



# ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ПРИКЛАДНЫЕ АСПЕКТЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ГЕОХИМИЧЕСКИХ БАРЬЕРОВ ДЛЯ ОХРАНЫ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

## THEORETICAL AND APPLIED ASPECTS OF USING GEOCHEMICAL BARRIERS FOR THE ENVIRONMENT PROTECTION

МАКСИМОВИЧ Н.Г.

*Зам. директора по научной работе Естественно-научного института Пермского государственного университета, nmax@psu.ru*

MAXIMOVICH N.G.

*Deputy director for scientific work of the Natural Sciences Institute of Perm State University, nmax@psu.ru*

### Ключевые слова:

*геохимические барьеры; классификация; охрана окружающей среды; угольный бассейн; кислые стоки с отвалов.*

### Key words:

*geochemical barriers; classification; the environment protection; coal field; acid rock drainage.*

### Аннотация

**Использование геохимических барьеров для охраны окружающей среды является перспективным направлением. В статье рассмотрены теоретические вопросы использования геохимических барьеров для охраны окружающей среды. Описывается методическое обеспечение создания новых природоохранных технологий на основе создания искусственных барьеров. Показано практическое использование геохимических барьеров для очистки кислых стоков с шахтных отвалов на территории Кизеловского угольного бассейна.**

Одной из основных практических проблем в области экологии является повышение эффективности защиты окружающей среды от загрязнения.

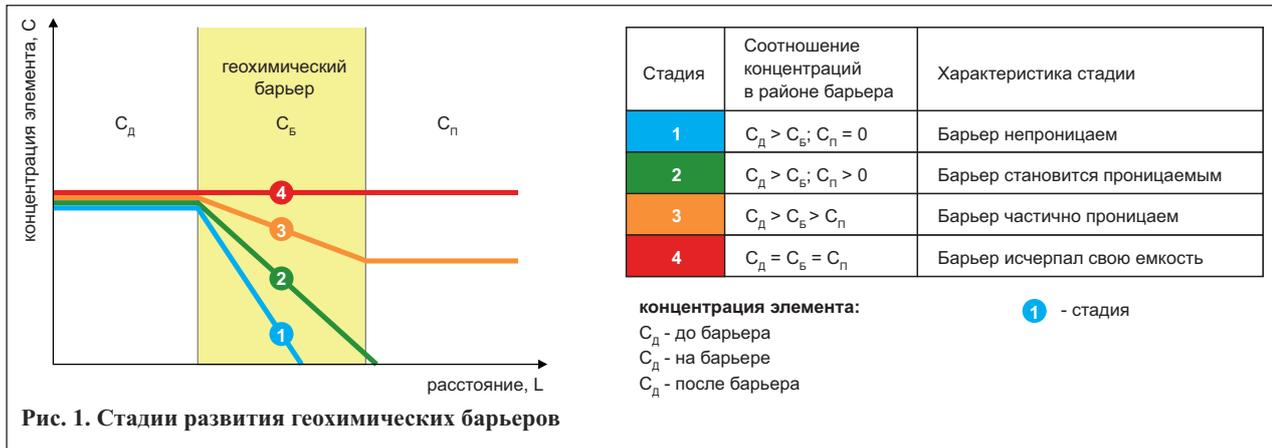
Хозяйственная деятельность человека приводит к образованию техногенных геохимических аномалий, характеризующихся повышенными концентрациями загрязняющих веществ в атмосфере, почвах и горных породах, подземных и поверхностных водах, живых организмах. Концентрации отдельных химических элементов в пределах техногенных ореолов и потоков рассеяния часто превышают значения, безопасные для жизни и здоровья людей, производства сельскохозяйственной продукции и нормального развития биотических компонентов.

Основным направлением улучшения экологической ситуации является совершенствование технологических схем предприятий — модернизация систем очистки сбросов и выбросов, переработки отходов и т.д. Современные природоохранные сооружения для очистки сточных вод и выбросов в атмосферу, а также для изоляции участков складирования твердых и жидких токсичных отходов, как правило, требуют больших капитальных затрат и значительных энергетических и материальных ресурсов при их эксплуатации. И в большинстве случаев они сами являются источниками загрязнения окружающей среды. В связи с этим возникает задача минимизации техногенного воздействия промышленности на окружающую среду экономически выгодными способами.

В последние десятилетия наметилась тенденция использования геохимических барьеров для защиты окружающей среды от загрязнения, применение которых в ряде случаев позволяет отказаться от строительства сложных очистных сооружений и проведения других дорогостоящих природоохранных мероприятий. Однако широкое использование таких барьеров сдерживается из-за отсутствия теоретических основ их практического применения. В данной работе автор попытался сформулировать научно-методические основы

### Abstract

**Use of geochemical barriers is a perspective direction for the environment protection. The article considers theoretical issues of using geochemical barriers for the environment protection, presents methodological support for creating new environment-oriented technologies on the base of artificial geochemical barriers. Practical use of geochemical barriers for purification of the acid rock drainage on the Kizel coal field is also shown.**



создания геохимических барьеров для решения экологических проблем.

