

## ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ГЕОЛОГИЯ

УДК 550.4.02

**Создание геохимических барьеров для улучшения экологической обстановки при разработке россыпных месторождений****Н. Г. Максимович**

Естественнонаучный институт Пермского государственного национального исследовательского университета (ЕНИ ПГНИУ), 614990, Пермь, ул. Генкеля, 4. E-mail: nmax54@gmail.com

*(Статья поступила в редакцию 12 сентября 2011 г.)*

Анализируется опыт использования механических геохимических барьеров для очистки сточных вод, формирующихся при добыче алмазов в бассейне р. Вишеры (Пермский край). Для строительства грунтовых плотин использовались дражные отвалы. Опытные работы показали, что в зависимости от длины плотины возможно снижение содержания взвешенных веществ с 600 мг/л до значений ниже ПДК.

Ключевые слова: *механические геохимические барьеры, грунтовые плотины, россыпные месторождения.*

**Введение**

В последние годы для решения экологических проблем все чаще используются геохимические барьеры [9], в том числе и при разработке россыпных месторождений [8].

Россыпные месторождения – важнейший и сравнительно легкодоступный источник золота, алмазов, платины и др. Например, в России свыше 60% золота добывается из россыпей. Благодаря неглубокому залеганию (в среднем 15-30 м) и малой мощности (0,6-2,0 м) продуктивных пластов россыпные месторождения быстро вовлекаются в эксплуатацию и требуют для своего горно-промышленного освоения существенно меньше издержек, чем рудные.

Разработка месторождений сопровождается нарушением значительных территорий, ухудшением качества водных и лесных ресурсов и наносит весьма ощу-

тимый ущерб ихтиофауне [12]. Значительный ущерб окружающей среде наносит сброс сточных вод с большим количеством взвешенных частиц. Технологический процесс извлечения ценных компонентов основан на максимальной дезинтеграции вещества залежи с использованием больших объемов воды. Образующиеся при промывке сточные воды содержат большое количество взвешенных частиц разного гранулометрического состава вплоть до коллоидных. Эти взвеси в большинстве случаев без глубокой очистки сбрасываются в ближайшие водотоки. Дезинтеграция вещества залежи в процессе добычи способствует переходу в сточные воды ионов макро- и микрокомпонентов.

В связи с этим целью данной работы был поиск эффективных методов уменьшения ущерба, наносимого окружающей среде, на основе использования механических геохимических барьеров. Использо-

вание таких барьеров, на наш взгляд, экологически эффективно, поскольку объемы сточных вод сопоставимы со стоком рек, что затрудняет использование классических методов очистки. Например, при разработке россыпей золота в Магаданской области ежегодно в промывочный сезон в водотоки области сбрасывается 1,0–1,2 млрд м<sup>3</sup> производственных сточных вод только от промывки металлоносных песков [12]. Аналогичное положение на многих реках Урала, Сибири, Дальнего Востока. Наблюдается резкое обострение экологической ситуации в реках бассейна Лены в результате интенсивной разработки россыпей [14, 15]. Резкое ухудшение качества вод происходит из-за сильного загрязнения взвесями. В реках, затронутых разработкой россыпей на протяжении 10 лет и более, содержание взвешенных частиц достигает 10–15 кг/м<sup>3</sup>. Общая биомасса зоопланктона из-за повышенной мутности уменьшается в 1000 – 1500 раз, проявляются заморные и безрыбные зоны.

Исследования, проведенные на Урале А.А. Матвеевым и В.М. Волковой [11], показали, что взвешенный материал промстоков от дражных разработок россыпей оказывает влияние на все звенья гидробиоценоза: кормовую базу рыб (фитопланктон, зоопланктон, бентос) и собственно ихтиофауну. Это приводит к ухудшению качества воды, нарушению нормального развития гидробионтов и структуры сообществ, а в итоге – к резкому обеднению видового состава и снижению репродукционных свойств водоемов. Процессы самоочищения водоемов замедлены, т.к. взвешенный материал сточных дренажных разработок сильно диспергирован. Основным классом крупности, почти не осаждающимся при отстаивании, является фракция 0,0015 мм, содержание которой по мере прохождения каскада прудов-илоотстойников увеличивается во взвеси от 3,5 до 80%. Частицы классов крупности более 0,0015 мм улавливаются в отстойниках в значительной мере [11].

