

## **Методологические основы применения геохимических барьеров для охраны окружающей среды**

*С.М. Блинов, Н.Г. Максимович*  
Пермский государственный университет

Создание геохимических барьеров для охраны окружающей среды имеет ряд преимуществ перед традиционными методами. Однако их широкое применение сдерживается отсутствием методологии, позволяющей перейти, от учения о геохимических барьерах, разработанного А.И. Перельманом (1989) и развиваемого известными исследователями (Емельянов, 1998, Перельман, Касимов, 2000, Алексеенко, 2000), к их практическому использованию.

Применение искусственных геохимических барьеров в различных отраслях базируется на общих подходах и принципах геохимии. Главной особенностью методологии геохимии, установленной В.И. Вернадским и А.Е. Ферсманом, является изучение миграции, в результате которой происходит концентрация и рассеяние химических элементов. С этих позиций рассмотрен один из примеров создания искусственных геохимических барьеров для охраны окружающей среды при разработке месторождений полезных ископаемых (рис. 1).

Месторождения полезных ископаемых представляют собой природные геохимические барьеры, на которых формируются концентрации элементов. Разработка месторождений и переработка полезных ископаемых, приводит к разрушению этих барьеров. Негативным следствием этого процесса, является неконтролируемая миграция элементов или загрязнение окружающей среды. В районах расположения источников загрязнения формируются техногенные ореолы и потоки рассеяния.

Основным направлением локализации загрязнения является создание условий для концентрации химических элементов, т.е. целенаправленное формирование геохимических барьеров. Этот путь представляется наиболее естественным, т.к. воспроизводит геохимическую обстановку близкую природной. Поэтому сущность применения искусственных геохимических барьеров в природоохранных целях выражается в переводе элементов из состояния техногенного рассеяния к техногенной концентрации, близкой первоначальной природной.

Исходя из близости природной и техногенной концентраций, при разработке способов создания искусственных геохимических барьеров полезную информацию можно получить при рассмотрении их природных аналогов. Следует отметить, что искусственные геохимические барьеры в ряде случаев можно рассматривать как техногенные месторождения, являющиеся нетрадиционными сырьевыми источниками (Воробьев, Гладуш, 2000), разработка которых уже возможна, либо будет возможна с появлением новых технологий.

Универсальная концепция применения геохимических барьеров должна учитывать возможное разнообразие техногенной миграции. В ряде случаев загрязнители могут быть представлены искусственными веществами, которые в силу своей специфики могут не иметь аналогов концентрации на природных барьерах. Однако, изучая особенности миграции этих веществ в различных геохимических обстановках, принципиально возможно создание условий для перевода их в малоподвижные формы.

На базе теории геохимических барьеров А.И. Перельмана предлагается концепция создания искусственных барьеров для охраны окружающей среды, заключающаяся в целенаправленном создании геохимических обстановок, для которых характерно резкое снижение миграции загрязняющих веществ за счет их перевода в малоподвижные формы, с обеспечением безопасности для человека и природной среды.

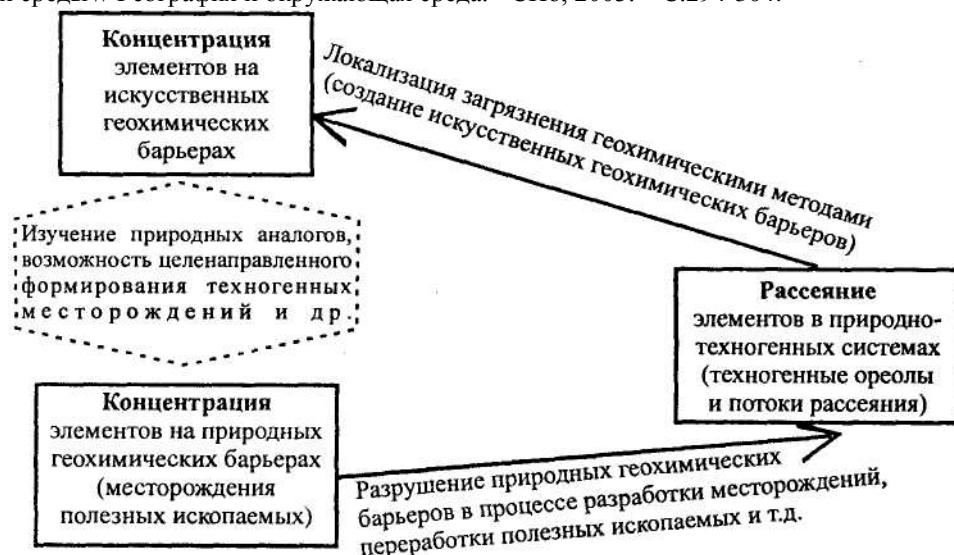


Рис. 1. Схема создания искусственных геохимических барьеров для охраны окружающей среды (на примере разработки месторождений полезных ископаемых)

Участки размещения локальных источников загрязнения и зоны их влияния накладываются на природную обстановку и могут рассматриваться как природно-техногенные системы (рис. 2).