Термином «*геохимические барьеры*» А.И. Перельман в 1961 г. предложил назвать *такие участки зоны гипергенеза, в которых на коротком расстоянии происходит резкая смена условий миграции, что приводит к концентрированию в этом месте химических элементов*.

Несмотря на достаточную очевидность, понятие «геохимический барьер» ранее никем не было сформулировано, хотя в геологии и в других науках о Земле использовались близкие термины для обозначения процессов и участков концентрирования химических элементов. После разработки А.И. Перельманом теоретико-методических основ учение о геохимических барьерах получило бурное развитие в самых различных областях. Наиболее широкое распространение оно получило в учении о полезных ископаемых, геохимии ландшафтов, биогеохимии, геохимии морей и океанов, охране окружающей среды (в работах В.А. Алексеенко, Е.Н. Борисенко, А.Е. Воробьева, М.А. Глазовской, Е.М. Емельянова, Н.С. Касимова, А.Ю. Опекунова, В.И. Сергеева, В.С. Савенко, Н.П. Солнцевой, Т.Т. Тайсаева, К.Н. Трубецкой, M. Langet и др.). В настоящее время понятие «геохимические барьеры» применяется для подобных образований и за пределами зоны гипергенеза.

В 1997 г. в российских нормативных документах появились указания на необходимость изучения геохимических барьеров для «выявления основных направлений и путей миграции, а также закономерностей распределения и аккумуляции загрязнений» [20].

Возможность управления миграционными потоками позволяет использовать геохимические барьеры для создания новых природоохранных технологий.

Согласно современным представлениям [4], геохимический барьер — это открытая неравновесная динамическая самоорганизующаяся система с множеством факторов, обуславливающих осаждение элементов. В миграционном потоке, приближающемся к барьеру, для каждого химического элемента, способного осаждаться на нем, существует свой пространственно разобщенный с другими геохимический барьер. Осаждение элементов в зоне барьера происходит в соответствии с принципом

торможения реакций, сформулированным А.И. Перельманом: «Если в системе один из реагентов присутствует в количестве, недостаточном для реализации всех возможных реакций, то будут осуществляться лишь те реакции, для которых характерно максимальное химическое родство или наименьшая величина произведения растворимости».

Снижение интенсивности миграции и концентрирование элементов на геохимических барьерах происходят из-за резкой смены параметров миграции (скорости потока, давления, температуры, pH, Eh и др.) и свойств химических элементов (которые легко мигрируют в одной геохимической обстановке и малоподвижны в другой). Барьеры обычно представляют собой границы между геохимическими обстановками, т.е. это те участки, где одна обстановка резко сменяется другой. Понятие «*граница барьера*» является несколько условным. Во многих случаях она носит размытый характер и правильнее говорить о «*пограничной зоне*», где резко возрастают градиенты концентраций элементов.

### Характеристики и стадии развития геохимических барьеров

**Градиент барьера ( $G$ )** характеризует изменение геохимических показателей (температуры, давления, Eh, pH и др.) в направлении миграции химических элементов:

$$G = \frac{m_2 - m_1}{l},$$

где  $m_1, m_2$  — значения данного геохимического показателя до и после барьера соответственно;  $l$  — ширина барьера.

**Контрастность ( $S$ )** характеризуется отношением величины геохимических показателей до и после барьера [16]:

$$S = \frac{m_1}{m_2}.$$

Интенсивность накопления элемента увеличивается с ростом контрастности и градиента барьера.

**Емкость барьера** представляет собой величину, характеризующую максимальное количество веществ, способных накапливаться в единице массы субстрата.

Классификация геохимических барьеров по конфигурации в пространстве		
Тип барьера	Соотношение размеров	Примеры
Линейный	$L \gg S, L \gg H$	Реки, береговые зоны морей
Площадной	$L \gg H, S \gg H, L \approx S$	Почвы
Изометричный	$L \approx S \approx H$	Многие месторождения полезных ископаемых

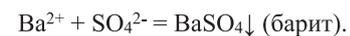
Геохимические барьеры проходят различные *стадии* своего *развития* (рис. 1): (1) начинается поступление вещества с концентрацией  $C_0$  в зону со сменой условий миграции, и весь поток концентрируется на геохимическом барьере; (2) в определенный момент времени после частичного

насыщения барьера он становится проницаемым для мигрирующих элементов; (3) барьер постепенно теряет свою эффективность, и концентрации вещества до и после барьера начинают выравниваться; (4) барьер исчерпывает свою емкость, и дальнейшее концентрирование элементов на нем прекращается.

**Устойчивость барьера** во многом зависит от обратимости или необратимости процессов и реакций, которые обуславливают его образование.

При формировании барьера за счет *обратимой химической реакции* направление последней зависит от концентрации веществ — участников реакции. При достижении равновесия барьер содержит как необходимые для реакции вещества, так и продукты реакции. При снижении концентрации веществ, поступающих в область геохимического барьера, может начаться его разрушение за счет того, что реакция идет в обратимую сторону.