Строительство очистных сооружений в районах добычи является сложной зада-

чей, из-за больших объемов сточных вод, отсутствия эффективных технологий, перемещения участков добычи (при дражной отработке месторождения). Использование коагулянтов для осветления промстоков возможно только в замкнутых системах, т.к. большинство реагентов оказывает вредное воздействие на жизнедеятельность водоемов. Для решения проблемы очистки сточных вод требуется разработка простых, экономически и экологически эффективных методов, с этой целью могут создаваться искусственные механические геохимические барьеры.

### Создание механических барьеров

Аналогом искусственного механического барьера, который можно использовать для очистки сточных вод от взвешенных частиц, являются процессы кольматации. В результате кольматации поровое пространство грунта заполняется более мелкими частицами, находящимися во взвешенном состоянии в фильтрующейся воде [5]. Кольматация происходит благодаря двум причинам – простому механическому заполнению пор грунта и поверхностному взаимодействию частиц. Твердые взвешенные частицы суспензии могут механически задерживаться в порах грунтов, а также вступать в физико-химические взаимодействия со скелетом фильтрующегося грунта и друг с другом с образованием коагуляционных связей [1, 17, 3].

Процесс кольматации широко распространен в природе [16]. Кольматация часто протекает под влиянием аллювиальных, делювиальных и пролювиальных процессов. Во время паводков фильтрация несущей большое количество взвешенных наносов воды в берега и дно рек и других водоемов приводит к кольматации рыхлых и скальных пород. Раскольматирования их под влиянием обратных фильтрационных потоков не происходит, поскольку во время паводков фильтрация воды в берега и дно происходит при значительно больших градиентах, чем дви-

жение воды в реку при спаде паводков и в межень [17].

Кольматация песчаных грунтов широко развита, например, в Каракумах по границе песков с предгорной такырной равниной. Толща песков на дне селевого арька имеет более сложное строение. С поверхности пески покрыты глинистой коркой, растрескавшейся в сухом состоянии на отдельные плитки. По составу это тяжелая глина, под которой лежит слой супеси, уплотненной и цементированной глинистыми частицами. Переход супеси в нижележащий слой мелкозернистого песка постепенный. Супесь, залегающая между мелкозернистым песком и покрывающей его глинистой коркой, есть не что иное, как слой закольматированного песка. Глинистые и пылеватые частицы, содержащиеся в селевых потоках, проникали в поверхностную толщу песка вместе с током фильтрующей их воды и закольматировали его. Это привело к снижению водопроницаемости и образованию на поверхности глинистой корки.

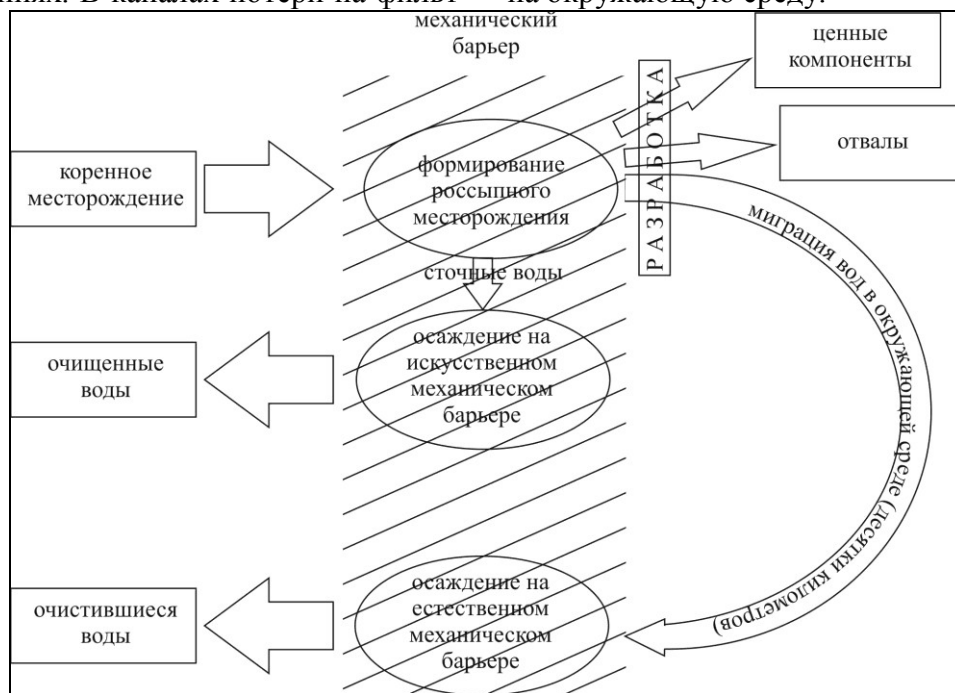
Кольматация отмечается также в каналах, водоемах, водохранилищах и других сооружениях. В каналах потери на филь-

