

потребность в решении вопросов восстановления нарушенных и загрязненных земель, вместе с тем - достаточное количество перспективных разработок и научно обоснованных путей и методов осуществления рекультивации и ремедиации. Однако, для широкого внедрения эффективных и экономически

приемлемых технологий рекультивации необходимо проведение мониторинга горнопромышленных объектов, геолого-экологической оценки, и применения последних достижений в области геомеханики, геохимии, математического моделирования.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Государственный доклад о состоянии окружающей природной среды Российской Федерации в 2000 году. Мин. прир. ресурсов РФ. - М., 2001.

2. *Пойкер* Культурный ландшафт: формирование и уход (пер. с нем.) - М.: Агропромиздат 1987.

3. *Гальперин А.М. Ферстер В. Шеф Х.Ю.* Техногенные массивы и охрана окружающей среды - М.: МГУ.1997.

4. *Щербакова Е.П.* Обоснование экологических критериев формиро-

вания техногенных месторождений. Тез. докл. ХП Межд. совещания. РАН, Министерство природных ресурсов, - М., 2000.

5. *Антоненко Л.К. Зотеев В.Г.* Проблемы переработки и захоронения отходов горно-металлургического производства. Горный журнал. МГУ №2.1999.

6. *Widerlund, A., Holmstrom, H., Ohlander, B. and Andersson, A., 2001.* Flooding of sulphidic mine tailings as a remediation method at Kristineberg, northern Sweden. In: Proceedings of

Securing the Future, International Conference on Mining and the Environment, June 25 - July 1 2001, Skelleftee, Sweden, vol. 2: 906 - 914.

7. *Widerlund, A., Shcherbakova E.Forsberg J., Holmstrom, H., Ohlander, B.* " Laboratory simulation of flocculation processes in a flooded tailings impoundment at the Kristineberg Zn-Cu mine, northern Sweden, *Geochim. Cosmochim. Acta* (in a press).

## КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

*Щербакова Е.П.* - Московский государственный горный университет.

© *О.А. Родина, 2003*

УДК 658.567.1

**О.А. Родина**

### **ПРОГНОЗ И ВОЗМОЖНОЕ ИНЖЕНЕРНОЕ РЕШЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПОСЛЕДСТВИЙ ПРИ ЛИКВИДАЦИИ КАРЬЕРОВ УШАКОВСКОГО РАЗРЕЗУПРАВЛЕНИЯ**

Ушаковское разрезуправление включает в себя разрезы: Кимовский, Грызловский, Ушаковский, Богородицкий и Липковский. Разрезы расположены в разных административных районах Тульской области на значительном расстоянии друг от друга. В пределах каждого разреза отработка производилась по участкам, имеющим, как правило, небольшие размеры (около 1 км в поперечнике). После отработки участка водоотлив из понизитель-

ных скважин и из траншей прекращался и участок затапливался.

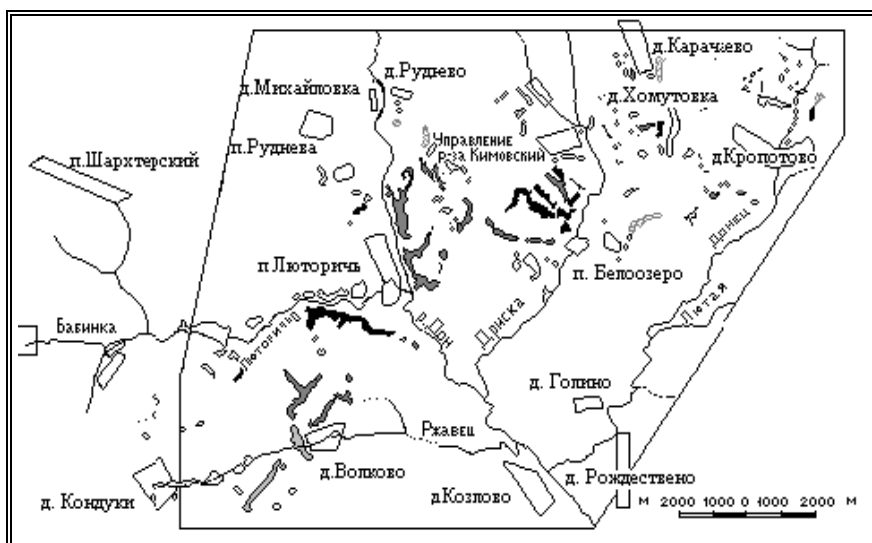
О негативном влиянии открытых горных работ на разрезах стало известно в 70-е годы, в особенности ликвидированных отработанных участков. В процессе экологических исследований, проведенных на одном из ликвидированных участков б-го Восточно-Люторического месторождения в пределах Кимовского угольного разреза бывшим