В том случае, если формирование барьера идет за счет *необратимой химической реакции* (идущей только в одном направлении), формирование барьера завершается полным превращением исходных веществ в продукты реакции. Примером такого барьера может служить формирование баритовых залежей при смешивании вод, содержащих ион  $Ba^{2+}$ , с сульфатными водами:



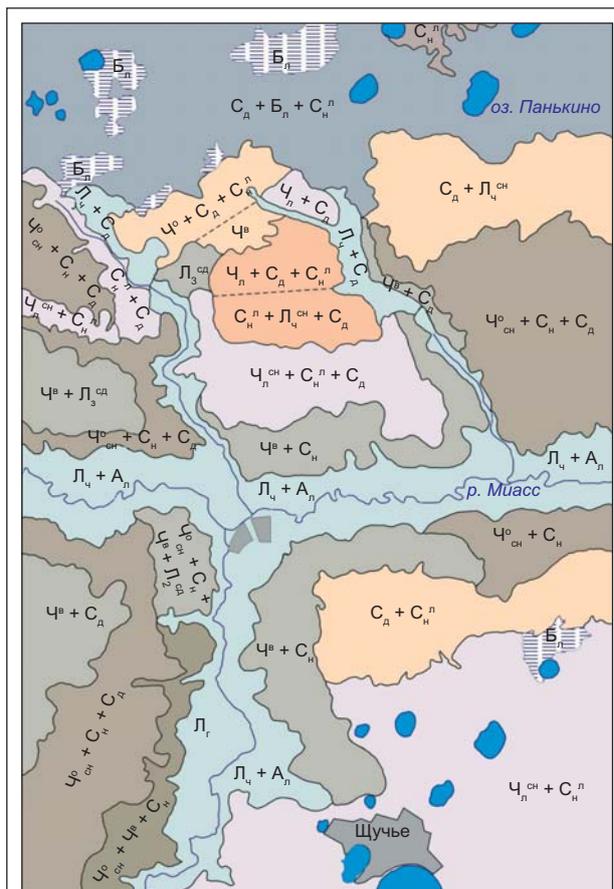
Барьеры, в основе формирования которых лежат необратимые процессы и реакции, как правило, более устойчивы, что особенно важно при использовании их для охраны окружающей среды.

Важной характеристикой является **тип преобладающего массопереноса** вещества, поступающего к барьеру и движущегося в его теле. Для оценки преобладающего типа переноса вещества — *конвективного* или *диффузионного* — можно использовать критерий Пекле ( $Pe$ ), являющийся безразмерной величиной:

$$Pe = \frac{VL}{D},$$

где  $V$  — действительная скорость фильтрации;  $D$  — коэффициент молекулярной диффузии;  $L$  — характерный линейный размер, в пределах которого происходит изменение концентрации рассматриваемого соединения [3].

Рассеивание вещества в направлении фильтрации при  $Pe > 10$  определяется только конвекцией, при  $Pe < 5 \cdot 10^{-2}$  — только молекулярной диффузией, при  $5 \cdot 10^{-2} < Pe < 10$  — смешанным массопереносом.



Индекс	Наименование почв
Ч°	Чернозем обыкновенный
Чв	Чернозем выщелоченный
Чсн	Чернозем обыкновенный солонцеватый
Чл	Лугово-черноземная
Члсн	Лугово-черноземная солонцеватая
Лч	Черноземно-луговая
Лсн	Черноземно-луговая солонцеватая
Лг	Луговая
Ал	Аллювиальная дерновая
Сн	Солонец
Сл	Солонец луговой
Сд	Солодь лугово-степная
Бл	Лугово-болотная иловатая

**Рис. 2. Почвенный покров как совокупность площадных геохимических барьеров (Щучанский район, Курганская область)**



Тип массопереноса во многом определяет скорость образования барьера. В результате формирования барьера и снижения его проницаемости тип массопереноса может меняться с конвективного на диффузионный.

Геохимические барьеры, как отмечалось выше, **не имеют четких границ**. Вокруг них формируются **ореолы рассеяния**, т.е. зоны повышенного содержания химических элементов. Различают *первичные* (возникающие одновременно с формированием барьера) и *вторичные* (образующиеся из продуктов разрушения барьера в породах, почвах, водах, растениях и подземной атмосфере в результате гипергенных процессов) ореолы рассеяния.

Особенностью *первичных ореолов рассеяния* является их зональное строение — направленное и закономерное изменение соотношений между содержанием элементов. *Вторичные ореолы рассеяния* разделяются на *механические* (рассеянные в твердой фазе), *солевые* (рассеянные в форме растворимых соединений), *газовые* и *биогеохимические* [2, 19].

Первичные и вторичные ореолы рассеивания можно рассматривать как **сопутствующие геохимические барьеры**.

### Классификация геохимических барьеров

С появлением учения о геохимических барьерах начал развиваться и его понятийный аппарат. Классификация геохимических барьеров как средство установления связей между понятиями служит для ориентировки в их многообразии. Кроме систематизации современных знаний классификация позволяет давать обоснованные прогнозы относительно неизвестных еще фактов и закономерностей. Это особенно важно для прогноза поведения техногенных компонентов в окружающей среде и разработки принципов создания геохимических барьеров для природоохранных целей.