Рис. 2. Схема функционирования рассматриваемых природно-техногенных систем

В рассматриваемых системах можно противопоставить две основных части: техногенную — локальный источник загрязнения, и природную — часть природной среды, на которую оказывается или предполагается воздействие этого источника. Также можно выделить основные связи между частями, объединяющие систему в единое целое. Прямой связью является техногенное воздействие источника загрязнения на часть природной среды, приводящее к ее изменению. Если такое изменение становится неблагоприятным для человека и биотических компонентов, то возникает отрицательная обратная связь, выраженная в необходимости снижения техногенного воздействия.

Количественными критериями изменения природно-техногенных систем являются экологические нормативы, разработанные для различных компонентов природной среды, геохимические критерии, основанные на сравнении с фоновыми и кларковыми концентрациями, биогеохимические критерии (Экологические функции литосферы, 2000).

Рассматриваемые природно-техногенные системы являются открытыми. В них

Блинов С.М., Максимович Н.Г. Методологические основы применения геохимических барьеров для окружающей среды // География и окружающая среда. - СПб, 2003. – С.294-304.

постоянно происходят поступление и вынос вещества и энергии, обусловленные как природными, так и техногенными процессами. Изучение количества вещества, поступающего в систему и выносимого из нее, может дать представление об аккумуляции вещества в системе. Подобные балансовые расчеты иногда применяются для ориентировочного установления глобального загрязнения окружающей среды (Экологическая химия, 1997, Воробьев, 1998). Приблизительность таких расчетов для установления необходимости проведения природоохранных мероприятий на конкретных территориях объясняется: во-первых, сложностью точного учета поступающего и выносимого вещества; во-вторых, неравномерностью распределения аккумулируемого вещества в природной среде и возможностью образования опасных концентраций элементов на «вредных» (по А.И. Перельману) барьерах. Более точная оценка воздействия локальных источников загрязнения на окружающую среду, может быть дана на основании изучения формирующихся природно-техногенных систем, а исследование поступления и выноса вещества может носить вспомогательный характер.

Установление отрицательной обратной связи, подразумевающее проведение мероприятий по снижению техногенной нагрузки на природную среду, позволяет оптимизировать природно-техногенные системы, сделать их регулируемыми. Снижение техногенного воздействия может осуществляться различными способами. Радикальным и дорогостоящим решением может быть закрытие предприятия с последующим проведением реабилитации территории (Мироненко, 1998). Действенным, но дорогостоящим способом является также изменение технологии предприятия, разработка и применение безотходных технологий. Эффективным и экономичным способом решения проблемы, наиболее приемлемым для сложившейся экономической ситуации в нашей стране, в настоящее время является проведение природоохранных мероприятий на основе создания искусственных геохимических барьеров.

Структура основных этапов создания искусственных геохимических барьеров для охраны окружающей среды приведена на рисунке 3.

Согласно принципу централизации изучение систем начинается с установления и изучения центра, в нашем случае — источника загрязнения (Перельман, 1987). Изучение локального источника загрязнения включает сбор и анализ информации, полевые и лабораторные исследования. При изучении локальных источников важными представляются сведения: об источнике сырья; о технологии предприятия; о составе и объемах образующихся отходов.

Изучение природных условий включает климатическую, орографическую, геологическую, гидрогеологическую и др. характеристики территории.

При изучении техногенного воздействия локальных источников загрязнения на компоненты природной среды с позиций возможности применения геохимических барьеров исследуется загрязнение подземных и поверхностных вод, горных пород и почв. При необходимости проводятся ландшафтно-геохимические, биогеохимические исследования. Задачами исследований являются: определение границ техногенных ореолов и потоков рассеяния; изучение миграции загрязнителей; установление уровня загрязнения компонентов природной среды; прогноз распространения загрязнения с учетом планируемого развития предприятий.



Рис. 3. Основные этапы применения геохимических барьеров для охраны окружающей среды

Для исследования техногенных литохимических и гидрогеохимических аномалий предлагается комплекс полевых и лабораторных методов (Максимович, Блинов, 1993). Рассматриваемый комплекс опробован на многочисленных объектах.