рацию резко снижаются, если воды, текущие по каналам, несут с собой взвешенные глинистые частицы. Это характерно для каналов, построенных в гравелисто-галечниковых и песчаных грунтах. Процесс кольматации активизируется в результате строительства плотин, способствующих осаждению взвешенных частиц [17].

### Принцип создания барьеров

Механические геохимические барьеры играют существенную роль в формировании россыпных месторождений [2]. Общий случай механической миграции вещества при формировании и разработке россыпных месторождений показан на рис. 1. Нам представляется возможным использование аналогичных процессов аккумуляции твердого вещества для очистки поверхностных вод от взвешенных частиц.

Создание искусственных барьеров возможно в непосредственной близости от источника загрязнения, что существенно сокращает зону влияния месторождения на окружающую среду.



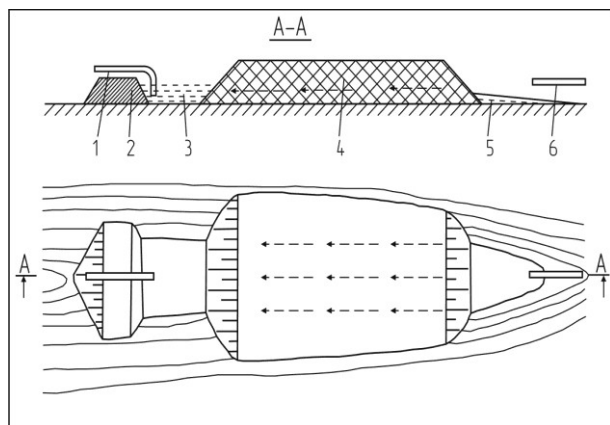
**Рис. 1.** Механическая миграция вещества при формировании и разработке россыпных месторождений

Одним из возможных способов удаления взвешенных частиц могут быть искусственные, а в ряде случаев и естественные механические геохимические барьеры, предусматривающие пропускание сточных вод через фильтры из местных грунтов и отвалов.

Подобные механические геохимические барьеры применяются для очистки от взвешенных частиц вод, образующихся при угледобыче [6]. Исследования, проведенные Ю.В. Лесным, показали, что наиболее простую конструкцию имеют фильтры, размещенные в естественных или искусственных выемках (оврагах, логах, старых горных выработках и т.п.).

В этом случае фильтрующий массив по ширине ограничивается стенками выемки, а ниже его по выемке возводится водонепроницающая дамба для сбора осветленной воды (рис. 2).

Промышленная проверка эффективности работы фильтров показала, что даже при неблагоприятных условиях (в период таяния снега) качество воды после очистки по всем показателям удовлетворяет существующим требованиям.