Классифицирование геохимических барьеров представляет собой непростую задачу. Многообразие механизмов концентрирования элементов, значительное количество образующихся химических соединений, различное их агрегатное состояние, большая пространственная изменчивость барьеров, наличие организованной и стихийной деятельности человека формируют многообразие классификационных признаков.

По конфигурации в пространстве автор настоящей статьи предлагает классифицировать барьеры по соотношению длины  $L$ , ширины  $S$  и глубины  $H$ . Можно выделить *линейные* (когда длина барьеров больше их ширины и глубины), *площадные* (когда длина и ширина больше глубины) и *изометричные* (когда длина, ширина и глубина близки между собой по величине) барьеры (табл. 1). В природе, естественно, существуют и *промежуточные типы*.

Выделенные типы барьеров могут иметь дискретный характер и образовывать совокупности в пространстве. Например, участки рек с различными скоростями течения являются механическими

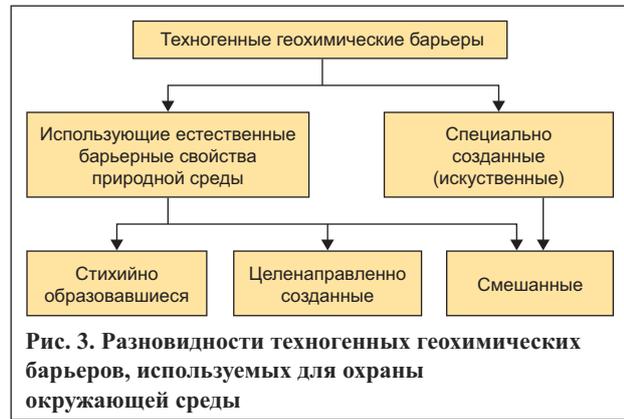


Рис. 3. Разновидности техногенных геохимических барьеров, используемых для охраны окружающей среды

барьерами для частиц различной крупности, т.е. река представляет собой совокупность линейных механических барьеров.

Примером дискретных площадных барьеров могут служить участки поверхности земли с пестрым составом почвенного покрова. Участки с одинаковыми почвами образуют совокупности природных дискретных площадных барьеров (рис. 2). Анализ таких совокупностей позволяет районировать территорию по степени буферности почв в отношении различных загрязнителей.

Исследование почв в курганском Зауралье показало, что высокое содержание гумуса обеспечивает их повышенную поглощательную способность и вместе с тем способствует наиболее быстрому и полному разложению поступивших туда загрязняющих ингредиентов. Наибольшей буферностью будут обладать черноземно-луговые почвы с содержанием гумуса до 12%, а наименьшей — солоды, в которых содержание гумуса составляет всего 2–3% [21].

Развитие промышленности привело к формированию участков земной поверхности, где техногенные процессы преобладают над природными. Наряду с процессами рассеивания происходит аккумуляция веществ, образующихся в результате этих процессов, на **техногенных геохимических барьерах** — участках, где происходит резкое уменьшение интенсивности техногенной миграции и, как следствие, концентрирование элементов и соединений (по А.И. Перельману [16]). В ряде случаев техногенные барьеры целенаправленно создаются на пути движения техногенных потоков для локализации загрязнения.

Отличительной особенностью техногенных барьеров является возможность аккумуляции ве-

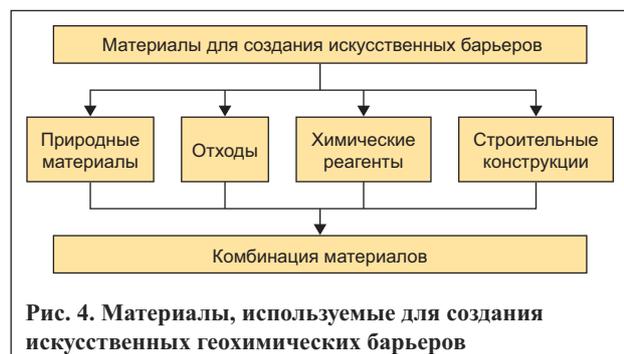


Рис. 4. Материалы, используемые для создания искусственных геохимических барьеров

ществ, не встречающихся в природных условиях, таких как нефтепродукты, полиароматические углеводороды, пестициды и др. Концентрации веществ, имеющих природные аналоги, на техногенных барьерах в ряде случаев значительно выше, чем на природных.

Техногенные геохимические барьеры изучены пока значительно хуже, чем природные. В том числе в настоящее время не существует их единой классификации.

### Характеристики техногенных геохимических барьеров

Для техногенных геохимических барьеров используются те же характеристики, что и для природных. Однако для характеристики барьерных функций среды используются специальные показатели. Одним из них является, например, *защищенность подземных вод от загрязнения*, под которой, согласно В.М. Гольдбергу [1], понимается *перекрываемость водоносного горизонта отложениями (прежде всего слабопроницаемыми), препятствующими проникновению в него загрязняющих веществ с поверхности земли*.