Полевые методы. При проведении полевых исследований на начальной стадии целесообразно использование некоторых геофизических методов. Чаще всего применяются методы электроразведки, довольно широко используемые в инженерной геофизике (Матвеев, 1963, 1990, Огильви, 1990). Термометрия и резистивиметрия позволяют выделять участки разгрузки загрязненных подземных вод в водотоки и водоемы. Методом естественного поля выделяются участки с более интенсивной фильтрацией и повышенной минерализацией подземных вод. Метод заряженного тела применяется для определения направления и скорости движения подземных вод. Применение комплекса этих методов позволяет ориентировочно оконтуривать распространение загрязнения от локальных источников и проводить корректировку программы исследований. Геохимические методы включают опробование подземных и поверхностных вод, фунтов, почв и донных отложений, как на загрязненных, так и на фоновых участках. Для уточнения природных условий района могут проводиться геолого-гидрогеологические, гидрологические и др. исследования.

Лабораторные методы включают определение состава подземных и поверхностных вод, фунтов, почв и донных отложений, с использованием различных видов анализа. Необходимый комплекс лабораторных исследований в каждом конкретном случае определяется исходя из особенностей природно-техногенной системы, типов и форм миграции элементов и задач исследований.

Применение математического моделирования позволяет проводить прогноз фильтрационных потерь из хранилищ отходов, оценивать эффективность противofильтрационных сооружений, рассчитывать перенос загрязнителей и решать другие задачи (Шестаков, 1995, Лехов и др., 1999).

Представление результатов исследований должно отображать влияние геохимических неоднородностей на экологическое состояние исследуемой территории.

Блинов С.М., Максимович Н.Г. Методологические основы применения геохимических барьеров для окружающей среды // География и окружающая среда. - СПб, 2003. – С.294-304.

Выделение на основании нормативных, геохимических и биогеохимических критериев зон с опасным уровнем техногенного воздействия может служить основанием для принятия решения по целесообразности создания искусственных геохимических барьеров.

Целью встраивания искусственных геохимических барьеров в природно-техногенные системы является локализация загрязнения, распространяющегося от источника. Одной из основных задач при выборе вида геохимического барьера является определение геохимических обстановок, в которых снижается миграция загрязнителей и образуются их концентрации. Начальной стадией выбора геохимического барьера является сбор геохимической информации о загрязнителях. Возможно, использовать метод аналогий, подразумевающий изучение природных концентраций этих элементов и прогноз образования концентрации загрязнителей на искусственных геохимических барьерах, создание условий для их эффективного и долговременного действия.

Выбор физико-химических барьеров может основываться на разработанных А.И. Перельманом (1989) «геохимической классификации элементов по особенностям гипергенной миграции» и классификации «типов концентраций элементов на геохимических барьерах биосферы».

После выбора вида барьера производится разработка способа локализации загрязнения. Одним из важных моментов является выбор материала для создания искусственного геохимического барьера. Возможно применение, как природных материалов — горных пород, почв и т.д., так и искусственных образований, например производственных отходов (Сергеев и др., 1992, Maximovich, Vlinov, 1997, Максимович и др., 2000). При выборе материала для создания барьеров необходимо руководствоваться следующими основными критериями: барьер должен эффективно перехватывать загрязнители и удерживать их в течение расчетного срока эксплуатации; выбранный материал должен иметь относительно невысокую стоимость; материал не должен являться дополнительным источником загрязнения.

Задачей лабораторных исследований является изучение взаимодействия выбранного материала с загрязнителями. Опытные натурные исследования проводятся для проверки эффективности работы барьера и внесения корректировки в его функционирование.

Важным моментом является определение пространственного размещения искусственного геохимического барьера в природно-техногенной системе. Мигрирующие в результате техногенеза элементы рано или поздно концентрируются на геохимических барьерах. Такая концентрация может происходить на значительном удалении от источников, и загрязнение охватывает значительные территории. В связи с этим концентрация элементов, вовлеченных в техногенную миграцию, чаще всего наиболее желательна вблизи источников загрязнения. Эти участки уже нарушены в результате хозяйственной деятельности человека, и в большинстве случаев не используются.

На основании проведенных исследований рассчитываются необходимые параметры геохимического барьера — градиент, контрастность, емкость (Перельман, 1989). Разрабатывается конструкция искусственного геохимического барьера и технологическая схема его применения, дается прогноз его устойчивости в течение срока эксплуатации.

При благополучном прогнозе и экономической рентабельности способа проводятся проектные и строительные работы.

Основной задачей организации мониторинга является контроль эффективности встроенных геохимических барьеров. Система контроля включает наблюдения за входными и выходными параметрами миграционных потоков. На основании анализа результатов наблюдений могут приниматься меры по корректировке функционирования барьера.

