УДК 550.461

М.К. Грачева
Институт минералогии, геохимии и кристаллохимии редких элементов (ИМГРЭ)
лаборатория геоэкологических исследований
заведующая
Российский союз гидрогеологов
ответственный секретарь
gmk_rosgidrogeo@mail.ru

Факторы гидрогеохимической трансформации природной среды на объектах с накопленным экологическим ущербом (на примере апатит-нефелинового месторождения Кольского полуострова)

Автор рассматривает гидрогеохимические особенности апатит-нефелинового месторождения Хибинских тундр. Установлены характерные для района природные и техногенные факторы трансформации химического состава подземных вод; предложены виды исследований для более полного изучения процессов техногенеза и сопутствующих гидрогеохимических процессов на территориях с накопленным экологическим ущербом

The hydrogeochemical particularities of apatite-nepheline deposits in the Khibiny tundra are described in the paiper. The natural and man-made factors of the transformations of groundwater chemical composition has been established for the area. The more completed typical studies of the processes and related technogenesis hydrogeochemical processes has been proposed for areas with accumulated environmental harm

Ключевые слова: подземные воды; гидрогеохимические процессы; техногенез; трансформация природной среды; экологический ущерб; технологические циклы
Keywords: groundwater; hydrogeochemical processes; technogenesis; transformation of the natural environment; environmental harm; technological cycles

Исследования проводились во ФГУП «ИМГРЭ» в рамках проекта «Оценка изменения качества подземных вод районов деятельности горнодобывающих предприятий как показатель накопленного экологического ущерба на примере месторождений твердых полезных ископаемых Южного Урала и Кольского полуострова». Один из объектов исследования представляет собой техногенно нагруженную территорию с интенсивным антропогенным влиянием, связанным с разработкой апатит-нефелинового месторождения Хибинских тундр, добычей и обогащением извлекаемых руд. Рудники и обогатительные фабрики ОАО «Апатит» работают более 80 лет.

Необратимые нарушения уникальных природных горных ландшафтов и отчуждение территорий – результат горнопромышленного освоения этих площадей. Еще один отрицательный результат разработки месторождения – наблюдаемое изменение химического состава ПВ, происходящее под воздействием многофакторных гидрогеохимических процессов.

Сумма результатов воздействия техносферы на природные системы за определенный период времени отражает собой ***накопленный экологический ущерб (НЭУ)*** природных объектов и территорий. НЭУ может выражаться как объективная количественная оценка (процент нарушения природной системы, площадь нарушенных земель, количественная оценка изменения химического состава компонентов среды, степень деформации экосистемы и т.п.), так и в относительных показателях (денежная мера затрат на реабилитацию экологической обстановки, коэффициент снижения качества окружающей среды по статистике заболеваемости местного населения, балльная оценка ущерба и т.п.). Важным критерием оценки НЭУ может служить качество ПВ. Постепенное ухудшение химического состава ПВ имеет долговременный аккумулятивный характер, поэтому изучение буферной способности ПВ в условиях сильной техногенной нагрузки – одно из основных направлений в разработке и постановке программ геоэкологических исследований.

Физико-географические особенности изучаемого объекта

Важнейшая природная особенность изучаемой территории – ее климатическая характеристика. В пределах Хибинских и Ловозерских тундр наблюдаются обособленные от внешней среды микроклимат и водный режим. Температура воздуха в Хибинах зимой редко опускается ниже –35 С°, а летом не поднимается выше +22 С°. Относительная мягкость климата связана с близостью Атлантического океана [3].

Геоэкологическая обстановка на исследуемой территории характеризуется, прежде всего, крупными отвалами пород вскрыши вокруг гигантских карьеров, зонами обрушения горных пород при открытой добыче апатит-нефелинового сырья, засыпкой русел естественных водотоков. Все это в совокупности обусловило уничтожение хибинских тундр и привело к созданию противоестественных индустриальных ландшафтов в районе размещения предприятий ОАО «Апатит» и прилежащих населенных пунктов [1].