Защищенность подземных вод зависит от ряда природных и техногенных факторов. К основным *природным факторам* относятся: наличие в разрезе слабопроницаемых отложений; глубина залегания подземных вод; мощность, литология, физико-химическая активность, фильтрационные и сорбционные свойства пород; соотношение уровней водоносных горизонтов. На основе изучения этих факторов строятся карты защищенности подземных вод.

К *техногенным факторам* относятся: условия нахождения загрязняющих веществ на поверхности земли (хранения отходов в шламохранилищах, сброса сточных вод и др.); определяемый этими условиями характер проникновения загрязняющих веществ в подземные воды; специфические свойства загрязняющих веществ; миграционная способность; химическая стойкость и др.

Согласно Н.П. Солнцевой [18], среди техногенных геохимических барьеров выделяются две группы: (1) специальные технические средства и сооружения (фильтры, очистные сооружения, отстойники и др.) [17]; (2) техногенные барьеры, новообразованные в природной среде. Во второй группе следует различать: *встроенные* техноген-

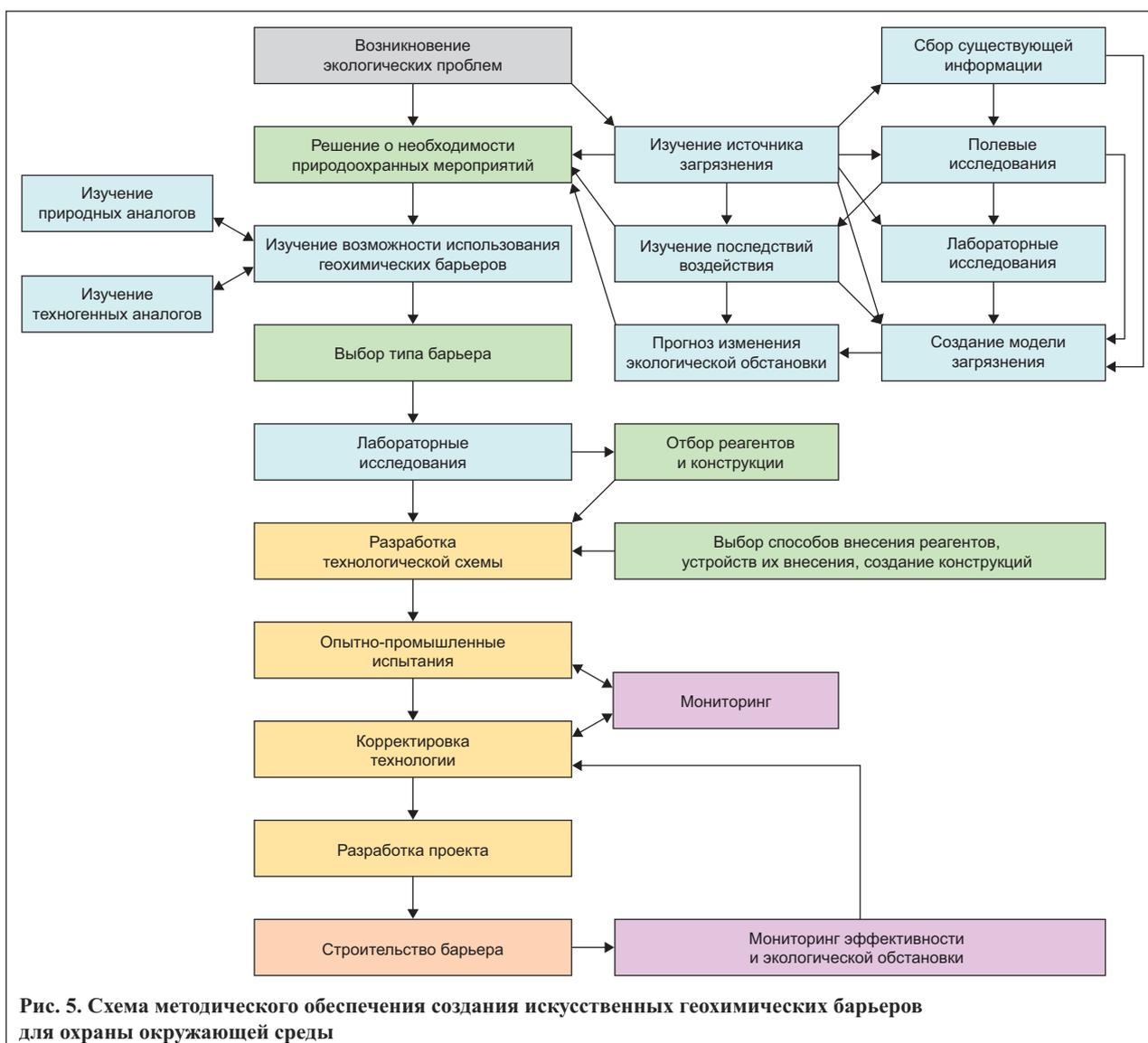


Рис. 5. Схема методического обеспечения создания искусственных геохимических барьеров для охраны окружающей среды

ные геохимические барьеры, возникающие из-за введения в природную среду веществ, резко меняющих геохимию природных процессов, и *вторичные (попутные)*, возникающие из-за техногенно обусловленных изменений в ходе природных процессов [18].

