоклаз (до 16%). Содержание пирита составляет 0,01-0,15 %.

Поступление веществ в воду в результате выщелачивания руды и сопутствующих пород

Проведены лабораторные опыты по выщелачиванию руды различных карьеров Костомукшского ГОК, имитировавшие выщелачивание компонентов при технологической переработке руды и после поступления отработанной пульпы в хвостохранилище и позволившие получить кумулятивные кривые накопления веществ и выделить 4 их типа (рисунок4).

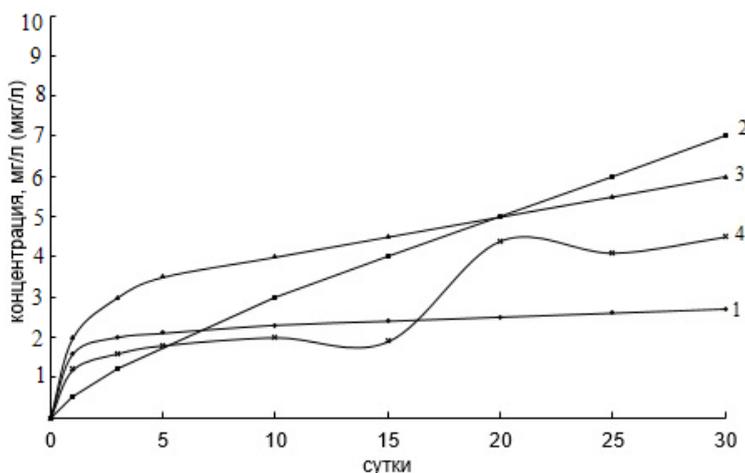


Рисунок 4 – Типы кривых выщелачивания: 1 - быстрое выщелачивание с достижением предельного значения в течение первых суток (NH_4^+ , NO_3^-); 2 - медленное почти линейное выщелачивание с большим временем достижения предельного значения (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Si); 3 - экспоненциальное выщелачивание и медленное достижение предельной концентрации (Na^+ , K^+ , SO_4^{2-} , HCO_3^- , $\Sigma_{\text{и}}$); 4 - волнообразное выщелачивание ($\text{Fe}_{\text{общ}}$, Mn , P)

Обработка второго и третьего типа кривых выщелачивания с использованием программного обеспечения Mathcad 2000 по кинетическому уравнению $C_t = C_{\infty}(1 - e^{-kt})$ позволила получить предельное значение концентрации, константу скорости выщелачивания, по которым рассчитана скорость выщелачивания $v = kC_{\infty}$ (таблица 5). Для руд из всех карьеров характерна максимальная скорость поступления K^+ и HCO_3^- . Для других минеральных компонентов получены сопоставимые между собой скорости выщелачивания.

Значения концентраций элементов, отвечающих предельному выщелачиванию, позволяют оценить поступление веществ из 1 т руды при ее технологической переработке и захоронении остатков в хвостохранилище. В среднем установлено, что поступление солей в воду хвостохранилища составляет около 25 мг/л в год, а K^+ – 3,9 мг/л, что близко к многолетнему тренду $\Sigma_{\text{и}}$ (22,5 мг/л в год) и концентрации K^+ (3,7 мг/л в год), начиная с 2001 г. В тоже время в изменении содержания SO_4^{2-} и HCO_3^- имеется определенная несогласованность между опытными данными и многолетней изменчивостью в воде хвостохранилища. Так, увеличение сульфатов по результатам опытов составляет 2,9 мг/л в год, многолетний тренд дает 20,7 мг/л, HCO_3^- – 12,0 и -1,8 мг/л в год соответственно.

Таблица 5 – Кинетические параметры выщелачивания веществ из образцов руды различных карьеров

Компонент	Западный		Центральный		Северный	
	C_{∞} , мг/л	v , ммоль/л в сутки	C_{∞} , мг/л	v , ммоль/л в сутки	C_{∞} , мг/л	v , ммоль/л в сутки
Ca^{2+}	5,4	35,3	30,1	187	16,6	32,0
Mg^{2+}	4,8	6,7	4,0	27,1	2,9	43,3
Na^+	2,3	61,1	8,9	9,4	1,9	30,0
K^+	27,9	113	18,2	693	11,2	79,0
HCO_3^-	51,0	288	66,6	197	74,4	121
SO_4^{2-}	6,4	15,0	24,9	12,2	9,9	4,3
$\Sigma_{\text{и}}$	144,7	340*	178,2	1072*	113,4	173*
Si	3,0	42,0	2,5	5,4	4,2	32,5

Примечание: * - ммоль-экв/л в сутки

По-видимому, основная причина несоответствия опытных и натуральных данных связана с тем, что в пульпе, сбрасываемой в хвостохранилище, происходит дальнейшее сульфатное выщелачивание. Образующаяся при этом серная кислота способствует снижению щелочности воды и увеличению концентрации SO_4^{2-} . Такую картину удалось наблюдать и в опытах с рудой западного карьера, когда к концу опытов резко возросло содержание сульфатов и уменьшилась щелочность воды.