Деградация ландшафтов повлекла за собой трудновосстановимые (а в некоторых случаях и необратимые) изменения. В геохимическом отношении извлекаемые полезные компоненты связаны с ненасыщенными кремнеземом нефелинсодержащими породами. Из-за своей неустойчивости в условиях гипергенеза нефелин легко разлагается в присутствии даже слабых кислот. Продуктом его разрушения является сода, что ведет к повышению pH и защелачиванию прилежащих ПВ, а также выносу таких элементов, как алюминий и фтор [2]. Этот геохимически обусловленный фактор служит ключевым в процессах изменения химического состава ПВ. Поэтому для получения полной модели протекающих гидрогеохимических трансформаций в качестве основных рассматриваются природные процессы гипергенеза в апатит-нефелиновых рудах, на которые накладываются техногенные факторы.

Территория Хибин имеет сложное гидрогеологическое строение, где определенную роль играют различные по генезису водоносные горизонты четвертичного возраста [4]. Процессы формирования столь молодых водоносных отложений связаны, в первую очередь, с северными высокоширотными условиями, в частности с атлантико-арктической областью умеренного климатического пояса. Кроме того, определяющими для гидрогеологических условий являются положение исследуемой территории в границах Балтийского кристаллического щита и наличие в его краевых частях обширных депрессий Баренцева и Белого морей. Основными факторами, определяющими гидрогеологические условия района, можно считать:

– преобладание осадков над испарением в 5–10 раз;

– значительную расчлененность рельефа, обуславливающую близость областей питания и разгрузки ПВ;

– хорошую обнаженность интрузивных массивов и их интенсивную трещиноватость;

– наличие рудного объекта, связанного с гипергенным разрушением минералов нефелиновых сиенитов, что обуславливает подщелачивание прилегающих природных вод;

– в соответствии с характером водовмещающих пород в изучаемом районе выделяются 2 типа ПВ: поровые и порово-пластовые, распространенные в четвертичных отложениях, и трещинные и трещинно-жильные воды, развитые повсеместно в коренных породах.

Техногенно обусловленные факторы гидрогеохимической трансформации среды

В условиях высокого уровня техногенной нагрузки на территории апатит-нефелинового месторождения в Хибинах природная среда испытывает комплексные деформации, важнейшей особенностью которых являются гидрогеохимические процессы изменения ПВ, как одного из жизнеобеспечивающих ресурсов. Поэтому особое внимание в геоэкологических исследованиях горнорудных комплексов следует обращать на оценку качества ПВ. К изучению проблемы изменения химического состава ПВ в условиях техногенеза необходимо подходить комплексно, отслеживая весь спектр физико-химических условий, влияющих на режим ПВ. Данные о естественном режиме природных вод служат базовой информацией для определения влияющих на гидрогеохимическую систему физико-географических условий.

Факторы воздействия на режим ПВ можно разделить на 2 типа: естественные (природные) и техногенно-обусловленные. К первым относятся:

а) климатические факторы: количество осадков, колебания температур, глубина промерзания горных пород и др.;

б) геологические и гидрогеологические факторы: минеральный состав горных пород, трещиноватость, скорость потока и интенсивность дренажа и др.;

в) геохимические факторы: наличие рудного объекта, связанного с гипергенным разрушением минералов нефелиновых сиенитов, что обуславливает подщелачивание прилегающих природных вод.

К техногенно-обусловленным факторам можно отнести:

– нарушение геологической среды разработкой месторождений открытым и закрытым способами;

– транспортировка подземных рудничных вод на дневную поверхность и их подача в систему прудов-отстойников, а также последующий их сброс в естественную среду;

– плохое состояние гидротехнических сооружений;

– технологический цикл ОАО «Апатит» и процессы обогащения апатит-нефелинового сырья с образованием многотоннажных отходов добычи и производства;

– использование взрывчатого вещества и солевых хладореагентов;

– пылевой перенос с поверхности хвостохранилищ и отвалов.

Остановимся подробнее на техногенно-обусловленных процессах, влияющих на трансформацию химического состава ПВ на Кольском полуострове.

Одним из важнейших факторов техногенеза служат подземные рудничные воды, которые подаются на дневную поверхность и сбрасываются в систему прудов-отстойников, откуда поступают в оз. Б. Вудъявр. Рассмотрена динамика водопритока и водоотлива на Кировском руднике (***рис. 1***). Результаты специальных эколого-гидрогеохимических исследований, выполненных в различные годы специалистами ФГУП «ИМГРЭ» (Г.Б. Мелентьев, О.К. Вдовина, Е.Н. Малинина и др.), свидетельствуют о том, что эта система преимущественно способствует очистке техногенных рудничных сбросов от взвесей и лишь частично (в иловых осадках) – от химических ингредиентов загрязнения [5]. Накопление последних обусловливает значительное изменение состава воды в озере Б. Вудъявр по сравнению с водой в фоновых участках оз. М. Вудъявр, представляющих верховья исследуемой гидроэкосистемы реки Белая. Кроме того, придонная часть озера Б. Вудъявр загрязнена токсичными компонентами мазута, несгоревшие частицы которого с прибрежной Кировской ГРЭС образуют на дне озера слой мощностью более 0,3 м. Этими факторами и обусловлен «мертвый» характер озера Б. Вудъявр, частичное экологическое возрождение которого возможно в связи с прекращением работы ГРЭС на мазуте с 2014 г.