Техногенные барьеры играют значительную роль в защите окружающей среды, снижая или прекращая миграцию загрязнителей. Накопленный опыт показывает, что среди всего разнообразия техногенных геохимических барьеров, применяемых для этих целей, можно выделить разновидности, в которых стихийно или целенаправленно используются либо *естественные*, либо *искусственные (созданные по специальным технологиям)* барьерные свойства природной среды. В ряде случаев техногенные барьеры могут создаваться и на основе использования обоих указанных принципов (рис. 3).

Рассмотрим несколько примеров выделенных разновидностей техногенных геохимических барьеров.

### **Использование барьерных свойств среды**

В ходе хозяйственной деятельности человека нередко происходит бесконтрольное загрязнение окружающей среды. В ряде случаев особенности почв, грунтов, поверхностных и подземных вод, рельефа и др. являются причинами формирования геохимических барьеров на пути миграции загрязнителей. В этом случае можно говорить о *стихийно образовавшихся барьерах*. Наиболее распространенными барьерами такого типа являются почвы и глинистые грунты, задерживающие многие виды загрязнителей, а также карбонатные по-

роды и присущие им воды, выполняющие роль щелочных геохимических барьеров. Известны случаи, когда для снижения интенсивности миграции загрязнителей *барьерные свойства природной среды используются целенаправленно*. Для этого существуют специальные технологии и приемы.

Для решения различных задач (охраны окружающей среды, обогащения полезных ископаемых, инженерной защиты территорий и др.) могут специально создаваться техногенные геохимические барьеры, которые предлагается называть *искусственными*. Для их создания разрабатываются специальные технологии и применяются различные материалы и вещества (в зависимости от специфики барьеров и экономической целесообразности) (рис. 4).

*Природные материалы* широко используются для создания сорбционных (глины, суглинки, торф и т.д.), щелочных (карбонаты) и других барьеров. Преимуществом использования таких материалов является их широкое распространение (что снижает транспортные расходы) и относительно низкая стоимость.

Перспективным направлением является использование *отходов производства*. При этом наряду с их низкой стоимостью решается и другая экологическая задача — утилизация отходов. В том случае, когда природные вещества и отходы малоэффективны для создания барьера, подбираются специальные химические реагенты. Они, как правило, дают возможность обеспечить необходимую эффективность работы барьера, но имеют большую стоимость.

В некоторых случаях (чаще всего для создания механических барьеров) используются *специальные строительные конструкции*.



Рис. 6. Отвалы на берегу р. Усьвы, протекающей по территории Кизеловского угольного бассейна

Известны случаи создания барьеров *на основе биологических объектов* (растений, микроорганизмов и т.д.).

### **Методические основы создания искусственных геохимических барьеров**

Создание искусственных геохимических барьеров для охраны окружающей среды включает в себя широкий спектр исследований. Схематически они представлены на рис. 5.

При возникновении экологических проблем, связанных с миграцией загрязнителей, необходимо выявить и охарактеризовать источник загрязнения, изучить его последствия и сделать прогноз изменений в состоянии окружающей среды. Для этого проводится сбор существующей информации и выполняются полевые и лабораторные исследования, на основании чего создается модель загрязнения.

Полученная информация позволяет оценить принципиальную возможность использования геохимических барьеров для решения возникших проблем. Полезную информацию при этом может дать изучение природных и техногенных аналогов. Для выбора типа барьера необходимо выполнить комплекс лабораторных исследований, которые позволят оценить естественные защитные свойства среды или выбрать необходимые реагенты. После этого создается модель барьера и технологическая схема его создания: количество реагентов, способы их внесения, конструктивные особенности и т.д. Затем проводятся опытно-промышленные испытания, корректируется технология и разрабатывается проект барьера. В ходе его эксплуатации ведется мониторинг его эффективности и вносятся необходимые корректировки в технологию.

Данная схема или ее отдельные элементы были опробованы на ряде промышленных объектов с различными видами техногенного воздействия. Автором настоящей статьи были разработаны и опробованы технологии создания геохимических барьеров:

- для очистки речных вод от взвешенных частиц при добыче алмазов [8];
- очистки кислых шахтных вод Кизеловского угольного бассейна с использованием отходов содового производства [11];
- борьбы с нефтяным загрязнением [9, 6, 12, 13, 14];
- создания комплексного экрана в районе размещения шламов газоочистки [8],
- уменьшения концентрации сульфатов в технологических водах Хольбоджинского угольного разреза;
- снижения сульфатной агрессивности подземных вод к подземным конструкциям [7] и др.

Остановимся более подробно на примере очистки кислых шахтных вод Кизеловского угольного бассейна, эксплуатация которого продолжалась в течение 200 лет. За время работы бассейна в более чем 70 отвалах накопилось свыше 35 млн м<sup>3</sup> пород (рис. 6) [5]. Ликвидация шахт этого угольного бассейна в 1990-х гг. не решила многих его экологических проблем. Одну из них представляют стоки породных отвалов (рис. 7, 8), влияние которых на химический состав подземных и поверхностных вод прилегающих территорий проявляется в загрязнении этих вод и в деградации прилегающих земель (см. рис. 7, 8).