С учетом того, что эксплуатация Костомукшского и Корпангского месторождений рассчитана еще на 35 лет, следует ожидать, что к 2050 г. минерализация воды хвостохранилища достигнет 1600 мг/л, а содержание K^+ – 300 мг/л, SO_4^{2-} – 1200 мг/л. При этом вода перейдет в новую геохимическую фазу, когда содержание ряда ионов в воде будет определяться уже растворимостью их солей в воде. Так, концентрация сульфатов будет ограничиваться растворимостью гипса в воде (2,0 г/л).

Изменение состава воды в результате действия природных и техногенных факторов

На основании анализа изменчивости состава техногенных вод и их водоприемников, а также результатов опытов по выщелачиванию компонентов из руды можно выделить следующие физико-химические процессы и природно-техногенные факторы, обуславливающие состав техногенных вод и их водоприемников:

1. Снижение минерализации, содержания лития и никеля по системе р. Кенти в результате разбавления техногенных вод за счет боковой приточности.

2. Сернокислотное выщелачивание, сопровождающееся образованием серной кислоты и, как следствие, увеличение концентрации сульфатов и уменьшение щелочности воды хвостохранилища и поступление тяжелых металлов и алюминия из вскрышных пород.

3. Нейтрализация кислых вод, фильтрующихся через отвалы вскрышных пород, на дневной поверхности гидролиз солей металлов, сопровождающийся уменьшением содержания тяжелых металлов и алюминия.

4. Преобладающее выщелачивание K^+ и SO_4^{2-} при технологической переработке руды и складировании отходов производства и, как следствие, формирование генетически близкого сульфатно-калиевого типа вод по системе р. Кенти, отличающегося повышенными щелочностью и рН воды.

5. Увеличение содержания алюминия в системе р. Кенти за счет поступления его со слабодокислыми водами с водосборной территории.

6. Уменьшение содержания органического вещества в системе р. Кенти в результате поступления техногенных вод с низкой концентрацией ОВ.

7. Поступление азотсодержащих веществ при буровзрывных работах и при технологической переработке руды и снижение их концентрации в водных объектах за счет протекания внутриводоемных процессов: $\text{NH}_4^+ + \text{OH}^- \rightarrow \text{NH}_3\uparrow + \text{H}_2\text{O}$; $2\text{NO}_3^- + 10\text{Fe}^{2+} + 12\text{H}^+ \rightarrow \text{N}_2\uparrow + 10\text{Fe}^{3+} + 6\text{H}_2\text{O}$ (Natva, 1989); $\text{NO}_3^- \rightarrow \text{NO}_2^- \rightarrow \text{HON}=\text{NOH} \rightarrow \text{N}_2$; $\text{NO}_2^- + \text{NH}_4^+ \rightarrow \text{N}_2\uparrow + 2\text{H}_2\text{O}$.

Глава 5. Мероприятия по снижению негативного воздействия Костомукшского горно-обогатительного комбината на окружающую среду

Попуски воды из хвостохранилища

Проект эксплуатации хвостохранилища Костомукшского ГОК предполагал закрытый цикл функционирования. Однако по мере его использования уровень воды в нем увеличился до критических отметок. По причине угрозы затопления насосной станции Костомукшского ГОК с 1994 г. по рекомендации ИВПС КарНЦ РАН началось осуществление регулируемых сбросов воды из хвостохранилища в систему р. Кенти. Попуски осуществляются пропорционально водности до достижения концентрации K^+ в контрольном створе 50 мг/л и их объем составляет 9-24 млн. м³/год (в среднем 13,1 млн. м³/год). Регулируемые попуски воды из хвостохранилища в систему р. Кенти позволяют равномерно распределить нагрузку на водные объекты в течение года в соответствии с его водностью.

Разбавление техногенных вод природными является одним из вариантов улучшения их биокондиции. Лучше такие воды сбрасывать в высокопроточные поверхностные или высокоминерализованные морские водные объекты. Сброс техногенных вод в озеро-речную систему Кенти, которая является слабопроточной с низкой минерализацией воды, показал, что в данном случае эффект разбавления мало сказывается на соотношении катионов и по всей системе сформировался генетически близкий сульфатно-калие-

вый тип вод. Кроме того, попуски воды из хвостохранилища целесообразно начать с момента ввода комбината в строй, после стабилизации в хвостохранилище таких показателей, как содержание взвешенного вещества, $Fe_{\text{общ}}$ и $P_{\text{общ}}$.