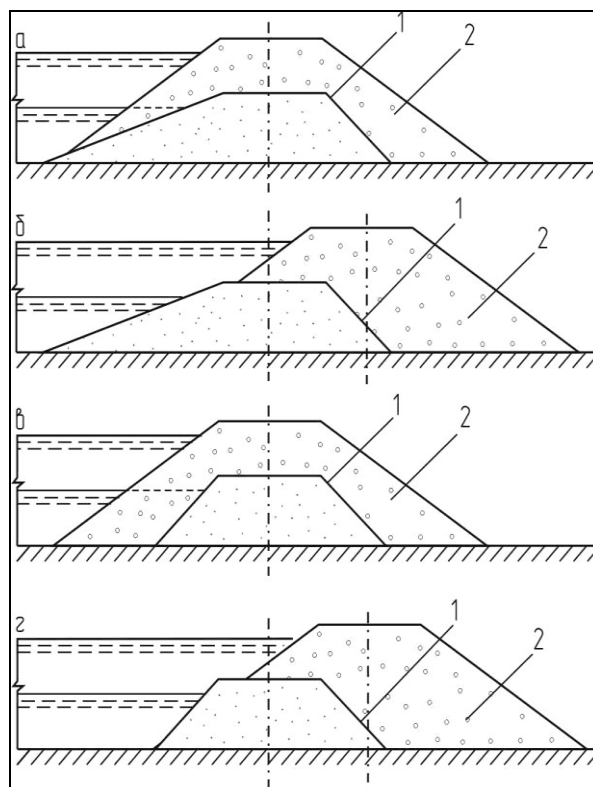
**Рис. 2.** Схема устройства механического барьера:

1 — трубопровод для отвода очищенной воды; 2 — дамба; 3 — водосборник очищенной воды; 4 — фильтрующий массив; 5 — водоприемник; 6 — трубопровод для подвода загрязненной воды. Стрелками показано направление движения воды [6]

Эффект частичной очистки стоков отмечался на Ленских россыпных месторо-

ждениях золота при возведении низконапорных дамб (рис. 3) [4]. На россыпях бульдозерным способом возводились низконапорные дамбы различной конфигурации. Отсыпка велась поэтапно.

На первом этапе из вскрышных пород, обладающих достаточной водонепроницаемостью, сооружалась первоначальная дамба высотой до 2-2,5 м, подпор которой позволяет организовать обратное водоснабжение промывочной установки. В дальнейшем, в процессе отработки россыпи, путем разваловки эфельных хвостов происходит периодическое наращивание дамбы.



**Рис. 3.** Схемы возведения низконапорных дамб: 1 — первоначальная дамба; 2 — наращиваемая дамба обвалования [4]

Поэтапное возведение наращиваемой дамбы обвалования из отходов промывки, как и возведение первоначальной дамбы, осуществлялось различными способами в зависимости от наличия необходимого для отсыпки объема грунта и организации бульдозерных работ. Это же предопределяло и конфигурацию откосов [4].

Возведение таких дамб гарантирует устойчивость их оснований и боковых поверхностей, а также способствует снижению фильтрационных потерь. Смещение оси наращиваемой дамбы при ее отсыпке увеличивает безопасность бульдозерных работ в результате оставления бермы вдоль гребня первоначальной дамбы и на 15 - 25% повышает эффективность осветления сточных вод за счет удлинения фильтрационного пути.

**Опытные работы** по созданию механических барьеров проводилась нами в бассейне р. Вишеры (Пермский край), где ведется добыча алмазов. До недавнего времени гидроэкосистема Верхней Вишеры, удаленная от промышленных объектов, практически не испытывала техногенной нагрузки. Ее гидрохимические параметры формировались посредством природных факторов и могли рассматриваться в качестве эталонов экологического благополучия. Высокая чистота природных вод обусловила формирование в акватории р. Вишеры своеобразного и насыщенного в видовом отношении ихтиоценоза, в составе которого доминируют ценные промысловые виды рыбы – хариус, таймень, голец и др.