ВНИОСуглем, ныне МНИИЭКО-ТЭК были установлены "мертвые" техногенные водоемы, содержащие воды с кислой средой (рН до 2,7), повышенной минерализацией (более 2 мг/л), аномальным содержанием сульфатов (до 1500 мг/л) и железа (до 140 мг/л). В таких водоемах отсутствует животный и растительный миры. Было выявлено также загрязнение поверхностных и подземных вод сульфатами и железом и высказано предположение о решающей роли пирита в отвалах на образование кислых вод. Кроме того, на одном из водоемов было проведено известкование, которое не дало видимых результатов.

Поэтому с 70-х годов вскрышные породы, до этого складировавшиеся в случайном порядке, стали складироваться во внутренние отвалы в следующем порядке: в основание поме-

**Рис. 1** Схематическая карта развития техногенных водоемов с результатами гидрохимического опробования:

- Техногенный водоем
- Степень загрязнения вод техногенных водоемов:
- Весьма высокая: pH менее 3,0, превышение ПДК по сухому остатку, общей жесткости, содержанию ионов  $SO_4$ ; превышение ПДК по содержанию ионов Fe - более 100 раз;
- Высокая: превышение ПДК по сухому остатку, общей жесткости, содержанию ионов  $SO_4$  и Fe
- Низкая: превышение ПДК по одному из названных компонентов
- Загрязнение вод не отмечается: содержание загрязняющих компонентов не превышает ПДК
- Гидрохимический состав техногенных водоемов не изучен



щались обломки тульских известняков, выше – темно-серые с большим содержанием пирита песчано-глинистые породы бобриковской и тульской свит и, наконец, перемешанные, преимущественно песчаные, породы верхней части тульской свиты, мезозоя и четвертичной системы. Принятые системы разработки и отвалобразования привели к тому, что на большинстве выемочных участков, расположенных в долинах рек или в нижней части склонов водоразделов, образовались техногенные водоемы, общее количество которых превышает сотню.

Вместе с тем, закономерности, а главное, масштабы загрязнения и развития кислых вод в связи с досрочным прекращением финансирования работ в 1984 году остались неизученными.

### 1. Экологические последствия при ликвидации карьеров Ушаковского разреза

По инициативе ГУРШа проведение научно-исследовательских работ возобновились в 2000 г. В результате их проведения НИЦ ГП-ИГД им. А.А. Скочинского удалось установить, что кислые воды развиты в подавляющей части техногенных водоемов на территории Ушаковского и Кимовского разрезов. Из водоемов происходит перелив кислых вод в речную сеть и загрязнение последней на значительной территории.

Заметного изменения химического состава воды со временем в техногенных водоемах не отме-

чалось, по крайней мере, на протяжении 25 лет проводимых исследований, что свидетельствует о длительном периоде самопроизвольного "природного" раскисления водоемов и невозможности их саморегуляции.

На основе анализа гидрогеологических условий, природных и режимных наблюдений, проведенных НИЦ ГП-ИГД им. А.А. Скочинского, установлено, что в процессе экскавации вскрышных пород при добыче угля конкреции пирита, содержащиеся в глинах и угольных прослоях, были перемещены в отвалы и попали в зону окисления. Инфильтрация атмосферных осадков через зону окисления приводит к образованию кислых вод с pH 2,7-3,0, которые заполняют техногенные водоемы и образуют линзы в техногенном водоносном горизонте. Они стали источником загрязнения поверхностных и подземных вод района на большой площади (рис. 1, 2).