Снижение токсического действия техногенных вод

Биотестирование отдельных техногенных вод Костомукшского ГОК с использованием тест-объект *Ceriodaphniaaffinis* показало, что токсическим действием обладают неразбавленная фильтрационная вода и вода хвостохранилища, теряющие его при 2-кратном разбавлении, тогда как воды отводных каналов токсических свойств не проявляли. Большей токсичностью обладают образцы техногенных вод, взятые в том соотношении, в котором они поступают в систему р. Кенти. Максимальная выживаемость (80%) наблюдалась только при 10 и более кратном разбавлениях.

На основании токсикологических опытов (Лозовик, Дубровина, 1998) выявлено, что основной причиной неблагоприятного влияния техногенных вод Костомукшского ГОК на гидробионтов системы р. Кенти является аномальное соотношение щелочных металлов ($[Na^+]/[K^+]$) и щелочно-земельных к щелочным ($[Ca^{2+}+Mg^{2+}]/[Na^++K^+]$), обусловленное высоким содержанием калия. Доказано, что происходит значительное снижение токсического эффекта при добавлении хлоридов натрия и кальция в воду. Как вариант можно использовать отходы сероочистки для стабилизации соотношения главных катионов.

Дообогащение магнетитового концентрата и его негативные экологические последствия

Для Костомукшского ГОК разработан проект по дообогащению магнетитового концентрата методом обратной флотации. В качестве флотореагентов к использованию рекомендовались FlotanolC-7 (поли- α -пропиленгликоль) и FlotigamEDA (изодециловый эфир пропиленамин). Их ПДК для водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования составляют 0,2 и 0,04 мг/л соответственно. Оба рекомендованных флотореагента обладают сильным токсическим действием на гидробионтов и могут вызывать негативные изменения в водной среде при поступлении их в хвостохранилище и в дальнейшем в систему р. Кенти.

Анализ материалов проекта показал, что внедрение флотационной доводки магнетитового концентрата приведет к тому, что при осуществлении сбросов отходов флотации в хвостохранилище, в его воде будет происходить аккумуляция флотореагентов, поскольку хвостохранилище – объект с замедленным водообменом. Без учета биоразлагаемости флотигама его концентрация в воде хвостохранилища будет близка к концентрации в оборотной воде флотационных установок (0,40 мг/л). С учетом кратности разбавления, сбрасываемых из хвостохранилища вод в контрольном створе (трехкратное) следует ожидать, что концентрация флотигама в этом створе будет достигать 0,13 мг/л, что в 3 раза больше ПДК. Таким образом, внедрение флотационного дообогащения магнетитового концентрата приведет к непредсказуемым экологическим последствиям и к увеличению платы за загрязнение окружающей среды.

Нормирование сброса техногенных вод с экологических и геохимических позиций

Действующая в настоящее время система нормирования допустимого сброса техногенных вод Костомукшского ГОК учитывает большое количество показателей (17), многие из которых не связаны с техногенным влиянием. Для этих целей достаточно использовать всего 5 показателей (K^+ , SO_4^{2-} , NO_3^- , литий, никель), которые отражают специфику производства и его влияние на водную среду.

За допустимый объем сброс техногенных вод следует принять такой их объем, когда $РИЗВ = 1,0$. Согласно данным таблицы 4, во всех объектах системы р. Кенти превышен объем допустимого сброса техногенных вод и только для оз. Ср. Куйто он меньше. Если ориентироваться на замыкающий створ системы р. Кенти (оз. Кенто), то необходимо уменьшить объем сброса техногенных вод в 2,0 раза до достижения значения $РИЗВ$, равного 1. $РИЗВ$ отражает загрязнение воды в водном объекте, но он не показывает, какой имеется объем загрязненных вод. Поэтому целесообразно ввести критерий нормируемого количества загрязненных вод ($КЗВ$) как произведение $РИЗВ$ на среднегодовой сток: $КЗВ = РИЗВ \cdot V_{\text{ст}}$. Этот критерий показывает, какому количеству разбавленных загрязненных вод будет соответствовать $РИЗВ = 1$ или до какого объема следует разбавить загрязненные воды, чтобы $РИЗВ$ стал равным 1. Расчеты $КЗВ$ для озер системы р. Кенти и для средневзвешенного состава техноген-

ных вод показали близкие их значения независимо от месторасположения озер (вблизи выпусков техногенных вод или вдали), в среднем по системе – 302 млн. м³/год. Представленная методика является более простой и надежной, чем (Методика..., 2007).