Бассейн р. Вишеры слагается отложениями рифея, венда, ордовика, силура, девона, карбона и перми. В районе проявляется современный и древний карст. Закарстованы трещиноватые карбонатные породы силура, девона, карбона и нижней перми общей мощностью до 4000 м. С перекрытым подальювиальным и подфлювиогляциальным карстом связаны образовавшиеся на механических барьерах погребенные месторождения алмазов в эрозионно-карстовых депрессиях [7]. Отложения, заполняющие депрессии, включают песчаник, кварцитопесчаник, кварц, кремний, известняк, доломит.

Разрабатываются месторождения дражным и гидромеханическим способами, для чего применяются драги и сезонные обогатительные фабрики. Драгами и фабриками извлекают часть тяжелой фракции, содержащей алмазы. В реки

сбрасываются валунно-галечные и песчано-глинистые фракции, образующие отвалы высотой несколько метров. С целью поддержания необходимого уровня воды для плавучих драг на реках сооружаются плотины.

Экологические последствия горных работ обусловлены генетической связью россыпного месторождения с речной сетью и особенностями технологии добычных работ, заключающимися в извлечении тяжелой фракции посредством промывки рыхлой вмещающей породы водой в месте ее залегания. Промывка россыпи – один из наиболее водоемких процессов горных работ, который приводит к загрязнению вод взвешенными веществами и влияет на их химический состав.

По данным анализов водных вытяжек из грунтов в отвалах наблюдается высокое содержание железа (до 9,9 мг/кг), нитритов (до 1,6 мг/кг), аммония (до 11 мг/кг). Содержание железа в водных вытяжках тем больше, чем моложе возраст отвала. Источником железа служат железосодержащие минералы отвалов, что подтверждается рентгеноструктурным анализом грунта, отобранного из отвалов драги в месте слияния рек Бол.Колчим и Чурочная. В составе тяжелой фракции присутствуют гетит (31%), гематит (35%) и магнетит (4%).

Донные отложения максимально загрязнены на участках рек, находящихся вблизи участков работы драг. Вниз по течению концентрация загрязняющих компонентов уменьшается. Так, содержание железа в водной вытяжке донных отложений р. Колчим уменьшается в пять с лишним раз. Химический анализ пульпы драг и сезонной обогатительной фабрики указывает на повышенное содержание железа, в 6 - 12 раз превышающее ПДК. В реках ниже драг отмечается увеличение концентрации сульфатов, хлоридов, нитратов, нитритов, аммония, кремния. Содержание железа в воде до 25 раз превышает ПДК [10].