Так же было определено что, гидрогеологическое строение района горных работ сложное. В результате выемки угольного пласта был нарушен гидродинамический режим 7-и водоносных горизонтов, один из которых – упинский является основным, используемым для централизованного водоснабжения всего района.

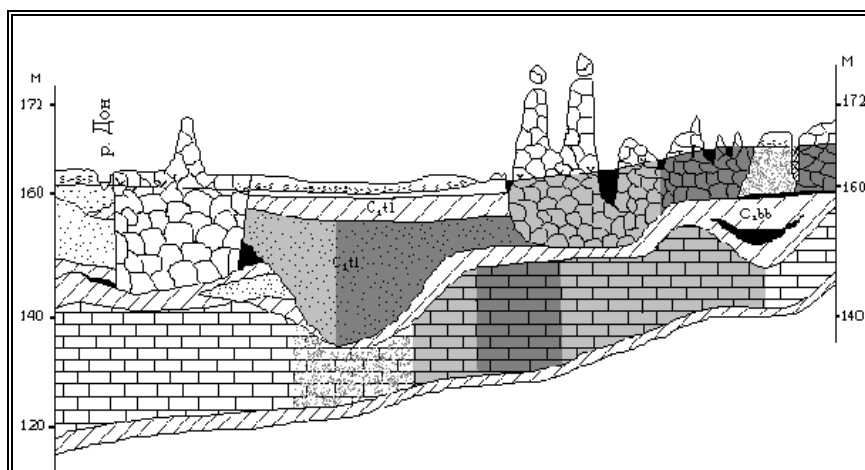
Установлено, что гидрохимическому загрязнению подверглись воды 4-х водоносных горизонтов (средне-верхнечетвер-

тичный аллювиальный, нижнетульский, бобриковский, упинский). Наибольшему загрязнению подверглись нижнетульский и средне-верхнечетвертичный аллювиальный водоносные горизонты, находящиеся в непосредственном контакте с техногенным водоносным горизонтом и "мертвыми" водоемами. В меньшей степени загрязнен упинский водоносный горизонт, залегающий под бобриковским водоупором. Степень его загрязнения зависит от мощности бобриковских водоупорных глин, отделяющих техногенный водоносный горизонт от упинского, и удаленности от него "мертвых" водоемов.

Выявлено что, после прекращения горных работ и естественного восстановления уровней подземных вод по пути миграции загрязнения происходит разбавление речными водами. Направление распространения загрязнения будет совпадать с направлением движения подземных вод, т.е. в сторону снижения зеркала подземных вод.

Величина шлейфа или ореол загрязнения совершенно не изучены. Вероятнее всего они будут зависеть от объема кислой воды (соответственно пирита) в пределах техногенного горизонта, скорости окисления пирита и скорости движения подземных вод.

По прогнозным данным наиболее значительным по площади ореол загрязнения подземных вод будет отмечаться по долине



**Рис. 2** Литолого-гидрогеологический по линии III- IV на поле разреза Кимовский

Химический состав подземных вод (сухой остаток, г/л)

- более 1,5 г/л,
- ▒ 1,5-1,0 г/л,
- 0,5-1,0 г/л

Степень загрязнения вод техногенных водоемов

- очень высокая,
- высокая

р. Дон от совместного влияния Ушаковского и Кимовского разрезов. Предположительно, длина языка загрязненных вод в долине р. Дон может достигнуть 10 км, что может повлечь за собой угрозу загрязнения вод водозабора, снабжающего питьевой водой г. Епифань и расположенного в долине р. Дон. В пределах указанного ореола возможно загрязнения поверхностных вод в озерах и реках, что может нанести ущерб рыбным ресурсам района. Для изучения величины ореолов загрязнения, закономерностей загрязнения вод с учетом их гидродинамики необходимо проведение научно-исследовательских работ в совокупности с мониторингом природной среды по специально разработанной программе.

Поскольку загрязняемые водоносные горизонты используются для хозяйственно-питьевой деятельности возникает необходимость защиты их от загрязнения.

2. Выбор методов очистки карьерных вод при ликвидации разрезов Ушаковского разрезуправления

Карьерные воды являются источником загрязнения поверхностных и подземных вод на данной территории, поэтому в данной ситуации необходимо разработка инженерных мероприятий по предотвращению этого загрязнения.