### Практическое применение геохимических барьеров для охраны окружающей среды от загрязнения

Опыт работы Естественнонаучного института при Пермском государственном университете показал возможность использования геохимических барьеров в различных ситуациях.

#### *Очистка сточных вод от взвешенных частиц*

При разработке россыпных месторождений дражным способом значительный ущерб окружающей среде наносит сброс сточных вод с большим количеством взвешенных частиц. Для очистки дражных стоков от взвешенных частиц на месторождении алмазов в Красновишерском районе (Пермская область) предложено использовать грунтовые фильтры, укладываемые в русле реки (механический барьер). В качестве материала для фильтров использовались дражные отвалы, находящиеся здесь же в долине реки. Опытные натурные работы показали, что в зависимости от длины пути фильтрации концентрация взвешенных частиц в стоках может снижаться в десятки и сотни раз (рис. 4).

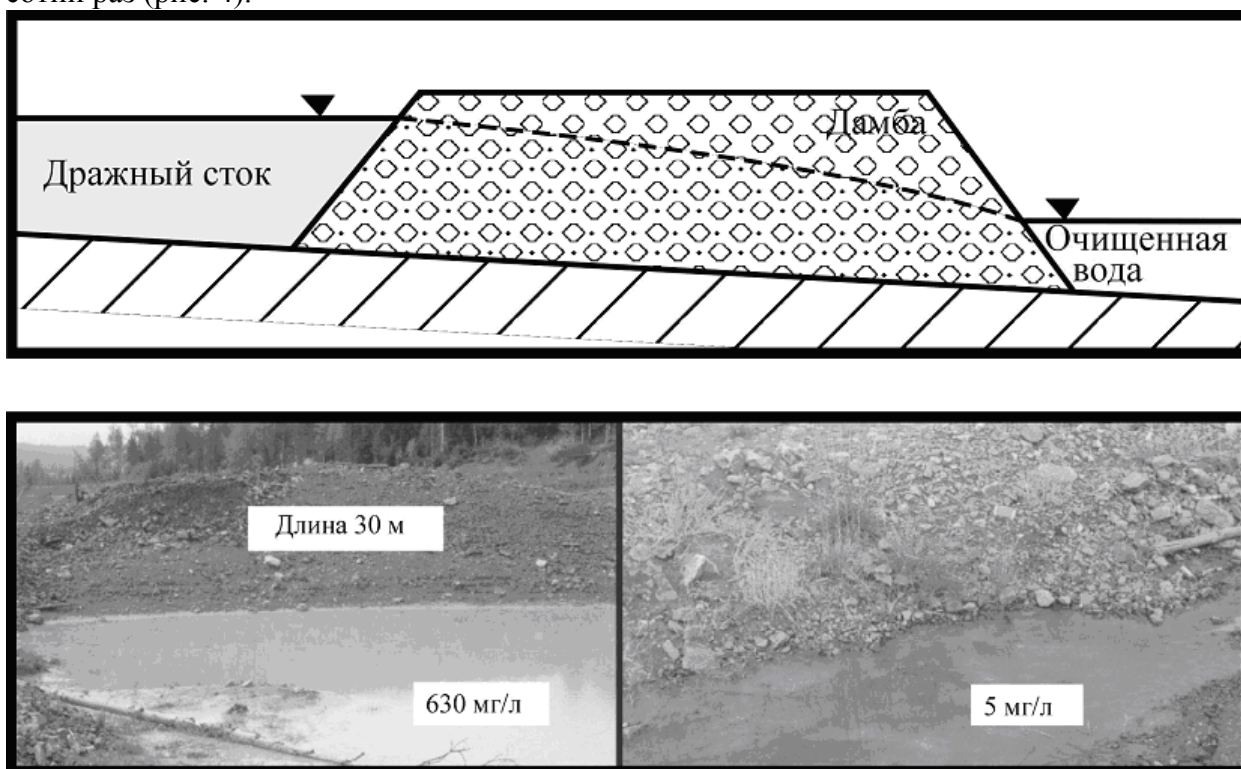


Рис. 4. Снижение концентрации взвешенных веществ в дренажных стоках на грунтовых фильтрах

Основываясь на проведенных работах и путем решения обратной задачи, авторами вычислены оптимальные параметры фунтовых фильтров, учитывающие максимальную начальную концентрацию взвешенных веществ, гранулометрический состав используемых грунтов, расход реки и продолжительность эксплуатации фильтров. Применение грунтовых фильтров не требует высоких затрат и способно снижать содержание взвешенных частиц до значений близких к фоновым.