Для очистки от взвешенных частиц сточных вод предложено использование

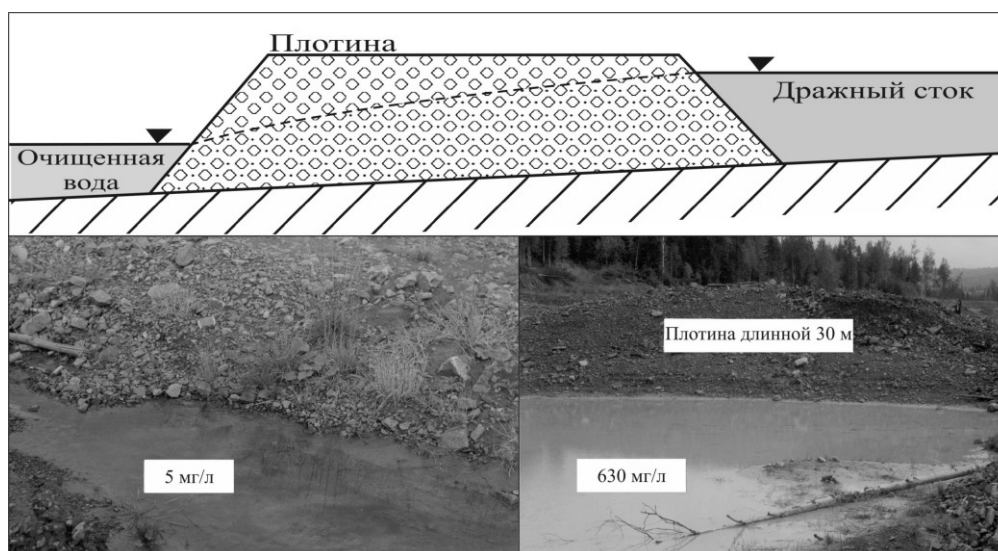


Рис. 4. Очистка дражных стоков от взвешенных веществ

грунтовых плотин – классического механического геохимического барьера. Исследования возможности очистки сбрасываемой воды от взвешенных веществ с помощью грунтовых плотин были проведены на участке сброса драги на р. Рассольной. Для плотин использовались дражные отвалы, находящиеся здесь же в долине реки (рис. 4). Концентрация взвешенных веществ в р. Рассольная в зоне влияния драги в зависимости от количества атмосферных осадков изменялась от 0,183 до 12 г/л, что во много раз превышает фоновые значения.

Опытные работы показали, что в зависимости от длины пути фильтрации и материала плотин концентрация взвешенных веществ снижается в десятки и сотни раз (таблица). При уменьшении содержания

взвешенных веществ следует ожидать снижения концентрации железа и других загрязняющих компонентов, поскольку их содержание, как было показано выше, находится в тесной зависимости от содержания взвешенных веществ.

Как показали эксперименты, проведенные Ю.В. Лесиным [7], зависимость концентрации взвешенных частиц  $C_x$  от длины пути фильтрации  $x$  имеет вид

$$C_x = C_o \cdot \exp(-\eta x),$$

где  $C_o$  — начальная концентрация взвесей;  $\eta$  — показатель фильтрования.

Показатель  $\eta$  характеризует интенсивность осаждения взвесей и определяется размерностью фракции грунтов, используемых в фильтрующей плотине, и скоростью фильтрации воды.

*Снижение концентрации взвешенных веществ в стоках драги при фильтрации через грунтовые плотины*

Длина плотины, м	Исходная концентрация, мг/л	Концентрация ниже грунтовых фильтров, мг/л	Кратность снижения концентрации
30	183	8	22,9
30	630	5	126
10	630	161	3,9
30	3220	286	112,6
5	12000	6750	1,7

По экспериментальным данным для плотин из пород дражных отвалов минимальное значение этого показателя составило 0,015, максимальное — 0,170. Оптимальная длина фильтрующей плотины рассчитывалась по среднему значению показателя, которое составило 0,091.

Оптимальная длина фильтрующей плотины, позволяющая снизить более чем на 90% содержание взвешенных веществ, составляет около 30 м. При такой длине плотины расчетная очистка воды от взвешенных веществ при начальной концентрации менее 600 мг/л будет производиться до значений ниже ПДК [17].

Заиливание нижних слоев при эксплуатации фильтрующей плотины приводит к повышению уровня воды в верхнем бьефе, в результате включаются в работу верхние слои плотины. Расчеты срока эксплуатации плотины (время заполнения порового пространства взвешенными веществами на 75%) показывают, что при условии среднего расхода реки он составляет ориентировочно 40 сут. На сезон добычи необходимо сооружение 4 таких плотин, что составляет около 3 тыс. м<sup>3</sup> перемещенного грунта.

В ряде случаев для очистки от взвешенных частиц возможно

использование естественных механических барьеров. Сточные воды могут пропускаться, например, через закарстованные массивы, аллювиальные отложения определенного гранулометрического состава и др. При строительстве плотин может быть использован опыт, накопленный в гидротехническом строительстве [13].

### Заключение

Выполненные исследования показали, что искусственные механические барьеры могут успешно применяться для очистки сточных вод при разработке россыпных месторождений. Благодаря низкой себестоимости и технологической простоте создания такие барьеры могут использоваться во многих других отраслях, где требуется очистка вод от взвешенных частиц.