Рациональным способом защиты подземных вод от загрязнения в мало и слабо проницаемых породах является способ противодиффузионных завес на данном этапе исследований.

*Противодиффузионные завесы* – это водонепроницаемые или слабопроницаемые ограждения, сооружаемые вокруг выработки для защиты ее от притоков подземных вод. За пределами завесы сохраняется естественный (или близкий к нему) режим подземных вод. В рассматриваемом случае противодиффузионные завесы ограждают нижнетульский и упинский водоносные горизонты от распространения в отвальные породы и контакта с техногенным водоносным горизонтом, таким образом, изолируя источник загрязнения.

Скважины бурят с земной поверхности диаметром 45-110 мм. Расстояние между скважинами принимается таким, при котором цилиндрические поверхности затампонируемых пород водоносного слоя, образующихся вокруг скважин, перекрываются между собой без образования «окон». Величина перекрытия принимается не менее  $0,2R$  (где  $R$  – радиус растекания гелеобразующего раствора в массиве пород).

Способ создания противодиффузионных завес состоит в том, что вокруг участка, защищаемого от притока воды, создается противодиффузионное ограждение (барраж) путем бурения скважин или шпуров и нагнетания по ним в водоносный слой химических составов. При этом завесы должны доводиться не только водоупора водоносного слоя, но и углубляться в него на определенную глубину для обеспечения надежного контакта с подстилающими слабопроницаемыми

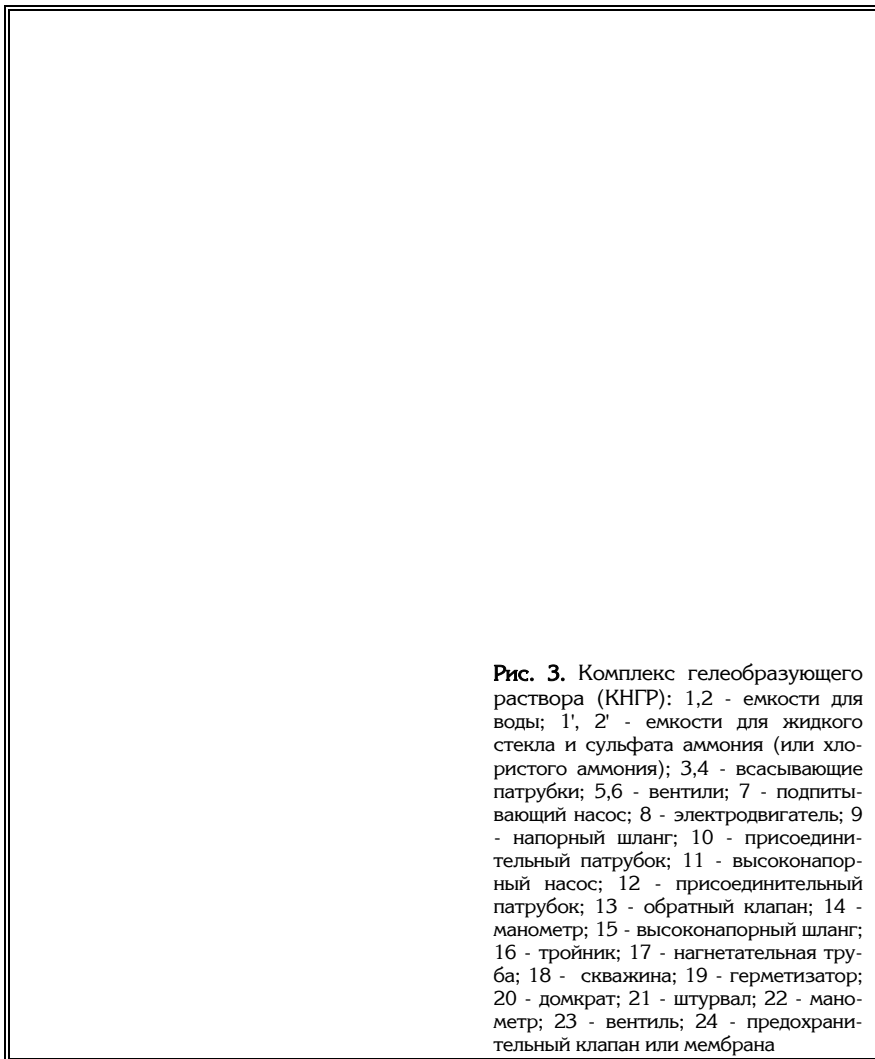
породами. В противном случае они будут не эффективны.