#### *Нейтрализация кислых стоков*

Шахты Кизеловского угольного бассейна (Пермская область) сбрасывали практически без очистки в гидрографическую сеть кислые (рН=2-3)

Блинов С.М., Максимович Н.Г. Методологические основы применения геохимических барьеров для окружающей среды // География и окружающая среда. - СПб, 2003. – С.294-304.

высокоминерализованные сульфатные воды, имеющие в составе повышенные содержания железа, алюминия, тяжелых металлов.

Ликвидация шахт в период 1990-х гг. не решила экологических проблем. Откачка кислых шахтных вод на поверхность прекращена. Однако, после восстановления уровня подземных вод в течение нескольких лет сформировался самопроизвольный излив шахтных вод на поверхность. Их суммарный расход в настоящее время составляет около 2,5 тыс. м<sup>3</sup>/час, что в несколько раз меньше, чем в период работы бассейна. Однако, значительно увеличилась их минерализация — до 25 г/л и более, а также повысились концентрации загрязнителей и несколько изменился состав. Это привело к значительному загрязнению рек на протяжении десятков километров до самых устьев. Этого не наблюдалось при работе шахт. Шахтные воды поступают в 19 рек, 15 из которых выведены из водопользования. Самопроизвольный излив шахтных вод, происходящий более чем в 12 точках, в настоящее время является главной экологической проблемой региона (рис. 5).

Для улучшения экологической ситуации разработан метод нейтрализации кислых шахтных вод с использованием в качестве реагента отходов ОАО «Березниковский содовый завод», многие миллионы тонн которых накоплены в шламохранилищах на берегу Камского водохранилища (щелочной барьер). В настоящее время отходы продолжают поступать в шламохранилища и перед предприятием остро стоит проблема их дальнейшего размещения. Используемый в качестве реагента отход более чем на 95 % состоит из тонкодисперсного карбоната кальция — кальцита (также арагонита и аморфного CaCO<sub>3</sub>). В качестве примесей присутствуют портландит, доломит, этtringит, кварц и др.

Лабораторные исследования показали высокую эффективность предлагаемого метода, на основании чего в 2002 г. была создана мобильная станция нейтрализации и проведены опытно-промышленные испытания.

Независимая экспертиза, с участием 3-х государственных контролирующих организаций, дала высокую оценку эффективности разработанного метода. В результате нейтрализации рН шахтной воды повышается с 2,7-2,9 до 6,6-7,1, что удовлетворяет требованиям нормативов всех видов водопользования. В шахтных водах значительно снижается содержание основных загрязнителей. Эффективность очистки по железу и алюминию составляет 90-95 %. Содержание бериллия, цинка, никеля, кобальта, меди, превышающих ПДК в шахтных водах, снижается до значений, удовлетворяющих требованиям для водоемов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования. Содержание компонентов, привнес которых возможен за счет нейтрализации шахтных вод отходом ОАО «Березниковский содовый завод», не превышает ПДК для водоемов всех видов водопользования. Образующийся осадок планируется использовать в качестве добавок к сырью на металлургических и цементных заводах. В 2003 г. предполагается передача метода к промышленному использованию.