Таким образом, оценку загрязненности водной среды в зоне действия Костомукшского ГОК и нормирование сброса техногенных вод следует осуществлять по 5 показателям (K⁺, SO₄²⁻, NO₃⁻, литий, никель). С учетом РИЗВ и объема загрязненных вод можно установить нормируемое количество загрязненных вод.

В **заключении** перечислены основные результаты и сформулированы выводы исследования. К ним относятся следующие положения:

1. В результате поступления техногенных вод Костомукшского ГОК в систему р. Кенти в ней сформировался генетически близкий сульфатно-калиевый тип вод с повышенными более чем на порядок содержанием NO₃⁻, Li и величиной Σ_и, а также с аномальным соотношением главных катионов по сравнению с фоновыми показателями.

2. К природным факторам формирования вод можно отнести разбавление техногенных вод поверхностными, утилизация части азотсодержащих веществ, увеличение концентрации Al. К техногенным – снижение содержания органического вещества, поступление K⁺, SO₄²⁻, NO₃⁻, Li, Ni, отражающих специфику производства Костомукшского ГОК и его влияние на водную среду. К техногенно-природным – высокое поступление металлов из отвалов вскрышных пород с кислыми водами, фильтрующимися через эти отвалы, и быстрое осаждение их гидроксидов в результате нейтрализации этих вод на дневной поверхности.

3. Для оценки загрязненности водоемов в зоне действия предприятий следует использовать методику, учитывающую региональный фон элементов и их ПДК для рыбохозяйственных водоемов, позволяющую более надежно выявлять последствия антропогенного влияния.

4. Разбавление техногенных вод природными, добавление солей Ca, Mg способствует снижению их токсического действия за счет оптимизации соотношения ионов щелочно-земельных и щелочных металлов.

5. Внедрение флотационного дообогащения магнетитового концентрата методом обратной флотации приведет к негативным экологическим последствиям в результате поступления и накопления в водной среде токсичных флотореагентов.

6. Разработана методика нормирования допустимого сброса загрязненных вод, учитывающая как объем стока, так и уровень загрязненности воды. Предложенная методика может быть использована для любых регионов и различных типов сточных вод.

7. Для получения воспроизводимых данных по содержанию сульфатов усовершенствована методика их фотометрического определения с BaCl₂ и сульфоназо III. Рекомендовано последовательное добавление реактивов и использование разности оптических плотностей в максимуме (640 нм) и минимуме (615 нм) спектра поглощения комплекса Ba²⁺ с сульфоназо III.

Результаты работы могут быть использованы при разработке нормативных документов по спектрофотометрическому определению сульфатов с BaCl₂ и сульфоназо III, по оценке загрязненности водных объектов, по расчету НДС техногенных вод. Рекомендации по минимизации негативного воздействия Костомукшского ГОК на водную среду могут быть внедрены на этом предприятии.

IV. Список работ, опубликованных по теме диссертационной работы

Список работ, опубликованных автором по теме диссертации в журналах **перечня ВАК**:

1. **Кулакова (Галахина), Н.Е.** Экспериментальное выщелачивание руды Костомукшского и Корпангского железорудных месторождений / Н.Е. Кулакова (Галахина), П.А. Лозовик // Труды Карельского научного центра РАН, 2011. – №4. – С. 98-102.
2. **Кулакова (Галахина), Н.Е.** Анализ влияния Костомукшского горно-обогатительного комбината на окружающую среду с учетом природно-техногенных факторов формирования и трансформации вод / Н.Е. Кулакова (Галахина), П.А. Лозовик // Вода: химия и экология, 2012. – №2. – С. 18-25.
3. **Кулакова (Галахина), Н.Е.** Использование физико-химического моделирования для оценки влияния предприятий горнодобывающей промышленности на водную среду / Н.Е. Кулакова (Галахина), П.А. Лозовик // Вестник Московского государственного областного университета. Серия «Естественные науки», 2013. – №3. – С. 47-51.

4. **Кулакова (Галахина), Н.Е.** Количественное определение содержания сульфатов в природных водах на основе реакции комплексообразования ионов бария с сульфозано III / Н.Е. Кулакова (Галахина), П.А. Лозовик, И.С. Родькина // Вестник Московского государственного областного университета. Серия «Естественные науки», 2013. – №3. – С. 52-56.
5. Лозовик, П.А. Методические подходы к оценке загрязнения водных объектов в зоне действия предприятий горнодобывающей промышленности / П.А. Лозовик, **Н.Е. Кулакова (Галахина)** // Водные ресурсы, 2014. – №4. – С. 429-438.