Вторым важнейшим фактором техногенеза являются процессы обогащения апатит-нефелинового сырья, в результате чего масштабы накопления складируемых отходов (хвостов) обогатительных фабрик (АНОФ-1, 2, 3) в совокупности превысили 1 млрд т. Несмотря

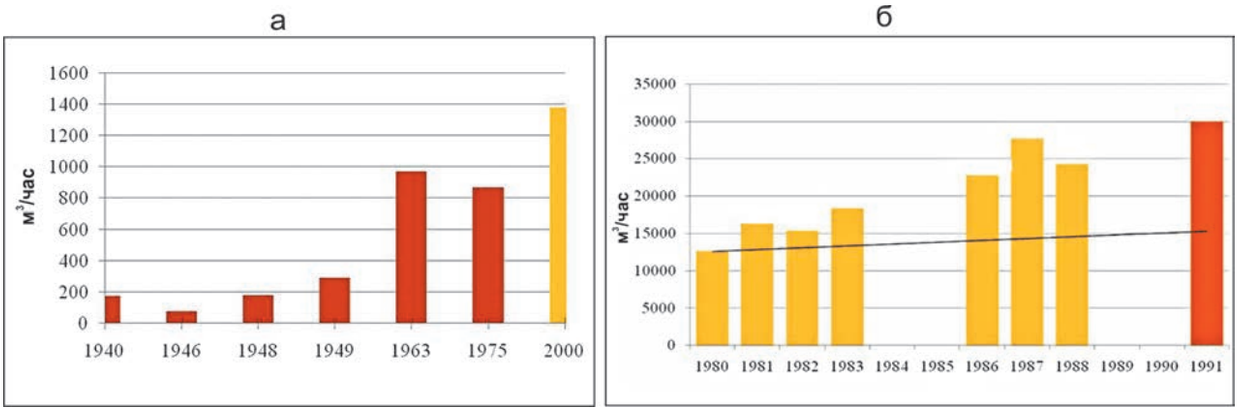


Рис. 1.
Динамика водопритока (а) и водоотлива (б) по эпигнозным данным (Кировский рудник)

на комплексный характер добываемых и обогащаемых хибинских руд, традиционно в качестве монопрофильного продукта выпускается апатитовый концентрат и в небольшом количестве – сопутствующий нефелиновый концентрат (до 0,8–1,5 млн т). Остальные минеральные компоненты апатит-нефелиновых руд накаливаются в хвостах и представлены минералами-концентраторами титана с сопутствующими U, Nb, Ta, TR; преобладает недоизвлеченная часть нефелина и калиевого полевого шпата – концентраторов Al, Na, K, Ga, Rb, Cs, меньшую часть составляет апатит – концентратор Ca, Sr, TR и F (***табл. 1***). Хвостохранилища представляют собой неиспользуемое минерально-химическое сырье, своего рода техногенное месторождение редких элементов.

Очевидно, что это обусловливает обогащенность сбросов пульпы с обогатительных фабрик, а также отстойных вод в хвостохранилищах и подотвальных вод рудообразующими компонентами и сопутствующими микрокомпонентами, включая токсичные. Наиболее интенсивная растворимость характерна для нефелина, который выщелачивается из пород и руд даже в природных условиях, высвобождая Al, Na, K и сопутствующий им галлий. Наименее растворим апатит. С этими свойствами главных породо- и рудообразующих минералов Хибинских месторождений связана повышенная щелочность и глиноземность природных вод при недостатке кальция. В процессе техногенеза такая специфика состава и качества воды усугубляется, в том числе за счет увеличения концентрации сопутствующих микрокомпонентов, как катионов, включая стронций, так и анионов при ведущей роли фтора. Очевидно, что техногенное изменение состава и качества воды находят отражение и в составе депонирующих сред – почв и растительности, включая механизм биоценозных «цепочек» усвоения их организмом человека [1]. Тем самым обуславливается эндемическая микроэлементозная заболеваемость населения Кировского и Апатитского районов, прежде всего – костно-мышечная за счет накопления в организме стронция, фтора (проявления флюороза), алюминия (болезнь Альцгеймера) и др.