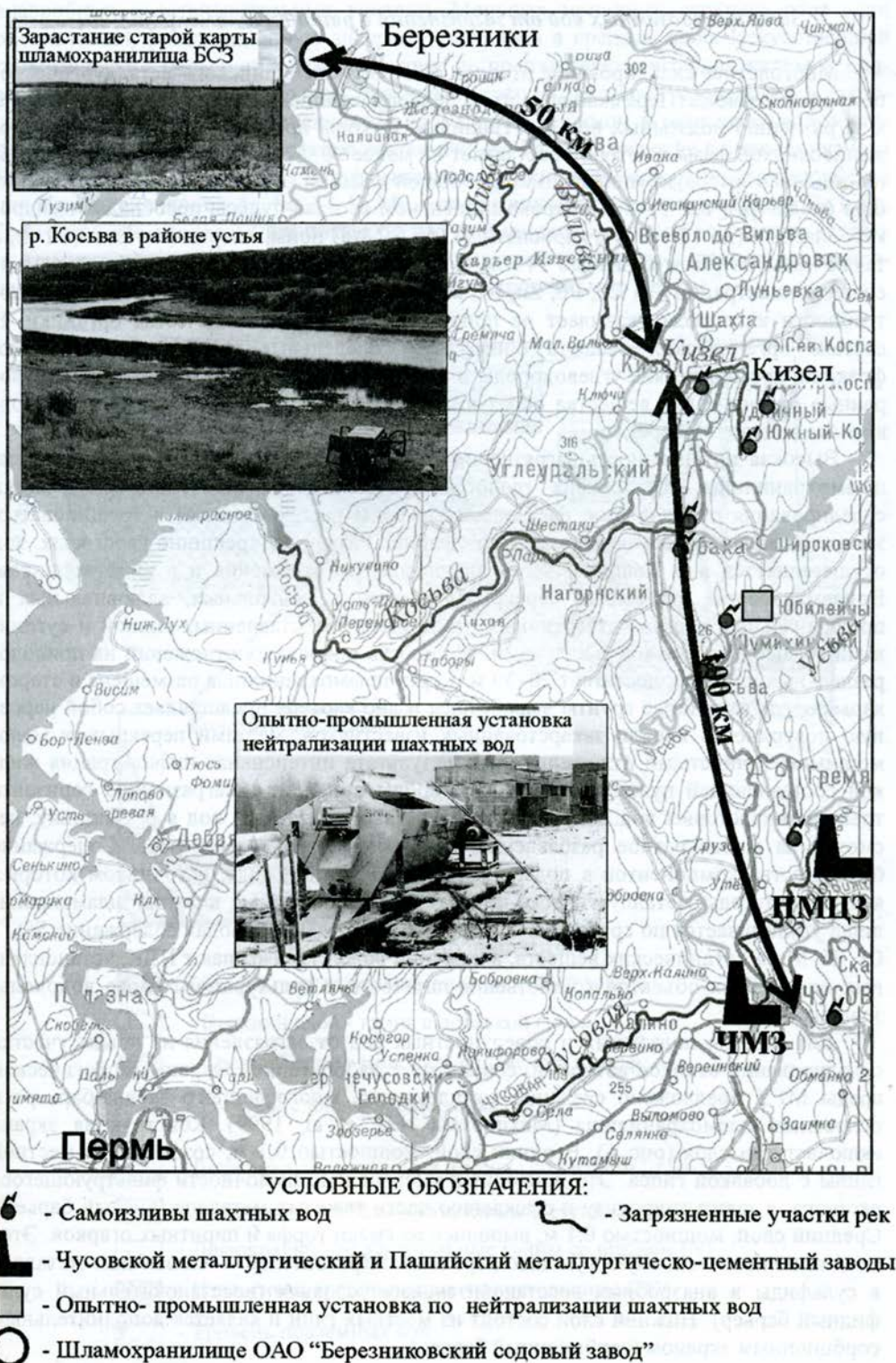


Рис. 5. Экологическая ситуация в Кизеловском угольном бассейне и возможности ее улучшения

### *Защита подземных вод от загрязнения в районах шламохранилищ*

Многолетнее складирование отходов газоочистки Пашийского металлургическо-цементного завода (Пермская область) в необорудованном шламохранилище привело к загрязнению подземных вод и р. Пашийки. Отходы представлены пульпой, содержание жидкой фазы в которой составляет не менее 90 %. Исследование состава пульпы показало высокую минерализацию жидкой фазы — 34—42 г/л и щелочную реакцию среды (pH=8,9-9,4). В макрокомпонентном составе пульпы преобладают гидрокарбонатный (до 18,2 г/л) и



Блинов С.М., Максимович Н.Г. Методологические основы применения геохимических барьеров для окружающей среды // География и окружающая среда. - СПб, 2003. – С.294-304.

карбонатный (до 5,2 г/л) ионы, хлорид-ион (до 7,8 г/л), а также ионы натрия и калия (до 14 г/л). В микрокомпонентном составе выявлены высокие концентрации Си, Cd, Pb, Zn, Ni, Mo, As, Ti, Be. Определение химической потребности кислорода указывает на присутствие большого количества органики. В составе органических веществ обнаружены предельные углеводороды высоких фракций, ароматические углеводороды и их оксипроизводные (полифенолы). Растворенные органические вещества образуют устойчивые комплексы с металлами, подвижные в щелочной среде.

Высокая интенсивность загрязнения подземных и поверхностных вод в районе шламохранилища обусловлена геолого-гидрогеологическими условиями участка складирования отходов (рис. 6). Подземные воды распространены в трещиноватых закарстованных известняках верхнего девона. Разгрузка трещинно-карстовых вод осуществляется в р. Пашийку через аллювиальные отложения и в виде родников. Водовмещающие известняки перекрыты толщей делювиальных, аллювиальных и пролювиальных неоген-четвертичных отложений, представленных глиной и суглинками со щебнем, галькой и валунами. Мощность покровных отложений на приводораздельных участках достигает 20-30 м. Карта шламохранилища размещена в старом карьере, где глинистые грунты выработаны и дно карьера представляет собой неровную поверхность кровли закарстованных известняков, местами перекрытых маломощными глинистыми отложениями. В результате интенсивная инфильтрация жидкой составляющей пульпы в коренные породы приводит к загрязнению горизонта трещинно-карстовых вод. Разгрузка загрязненных подземных вод в р. Пашийку, несмотря на многократное разбавление, изменяет состав воды в реке. Содержание большинства компонентов в подземных водах и речной воде, источником которых являются отходы металлургическо-цементного завода, в зоне влияния шламохранилища увеличивается по сравнению с фоновым. В подземных водах содержание  $SO_4^{2-}$ , Cl, Ti, Mn и органических веществ, а в речной воде Ti превышают ПДК, установленных для водных объектов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования.