И другие:

6. Лозовик, П.А. Оценка загрязнения водной среды предприятиями целлюлозно-бумажной и горнодобывающей промышленности по содержанию специфических консервативных компонентов в сточных водах и их водоприемниках / П.А. Лозовик, А.В. Сабылина, **Н.Е. Кулакова (Галахина)** // Сборник статей по материалам конференции «Северные территории России: проблемы и перспективы развития». CD, № гос. регистрации: 0320800990. Институт экологических проблем Севера УрО РАН. – Архангельск, 2008. – С. 811-814.
7. Лозовик, П.А. Оценка загрязнения водных объектов с использованием различных методических подходов на примере системы р. Кенти / П.А. Лозовик, **Н.Е. Кулакова (Галахина)** // Материалы научно-практической конференции с международным участием «Современные фундаментальные проблемы гидрохимии и мониторинга качества поверхностных вод России». Часть 2. Азов, 8-10 июня 2009 г. – Ростов-на-Дону, 2009. – С. 75-78.
8. **Кулакова (Галахина), Н.Е.** Спектрофотометрическое определение сульфатов в атмосферных осадках / Н.Е. Кулакова (Галахина), А.В. Лебедева, П.А. Лозовик // Водная среда: обучение для устойчивого развития. – Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2010. – С. 133-137.
9. **Кулакова (Галахина), Н.Е.** Разбавление техногенных вод Костомукшского ГОКа в системе р. Кенти / Н.Е. Кулакова (Галахина) // Водная среда: обучение для устойчивого развития. – Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2010. – С. 123-126.
10. Лозовик, П.А. Многолетняя динамика изменения режима системы р. Кенти под влиянием техногенных вод Костомукшского ГОКа / П.А. Лозовик, М.В. Калмыков, **Н.Е. Кулакова (Галахина)** // Материалы конференции «Экологические проблемы Северных регионов и пути их решения». Материалы III-ей Всероссийской конференции с международным участием. Часть 1. – Апатиты: Изд-во КНЦ РАН, 2010. – С. 203-208.
11. **Кулакова (Галахина), Н.Е.** Оценка загрязнения водных объектов района Костомукши по кратности разбавления техногенных вод / Н.Е. Кулакова (Галахина) // Водная среда и природно-территориальные комплексы: исследование, использование, охрана. – Петрозаводск, 2011. – С. 64-67.
12. **Кулакова (Галахина), Н.Е.** Оценка состояния водных объектов района Костомукши по результатам многолетнего мониторинга / Н.Е. Кулакова (Галахина), П.А. Лозовик // Науки о Земле: задачи молодых. Материалы 64-ой научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. – Петрозаводск, 2012. – С. 50-58.
13. **Кулакова (Галахина), Н.Е.** Поступление минеральных веществ в результате выщелачивания из руды Костомукшского и Корпангского месторождений / Н.Е. Кулакова (Галахина), П.А. Лозовик // Концепции естественнонаучного образования в вузе и школе в условиях перехода на Федеральные государственные стандарты. Сб. ст. научно-практич. конф., посв. 80-летию ЕГФ КГПА. 6-7 ноября 2012 г., г. Петрозаводск. – Петрозаводск: Издательство КГПА, 2012. – С. 102-107.
14. Лозовик, П.А. Гидрохимический состав вод хвостохранилища и оз. Окунеево / П.А. Лозовик, **Н.Е. Кулакова (Галахина)** // Биота северных озер в условиях антропогенного воздействия. – Петрозаводск, 2012. – С. 28-38.
15. **Галахина, Н.Е.** Формирование химического состава поверхностных вод в зоне влияния Костомукшского ГОКа / Н.Е. Галахина, П.А. Лозовик // Экологические проблемы северных регионов и пути их решения: Материалы V Всероссийской научной конференции с международным участием: в 3 ч. / Институт проблем промышленной экологии Севера КНЦ РАН. – Апатиты: КНЦ РАН, 2014. – Ч.2. – С. 128-132.
16. Совершенствование методов аналитического контроля в воде «проблематичных» компонентов / П.А. Лозовик, Н.А. Ефременко, М.Б. Зобков, М.В. Зобкова, Т.А. Ефремова, **Н.Е. Галахина** и др. // Материалы научной конференции с международным участием «Современные проблемы гидрохимии и мониторинга качества поверхностных вод» Часть 2. – Ростов-на-Дону, 2015. – С. 38-44.