Интересно отметить, что название реки Белая в начальный период эксплуатации первого в Хибинах Кировского рудника и АНОФ-1 обусловлено цветом ее воды за счет прямых сбросов пульпы в реку. В настоящее время на высотных аэрофотоснимках наблюдаются «языки» выноса и переотложения тонких фракций техногенных песков из хвостохранилища АНОФ-2 в оз. Имандра за счет просачивания водных сбросов сквозь дамбу из тех же песков, разделяющую хвостохранилище и озеро.

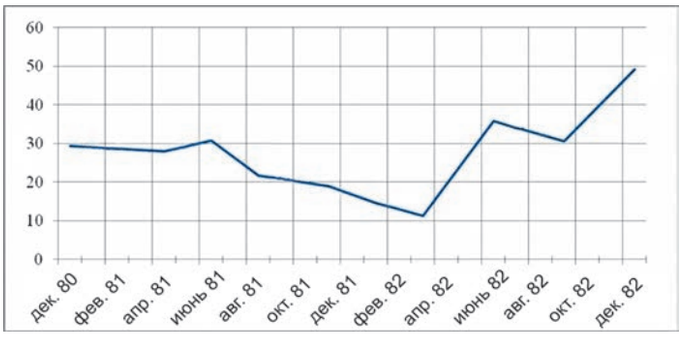
Еще одним фактором, усугубляющим техногенно обусловленные гидрогеохимические процессы, являются технологические циклы с вовлечением в естественный оборот новых химических элементов. Так, особая, но малоизученная роль в формировании экологически неблагоприятных ореолов химического загрязнения среды обитания принадлежит ***оксидам азота*** – компоненту взрывчатого вещества, используемого при горной добыче и строительстве рудников, дорог, очистных сооружений и др. Применение искусственных реагентов на ОАО «Апатит», в частности солевых хладагентов на промплощадках рудников в зимнее время, обусловливает повышенные содержания в сточных водах ***хлора***. А использование алюмосиликатного флокулянта-коагулянта (АКФ или АСР) на обогатительных фабриках в качестве сгустителя осадков пульпы (до 90 тыс. т в год) обеспечивает обогащен-

ность сбросов АНОФ-2 ***сульфат-ионом*** (***рис. 2***). Остаются неизученными используемые при обогащении руды органические реагенты, их содержание и распределение в сбросах. Привнос в гидрогеохимическую систему новых химических элементов и соединений существенным образом меняет в первую очередь состав поверхностных вод и почв, а затем – подземных вод.

Принципиально новым проявлением техногенеза в условиях Кольского Заполярья явились пылевые бури, обусловленные интенсивным пылением в ветреную погоду сухих поверхностей хвостохранилищ АНОФ-2 и Апатитской ТЭЦ. При юго-западных ветрах пылевые бури накрывают г. Апатиты, дикорастущие и сельскохозяйственные угодия вокруг города. Предпринимаемые многолетние попытки закрепления пылящих поверхностей хвостохранилищ пока не увенчались успехом: растительность закрепляется только на откосах (бортах) и не принимается на рабочих поверхностных участках и площади отстойников. Латекс оказался слишком дорогим реагентом, а проводимые в настоящее время испытания возможностей закрепления хвостов битумными эмульсиями представляются недопустимыми с экологических позиций.

В этом случае морозное выветривание и растрескивание песчано-битумных покрытий при ураганных ветрах неизбежно вызовет перенос с пылью и аккумуляцию содержащихся в битуме концентрированных компонентов [6]. Это приведет к увеличению традиционных и появлению новых, прежде всего, онкологических патологий и эндемической заболеваемости в районе г. Апатиты. Компонентный состав пылевого переноса требует специального изучения. Примечательно, что рекультивация и закрепление растительным покровом поверхности хвостохранилища старой законсервированной АНОФ-1 на берегу р. Белой обеспечили даже отсутствие загрязнений ПВ в пробуренной здесь скважине.