Для защиты подземных и поверхностных вод от загрязнения на новом участке складирования отходов авторами, совместно с лабораторией Охраны геологической среды МГУ предложено создание комплексного, многослойного экрана-барьера в основании шламохранилища (Maximovich N.G. et al, 1999). Конструкция экрана включает три слоя (рис. 6). Верхний слой, мощностью 0,1 м, создается из местной глины с добавкой гипса. Это приводит к уменьшению щелочности фильтрующегося раствора, а также гидролизу и осаждению части тяжелых металлов (кислый барьер). Средний слой, мощностью 0,1 м, выполнен из смеси торфа и пиритных огарков. Этот слой выполняет основную функцию перехвата загрязнителей — связывание металлов в сульфиды в анаэробных восстановительных условиях (восстановительный сульфидный барьер). Нижний слой состоит из местных глин и является дополнительным сорбционным экраном (сорбционный барьер).

Роль верхнего и нижнего слоев глины в структуре экрана заключается также в уменьшении и рассредоточении фильтрационной нагрузки на всю территорию шламохранилища и в консервации промежуточного слоя FeS и торфа для создания в нем анаэробных восстановительных условий. Меньшая мощность верхнего слоя глин обеспечивает фильтрационную задержку растворов в среднем слое. Искусственный геохимический барьер такой конструкции не препятствует миграции железа в подземные воды. Однако, учитывая, что инфильтрация растворов происходит в закарстованные известняки, отличающиеся промывным режимом и окислительной обстановкой, предполагается окисление растворенного  $Fe^{2+}$  и осаждение в виде аморфного  $Fe(OH)_3$ . Гидроксиды железа будут выполнять функцию дополнительного адсорбента для Hg и оксианионов As, Se, Ti, V, Mo, а также анионных гидрокомплексов Be и Zn. Лабораторные исследования показали, что применение метода обеспечивает защиту подземных вод от поступления указанных загрязнителей на весь период запланированной эксплуатации. В

настоящее время идут строительные работы.