Породные отвалы Кизеловского угольного бассейна состоят из обломков аргиллита, песчаника и известняка с включениями угля. В этих породах протекают процессы физического выветривания,



Рис. 7. Зона стоков с отвала шахты Широковская Кизеловского угольного бассейна



окисления, гидролиза, гидратации и метасоматоза. Процесс окисления пирита, содержание которого в отвалах достигает 4%, идет с образованием серной кислоты, оксидов и гидроксидов железа. Реакции окисления идут с выделением тепла и сопровождаются самовозгоранием отвалов, обжигом, переплавлением пород и фумарольными процессами. Атмосферные осадки, взаимодействуя с породными отвалами, обогащаются растворимыми соединениями. Стоки с отвалов характеризуются сильноокислой реакцией среды (рН 1–3), высокой концентрацией сульфат-ионов (до 30 г/л), железа (до 8 г/л), многих тяжелых металлов и высокой минерализацией (до 50 г/л). Эти стоки служат источником загрязнения поверхностных и подземных вод. Их инфильтрация в зону аэрации отражается на химическом составе подземных вод, физико-механических и фильтрационных свойствах грунтов. Загрязненные воды приобретают агрессивность к бетону.

Для очистки подземных вод в районах отвалов создавались искусственные щелочные геохимические барьеры. В качестве реагента использовались отсеивы, образующиеся при добыче известняка. Карбонатные породы в пределах главной Кизеловской антиклинали и других геоструктур бассейна имеют достаточно широкое распространение. На территории региона имеется ряд крупных карьеров по добыче известняка, поэтому использование отходов, образующихся при этом, обходится относительно дешево. Комплекс лабораторных работ показал высокую эффективность использования карбонатных пород.

Опытнo-промышленные испытания проводились на участке, расположенном вблизи одного из отвалов ниже по потоку подземных вод.

Подземные воды распространены здесь в суглинках с включениями дресвы и щебня кварце-

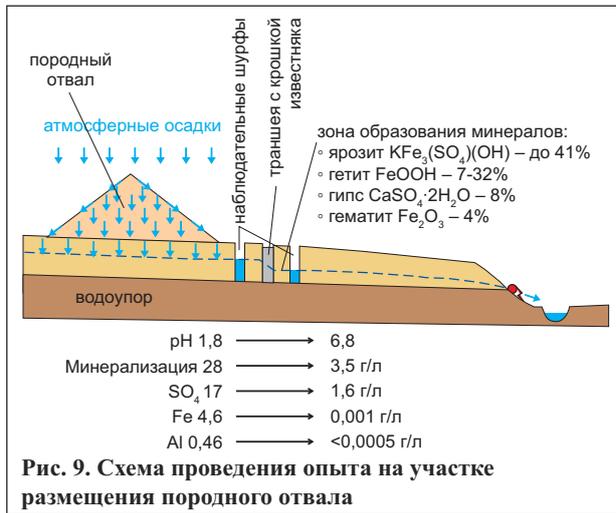
вого алевролита на глубине 0,3–0,4 м. По данным режимных наблюдений, вода на участке до начала опытных работ имела сульфатно-железисто-натриевый состав, содержание в ней сульфатов достигало 19,7 г/л, железа — 5,3 г/л. Минерализация воды изменялась от 17 до 28 г/л, рН находился в пределах 1,7–2,1.

Для очистки подземных вод на опытном участке известняк укладывался в перпендикулярную потоку траншею, пройденную до водоупора, которым является плотная глина, залегающая на глубине 1–1,2 м. Выше и ниже по потоку от канавы проходились шурфы для наблюдения за составом подземных вод.

В результате водородный показатель подземных вод ниже по потоку повысился с 1,8 до 6,8 и сохранял близкие значения в течение года наблюдений. Химический состав воды сменился на сульфатно-гидрокарбонатно-кальциевый. Существенно снизилась минерализация воды (с 28 до 3,5 г/л), а также содержание в ней основных загрязняющих компонентов (рис. 9). Изменились и фильтрационные свойства грунтов. Это объясняется тем, что в известняковой крошке (щелочном геохимическом барьере), а также в массиве грунтов, расположенном ниже по потоку от канавы, происходит интенсивное осаждение гидроксидов железа и алюминия, а также некоторых сульфатов и гидросульфатов (с помощью рентгеноструктурного анализа в составе суглинков приконтактной зоны были обнаружены: гетит (7–32%), ярозит (до 41%), гипс (до 8%) и гематит (до 4%). Образующийся осадок заполняет поровое пространство и затрудняет фильтрацию. Изменились также деформационные свойства суглинков. По данным компрессионных испытаний, модуль деформации грунтов увеличился в два раза и более.



Рис. 8. Стоки с отвалов шахты Коспашская Кизеловского угольного бассейна



Проведенные опытно-промышленные испытания показали принципиальную возможность использования щелочных геохимических барьеров для очистки стоков кислых вод с отвалов — проблемы, остро стоящей при разработке многих твердых полезных ископаемых. Для реализации

данного метода были созданы технологические схемы для различных природно-техногенных условий, в т.ч. с использованием эффекта уменьшения проницаемости грунтов в ходе очистки стоков с отвалов.