Рис. 2.
Сезонные колебания уровня SO_4 в рудничных водах (ретроспективные данные)



Таким образом, современные очистные сооружения ОАО «Апатит» не исключают техногенное, прежде всего, химическое загрязнение окружающей среды на территориях, превышающих ареалы осаждения взвесей, а за счет пылевых нагрузок далеко за пределы горных отводов и промплощадок предприятий горнопромышленного комплекса.

Опираясь на проведенный аналитический обзор факторов техногенеза, приведем *краткую универсальную технологическую схему гидрогеохимических исследований на типовых объектах накопленного экологического ущерба* (на примере горнорудных районов). Предложенная схема является универсальной и носит технологический характер.

I. Камеральный этап

1.1. Изучение фактографических (текстовых) и картографических материалов по исследуемому объекту, включая ретроспективные данные.

1.2. Изучение физико-географических особенностей объекта; выделение присущих исследуемой территории типов ландшафтов и путей миграции и аккумуляции вещества; выделение на объекте потенциальных и существующих резервуаров с анализом их физико-химических условий.

1.3. Построение предварительного картографического материала (ландшафтная карта, карта функционального зонирования, карта намечаемых точек опробования, построение профилей опробования, а также цифровой модели местности – ЦММ, что позволяет получить актуализированную топографическую основу для полевых работ, является основой ГИС-проекта при проектировании комплекта карт).

II. Полевой этап с аналитическими исследованиями

2.1. Проведение маршрутов и профилей с отбором проб гидрогеохимического опробования (включая экспрессные методы анализа в полевой лаборатории).

2.2. Изучение минерально-геохимической характеристики пород, содержащих рудный компонент, до обработки (фон) и после обогащения на комбинате.

2.3. Изучение последствий физического воздействия на минеральный состав при добыче ПИ (раскрытие включений, увеличение реакционной площади) и их влияния на качество ПВ.

2.4. Изучение технологического цикла обогащения, исследование породы, прошедшей обогащение, на предмет наличия при-

внесенных техногенных компонентов: следов флотационных реагентов, нефтепродуктов от горюче-смазочных материалов, соединений азота от взрывчатых веществ и др.

2.5. Изучение динамики изменения химического состава природных вод. Определение фоновых значений состава природных вод, изучение процесса их формирования. Изучение и сопоставление составов вод во всех резервуарах (рудничные воды, подотвальные воды, воды промежуточных коллекторов, в том числе внутрипоровые воды), сравнение показателей с фоновыми значениями.

2.6. Изучение динамики изменения состава пород и почв в процессе добычи и обогащения ПИ во всех резервуарах. Корреляция с динамикой изменения химического состава природных вод.

2.7. Проведение биогеохимических исследований на объектах. Изучение медико-биологических показателей.

III. Лабораторно-экспериментальный этап

3.1. Проведение химических анализов отобранных проб, обработка и аналитика полученных результатов.

3.2. Экспериментальное моделирование – изучение процессов выщелачивания компонентов рудовмещающей породы (руды, пульпы и т.д.) водой (в том числе кинетических процессов, а также геохимических процессов в условиях отрицательных температур для объектов северных широт).

IV. Этап компьютерного моделирования

4.1. Проведение физико-химического моделирования процессов, происходящих на объекте, на основе аналитических данных полевого материала и экспериментальных данных, полученных в лаборатории.

V. Итоговый оценочный этап

5.1. Количественная оценка накопленного экологического ущерба среды во времени и пространстве (в баллах, денежном эквиваленте, проценте нарушенных территорий и других физических и экономических единицах).

5.2. Построение прогнозной оценки поведения системы, расчет геоэкологических рисков.

5.3. Рекомендации для принятия мер по устранению (минимизации) накопленного экологического ущерба и восстановлению деформированных сред.

Разработанная схема исследований нуждается в корректировке и адаптации к каждому конкретному объекту НЭУ с учетом его ландшафтно-климатических и физико-химических особенностей, а также основных технологически циклов на объекте.