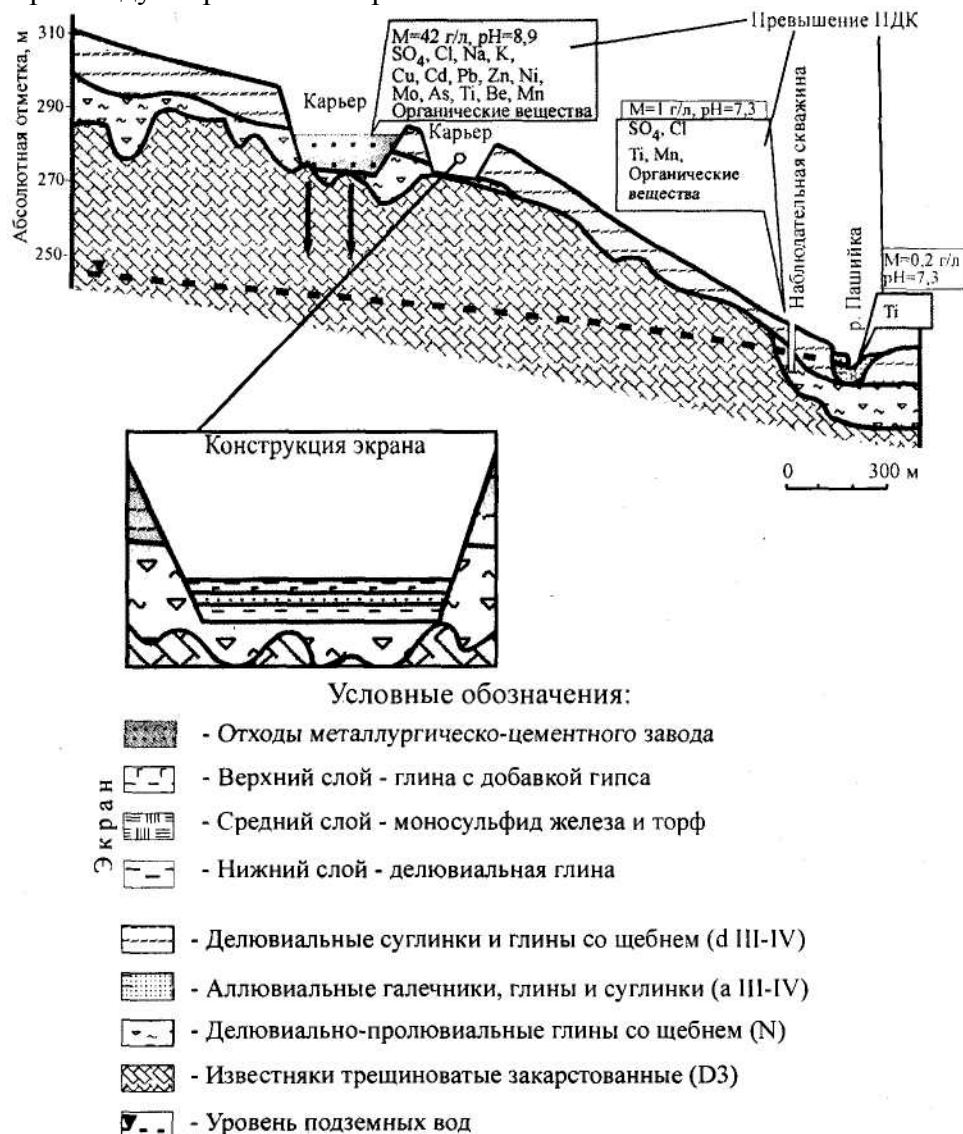


Рис. 6. Схема защиты подземных вод от загрязнения путем создания комплексного барьера-экрана

### Литература

1. Алексеев В.А. Экологическая геохимия. М.: Логос, 2000.
2. Воробьев А.Е. Человек и биосфера. Основы взаимодействия, эволюции и самоорганизации. М.: МГГУ, 1998.
3. Воробьев А.Е., Глузуш А.Д. Геохимия золота. Ресурсы и технологии России: Справочное издание. М: Изд-во РУДН, 2000.
4. Емельянов Е.М. Барьерные зоны в океане. Калининград, 1998.
5. Защита подземных вод от загрязнения в районах проектируемых и действующих хвостохранилищ / Под ред. В.И. Сергеева. М.: Изд-во МГУ, 1992.
6. Максимович Н.Г., Блинов С.М. Основы методики изучения техногенных изменений среды в районах складирования отходов // Экологическая безопасность зон градопромышленных агломераций Западного Урала: Тез. докл. семинара. Пермь, 1993.
7. Максимович Н.Г., Блинов С.М., Сергеев В.И., Савенко В.С., Шимко Т.Г. Разработка комплексного экрана для защиты подземных вод в районе шламохранилища // Уральский геологический журнал, 2000. № 2(14).
8. Матвеев Б.К. Геофизические методы изучения движения подземных вод. М.:

Блинов С.М., Максимович Н.Г. Методологические основы применения геохимических барьеров для окружающей среды // География и окружающая среда. - СПб, 2003. – С.294-304. Госгеолтехиздат, 1963.

9. *Матвеев Б.К.* Электроразведка. М.: Недра, 1990.

10. *Мироненко В.А.* Контроль и восстановления качества подземных вод на загрязненных территориях // Геоэкология. 1998. № 2.

11. *Огильви А.А.* Инженерная геофизика. М.: Недра, 1990.

12. *Перельман А.И.* Геохимия. Учеб. для геол. спец. вузов. 2-е изд., пераб. и доп. М.: Высш. шк., 1989.

13. *Перельман А.И.* Изучая геохимию...: (О методологии науки). М: Наука, 1987.

14. *Перельман А.И., Касимов Н.С* Геохимия ландшафта. М: Астрей, 2000.

15. *Шестаков В.М.* Гидрогеодинамика. М.: Изд-во МГУ, 1995.

16. Экологическая химия: Пер. с нем. / Под ред. Ф. Корте. М.: Мир, 1997.

17. *В.Т. Трофимов, Д.Г. Зилинг, Т.А. Барабошкина и др.* Экологические функции литосферы / Под ред. В.Т. Трофимова. М.: Изд-во МГУ, 2000.

18. *Maximovich N.G., Blinov S.M.* Hydrosphere transformation in the diamond placers mining area in the Vishera river basin, the Urals // Engineering Geology and the Environment. Rotterdam, Brookfield, 1997. V.3.

19. *Maximovich N.G., Sergheev V.I., Savenko V.S., Shimko T.G., Blinov S.M.* Development of combined screen for groundwater protection in the area of sludge settler // Protection of Groundwater from Pollution and Seawater Intrusion : 2<sup>nd</sup> Symposium.-Bari, September 27 October 1, 1999.