Этот и другие примеры [6–14] показывают относительную простоту и низкую стоимость применения геохимических барьеров для решения экологических проблем. Однако в ряде случаев реализации технологического решения мешает отсутствие нормативной базы (например, строительство экрана в основании шламохранилища, описанное в работе [8], было из-за этого затянато на несколько лет). Этот пробел в нормативных документах было бы желательно в ближайшее время восполнить.

*Настоящая работа была подготовлена при поддержке гранта РФФИ 10-05-96017 р\_урал\_а «Теоретические основы создания искусственных геохимических барьеров для защиты окружающей среды при освоении природных ресурсов Западного Урала».*

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гольдберг В.М. Взаимосвязь загрязнения подземных вод и природной среды. Л.: Гидрометеоиздат, 1987. 248 с.
2. Григорян С.В. Первичные геохимические ореолы при поисках и разведке рудных месторождений. М.: Недра, 1987. 408 с.
3. Зверев В.П. Роль подземных вод в миграции химических элементов. М.: Недра, 1982. 186 с.
4. Касимов Н.С., Борисенко Е.Н. Становление и развитие учения о геохимических барьерах // Геохимические барьеры в зоне гипергенеза / под ред. чл.-кор. РАН Н.С. Касимова и проф. А.Е. Воробьева). М.: Изд-во МГУ, 2002. С. 6–37.
5. Красавин А.П., Сафин Р.Т. Экологическая реабилитация углепромышленных территорий Кизеловского бассейна в связи с закрытием шахт. Пермь: ИПК «Звезда», 2005. 287 с.
6. Максимович Н.Г. Использование сорбентов на основе активного угля для борьбы с разливами нефти // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. 2006. № 10. С. 19–21.
7. Максимович Н.Г. Новые возможности защиты подземных конструкций от агрессивных сред // Промышленное и гражданское строительство. 2007. № 10. С. 45–46.
8. Максимович Н.Г. Очистка сточных вод россыпных месторождений с помощью механических геохимических барьеров // Горный журнал. 2007. № 4. С. 77–78.
9. Максимович Н.Г., Мещерякова О.Ю. Методы борьбы с нефтяным загрязнением на закарстованных берегах водохранилищ // Экология урбанизированных территорий. 2009. № 4. С. 55–58.
10. Максимович Н.Г., Сергеев В.И., Шимко Т.Г. Комплексный экран для защиты подземных вод в районе размещения шламов газоочистки // Экология и промышленность России. 2006. № 12. С. 4–7.
11. Патент на изобретение № 2293063. Способ нейтрализации кислых шахтных вод и установка для его осуществления / Максимович Н.Г., Басов В.Н., Холостов С.Б. Опубл. 10.02.2007. № 4. Бюл. № 4. Изобретения. Полезные модели. 350 с.: ил.
12. Патент на изобретение № 2312719. Консорциум штаммов углеводородокисляющих бактерий *pseudomonas aegiposa* нд кз-1 и *pseudomonas fluorescens* нд кз-2 в качестве деструктора нефтепродуктов и способ очистки нефтезагрязненных подземных вод / Максимович Н.Г., Хмурчик В.Т. Опубл. 20.12.2007.
13. Патент на изобретение № 2331488. Способ очистки загрязненного нефтью и нефтепродуктами грунта и система сооружений для его реализации / Максимович Н.Г. Опубл. 20.08.2008.
14. Патент на полезную модель № 81522 Установка для откачивания нефтесодержащей жидкости из скважины / Л.Н. Попов, Н.Г. Максимович. Зарегистрировано 20.03.2009.
15. Перельман А.И. Геохимия. М.: Высшая школа, 1989. 528 с.
16. Перельман А.И., Касимов Н.С. Геохимия ландшафтов: учебное пособие. 3-е изд., перераб. и доп. М.: Астрель-2000, 1999. 786 с.
17. Ретейом А.Ю. Изучение связей техники и природы // Природа, техника, геотехнические системы. М.: Наука, 1978. С. 9–14.
18. Солнцева Н.П. Геохимические барьеры и устойчивость природных и природно-техногенных систем // География, общество, окружающая среда: Природно-антропогенные процессы и экологический риск. М.: Издательский дом «Гордец», 2004. Т. 4. С. 16–527.
19. Соловов А. П. Классификация ореолов рассеяния рудных месторождений // Глубинные поиски рудных месторождений. М., 1963.
20. СП 11-102-97. Инженерно-экологические изыскания для строительства / Госстрой России. М.: ПНИИИС Госстроя России, 1997. 41 с.
21. Хайрулина Е.А., Ворончихина Е.А., Максимович Н.Г. Ландшафтно-геохимические особенности лесостепных экосистем курганского Зауралья // Материалы XI Международной ландшафтной конференции «Ландшафтоведение: Теория, методы, региональные исследования, практика». М.: Географ. фак. МГУ, 2006. С. 357–359.