Виды исследований по изучению факторов техногенеза и их воздействия на химический состав ПВ

В свете описанной техногенной нагрузки конкретной изучаемой территории Хибинских тундр представляется актуальным организация работ по более глубокому изучению факторов техногенеза и сопутствующих гидрогеохимических процессов на объекте, учитывая накопленный экологический ущерб. Главный аспект в изучении установленных факторов – выявление процессов и путей миграции химических элементов техногенного привноса и их отражение в химическом составе ПВ. Рассмотренные факторные риски влияют на гидрогеохимические процессы природно-технических систем в совокупности. Однако для более детального изучения протекающих процессов необходимо изучать их изолированно друг от друга. Для этого необходимо разделение целого объекта на более мелкие системы (резервуары), различающиеся между собой по физико-химическим условиям, способности элементов к миграции в них и другим свойствам. При изучении выделенных резервуаров наиболее эффективно рассмотрение протекающих в них процессов, обусловленных каким-либо одним природным или техногенным фактором. Например, в резервуаре складируемых отходов важным информативным фактором может быть климат (в частности состав и объем осадков). Рассмотрение такой системы позволит установить миграционные возможности элементов, типичных для складируемых отвалов, а также проследить пути их миграции в ПВ.

Ниже предлагаются виды исследований для включения в программу гидрогеохимических исследований объектов НЭУ.

1. Отбор внутрипоровой влаги из донных проб техногенных водоемов и их стоков. Работа позволит оценить состав жидкости, находящейся в физико-химическом равновесии с донными отложениями продуктов обогащения. В связи с тем, что донные осадки служат вторичным источником загрязнения водной среды, для понимания процессов в придонной части техногенных водоемов следует отбирать поровую влагу из донных отложений, т.к. она находится в химическом равновесии с донными отложениями. Эти данные необходимы для построения численной модели на основе физико-химического равновесия минеральных фаз.

№ пробы	Характеристика пробы	ЭЛЕМЕНТЫ (мг/л)		
		Ca	Sr	Ca/Sr
ПДК			7	
037	Вода оз. Нуккешъявр и ручья (зап. фон)	3,654	0,027	137,89
039	Вода оз. Нуккешъявр и ручья (зап. фон)	3,737	0,027	137,39
Среднее из проб 037, 039		3,6955	0,027	137,64
$K_{ПДКхп}$			0,003	
025	Вода, р. Белая	3,802	0,150	25,35
024	Вода, р. Белая	3,862	0,145	26,63
093	ЮЗ дренажный канал	1,620	0,205	7,90
094	ЮЗ дренажный канал	1,893	0,311	6,09
095	ЮЗ дренажный канал	2,947	0,364	8,10
Среднее из проб 093, 094, 095		2,8248	0,235	14,814
$K_{ПДКхп}$			0,033571	
137	Мониторинговая скважина, 24 м	1,797	0,156	11,52
056(ф)	Отстой пульпы	5,082	0,465	10,93
057(ф)	Отстой пульпы	4,732	0,430	11,00
Среднее из 056, 057		3,870333	0,350333	11,15
$K_{ПДКхп}$			0,050048	
160	Отстой пульпы	3,968	0,355	11,18
158	Отстой пульпы	3,795	0,342	11,10
Среднее из 160, 158		3,8815	0,3485	11,14
$K_{ПДКхп}$			0,049786	
141	Мониторинговая скважина, 23 м	3,869	0,460	8,41
142	Мониторинговая скважина, 33 м	2,556	0,062	41,23
143	Мониторинговая скважина, 34 м	15,852	0,172	92,16
144	Вода ручьев с ЮЗ склона Хибин (СВ фон)	2,328	0,107	21,76
258	Вода ручьев с ЮЗ склона Хибин (СВ фон)	3,464	0,111	31,21
173	Вода ручьев с ЮЗ склона Хибин (СВ фон)	1,824	0,081	22,41
174	Вода ручьев с ЮЗ склона Хибин (СВ фон)	2,426	0,074	32,87
Среднее из 4 (144, 258, 173, 174)		2,125	0,0775	27,64
$K_{ПДКхп}$			0,011071	

Таблица 1.
Сравнительная характеристика содержаний и $K_{ПДКхп}$ главных типохимических катионных элементов-индикаторов апатито-нефелинового сырья в районе хвостохранилища АНОФ-2 (2012 г.)

2. Оценка корреляционной связи техногенных эоловых переносов при помощи отбора проб пыли с растений. Работа позволит количественно оценить вклад техногенной пыли в процессах эолового переноса на данной местности. При этом следует отобрать пыль путем смыва с растений, выросших в год опробования. Каждая точка наблюдения должна иметь одинаковую площадь, отбор может осуществляться не только с растений, но и с упавшей листвы. Точки отбора следует расположить по профилю в направлении от очага загрязнения с шагом в 500 м. Существует также метод пылевого отбора из снеговых проб для оценки пылевого переноса во времена года с твердыми атмосферными осадками.