*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».*

### Библиографический список

1. Банник Г.И. Основы технической мелиорации. Киев: Изд-во Вища школа, 1974. 272 с.
2. Билибин Ю.А. Основы геологии россыпей. М.: Изд-во АН СССР, 1955. 472 с.
3. Грунтоведение / В.Т. Трофимов, В.А. Королев, Е.А. Вознесенский, К.А. Голодковская, Ю.К. Васильчук, Р.С. Зиангиров/ под ред. В.Т. Трофимова. М.: Изд-во МГУ, 2005. 1024 с.
4. Ершов В.А. Опыт возведения низконапорных дамб при разработке россыпных месторождений // Горный журнал. 2005. № 1. С. 91.
5. Куприна Г.А. Кольматация песков. М, Изд-во МГУ, 1968. 173 с.
6. Лесин Ю.В. Фильтры для очистки воды из крупнокусковых отходов угледобычи // Уголь. 1986. № 2. С. 43–44.
7. Максимович Г.А., Кропачев А.М. О роли геохимических барьеров в формировании полезных ископаемых карстовых впадин и полостей // Вопросы карстоведения: матер. совещ. по полезным ископаемым карстовых полостей и впадин и др. вопр. карстоведения. Пермь, 1969. С. 5–9.
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. Теоретические и прикладные аспекты использования геохимических барьеров для охраны окружающей среды // Инженерная геология. 2010. Сентябрь. С. 20–28.
10. Максимович Н.Г., Макарова О.В. Влияние разработки алмазов на поверхностные и подземные воды в бассейне р. Вишеры // Всеуральское совещ. по подземным водам Урала и сопредельных территорий, посвященное 90-летию со дня рождения профес-

- сора Г.А. Максимовича, 4-е науч. чтения: тез. докл. Пермь, 1994. С.46–48.
11. *Матвеев А.А., Волкова В.М.* Повышение эффективности очистки промстоков при разработке россыпей. М.: Недра, 1981. 136 с.
  12. *Новиков В.Н., Жукова Г.А., Буланов С.А.* . Геоэкологические исследования при разведке и освоении россыпей // Геоэкологические обследования и охрана недр: обзор. М.: МГП “Геоинформмарк”, 1992. 52 с.
  13. *Петров Г.Н., Радченко В.Г., Дубняк В.А.* Крупнообломочные грунты в гидротехническом строительстве. СПб.: Изд-во АО ВНИИГ им. Б.Е. Веденеева, 1994. 236 с.
  14. *Петров Н.П.* О проблемах охраны водных ресурсов Янского бассейна // Стратегия социально-экологического развития Крайнего Севера: тез. докл. Всесоюз. совещ. Нарьян-Мар, 1989. С. 170–172.
  15. *Соколова В.А., Тяптурьянов М.М.* Оценка экологических изменений зоопланктона в речных экосистемах Крайнего Севера // Стратегия социально-экологического развития Крайнего Севера: тез. докл. Всесоюз. совещ. Нарьян-Мар, 1989. С.173–175.
  16. *Тихонов В.А., Караваева Т.И.* Моделирование свойств техногенных геохимических барьеров // Вестн. Перм. ун-та. Геология. 2011. Вып. 3(12). С. 84–88.
  17. *Техническая мелиорация пород/* под ред. С.Д. Воронкевича. М.: Изд-во МГУ, 1981. 342 с.
  18. *Maximovich N.G., Blinov S.M.* Effect of diamond mining on the surface and subsurface waters in the Vishera river basin (Northern Urals) and measures to be taken to protect the environment // 30th Int. Geological Congress. Beijing, China, 1996. P.318.

## Creation of Geochemical Barriers for Environmental Improvements Under the Development of Placer Deposits

**N.G. Maximovich**

Institute of Natural Sciences of Perm State National Researching University (NSI PSNRU), 614990, Perm, Genkel st., 4. E-mail: nmax54@gmail.com

In this paper experience of mechanical geochemical barrier using for purification of drainage waters forming under diamond mining in the Vishera River basin (Perm Region) is represented. For construction of the ground dam the dredge heap rocks in the river bed were used. The experimental work has shown that, depending upon the filtration path length, the concentration of suspended matter may be decreased from 630 mg/l to the MPC.

Key words: *mechanical geochemical barrier, ground dam, placer deposit.*

*Рецензент: доктор геолого-минералогических наук В.Н. Катаев*