3. Оценка накопления тяжелых металлов в растительности техногенных водоемов и путей их стоков. Работа позволит оценить количество поллютантов, переходящих в более геохимически-активные формы, а также динамику этого процесса. Растительность техногенных водоемов и пути их стоков служит мощным аккумулятором тяжелых металлов. Возможно, растения поглощают металлы из раствора и напрямую из донных осадков. По мере старения популяции растений техногенного водоема накопление ими металлов замедляется в связи с развитием защитных свойств к среде. В мире имеется успешный опыт очищения прудов-отстойников водной растительностью, но при очистке водорослями необходимо провести их сбор с дальнейшим удалением и захоронением, т.к., поглощая металлы, растения переводят их в более подвижное состояние. Без их сбора и захоронения при отмирании растений может происходить обогащение поверхностного слоя донных отложений тяжелыми металлами в более подвижной форме. Отбор проводится отдельно надводной части растения и отдельно подводной, подводная часть – главным образом, корни.

4. Рентгенофазовый анализ складируемых отходов обогащения. Анализ даст информацию о фазовом составе складируемых отходов, без которой невозможно численное физико-химическое моделирование, а также об особенностях накопления тех или иных элементов в различных фазах. Для Хибинского объекта в частности установлены два пика накопления стронция и фосфора: в изначальных скальных породах и во фракции 0,1–0,25 мм. Первый пик может объясняться начальным содержанием этих элементов в породах, второй пик, очевидно, вызван тем, что именно эти фракции имеют предельные размеры частиц, в которых могут удерживаться элементы, после чего начинается интенсивное их вымывание.

5. Физико-химическое моделирование выноса компонентов из объема складируемых отходов обогащения. Работа позволит дать временной прогноз изменения качества вод на техногенных объектах в будущем. Моделирование производится с учетом полученных на основании изложенных выше видов исследований.

Выводы

Естественная экологическая и гидрогеохимическая структура во многих промышленных регионах России необратимо нарушена. Она уже не восстанавливается, поскольку буферность химического состава ПВ исчерпана, и не сможет восстановиться в течение многих лет, т.к. техногенные источники загрязнения по-прежнему сохраняются, а полноценная работа по их нейтрализации и ликвидации отсутствует. По оценкам экспертов [7] общая отрицательная необратимость эколого-гидрогеохимического состояния среды во многих природно-технических системах будет прогрессивно увеличиваться. В этом свете возрастает роль изучения и мониторинга основных сложных гидрогеохимических процессов, в тех или иных условиях формирующих качество ПВ. Знание таких процессов должно способствовать грамотному управлению качеством ПВ и сохранению их оптимального химического состава.

Литература

1. Егоркин С.В., Викторова Ю.А., Мелентьев Г.Б., Вдовина О.К., Попова А.Н. Ландшафтно-геохимическая оценка воздействия горнорудных предприятий на гидроэкосистемы в различных природно-климатических условиях //Сб. науч. ст. межрег. науч.-практ. юбилейной конф. «Комплексное освоение и переработка техногенных образований с использованием инновационных технологий», Челябинск, 2013. С. 80–86.
2. Дорфман М.Д., Горощенко Я.Г. Сикорская Э.К., Дорфман А.М. О взаимодействии нефелина с водными растворами фтористого натрия и углекислого газа //Геохимия. 1967. № 7. С. 786–795.
3. Рихтер Г.Д. Север Европейской части СССР. М. 1946. 192 с.
4. Гидрогеология СССР. Т. 27. М. 1971. 295 с.
5. Мелентьев Г.Б., Вдовина О.К., Малинина Е.Н., Каримова И.Г., Попова А.Н. Научно-методические аспекты эколого-гидрохимического изучения и оценки воздействия горнопромышленных комплексов на среду обитания //Сб. науч. ст. межрег. науч.-практ. юбилейной конф. «Комплексное освоение и переработка техногенных образований с использованием инновационных технологий», Челябинск, 2013. С. 123–130.
6. Пашкевич М.А., Стриженок А.В. Мониторинг и оценка пылевыделения с поверхности хвостохранилища аноф-2 ОАО «Апатит» //Научный вестник МГГУ. 2012. № 7. С. 106–113.
7. Крайнов С.Р., Рыженко Б.Н., Швец В.М. Геохимия подземных вод. Теоретические, прикладные и экологические аспекты. М. 2012. 672 с.