Противодиффузионные завесы должны создаваться из дешевых, нетоксичных химических составов, иметь низкие фильтрационные свойства на весь период существования, быть стойкими к агрессивному воздействию подземных вод, обладать трещиностойкостью (быть пластичными) и механической прочностью.

Анализ применения различных видов тампонажа и результатов произведенных испытаний показал, что для создания противодиффузионных завес в слабопроницаемых породах наиболее целесообразно применение химических растворов, которые представляют собой коллоидные системы с частицами менее 1 мкм, в отличие от структурированных (цементных, глинисто-цементных и глинистых растворов).

При химическом способе противодиффузионных завес используются высокомолекулярные неорганические вещества, например силикат натрия (жидкое стекло) и полимерные органические соединения (смолы). Особый интерес представляет использование в качестве химических тампонажных растворов гелеобразующих смесей на основе силикатного натрия. В этом случае при образовании гелей в порах и трещинах горных пород происходит взаимодействие ионов  $SiO_3^{2-}$  и  $HSiO_3^-$  с частицами кварца песчаника. Улучшается адгезия тампонажного раствора с порообразующим материалом.

ИГД им. А.А. Скочинского совместно с ВостНИИ разработали инъекционные растворы для создания противодиффузионных завес в породах малой и средней проницаемости на основе сили-



**Рис. 3.** Комплекс гелеобразующего раствора (КНГР): 1,2 - емкости для воды; 1', 2' - емкости для жидкого стекла и сульфата аммония (или хлористого аммония); 3,4 - всасывающие патрубки; 5,6 - вентили; 7 - подпитывающий насос; 8 - электродвигатель; 9 - напорный шланг; 10 - присоединительный патрубок; 11 - высоконапорный насос; 12 - присоединительный патрубок; 13 - обратный клапан; 14 - манометр; 15 - высоконапорный шланг; 16 - тройник; 17 - нагнетательная труба; 18 - скважина; 19 - герметизатор; 20 - домкрат; 21 - штурвал; 22 - манометр; 23 - вентиль; 24 - предохранительный клапан или мембрана

ката натрия с кислотными добавками, регулирующими время перехода в твердопластическое состояние. В качестве добавки использованы сульфат и хлорид аммония, и пластификатор в виде полиакриламида.

Гель, образующийся в массиве горных пород от соединения этих компонентов, водоустойчив к щелочным и кислым водам. Заполнив поры и трещины в водоносном слое, он является надежным препятствием.

Процесс гелеобразования (загустевания) управляем во времени. В зависимости от количества добавляемого инициатора гель может образоваться через несколько минут или несколько часов. Величина добавки зависит от скорости фильтрации, заданной толщины завесы, трещиноватости среды и водопритока.

Процесс отверждения гелеобразующего раствора зависит от породы, в которую проводится нагнетание, температуры среды и давления инъекции, степени разбавления водой раствора в водонасыщенных породах.

Эффективность формирования противofiltrационных завес определяется как радиус распространения растворов, так и их способностью к надежной закупорке путем фильтрации подземных вод.

Установление дальности растекания тампонажного гелеобразующего раствора в массиве горных пород и конфигурация затампонируемого пространства в плане и по высоте является одной из наиболее сложных и ответственных задач создания подземных водонепроницаемых завес вокруг защищаемого объекта.

Дальность растекания раствора в трещиноватом водоносном слое зависит от очень многих природных факторов и их сочетаний: формы и размеров трещин (ширина их раскрытия, протяженности), наличии тектонических нарушений, их характера, напора подземных пластовых вод, их дебита, коэффициента и скорости фильтрации, состава химического раствора и т.д.

В настоящее время пока нет таких технических средств, чтобы решить поставленную задачу. Можно воспользоваться теоретическими расчетами, но правильность их опять же требует практического подтверждения.

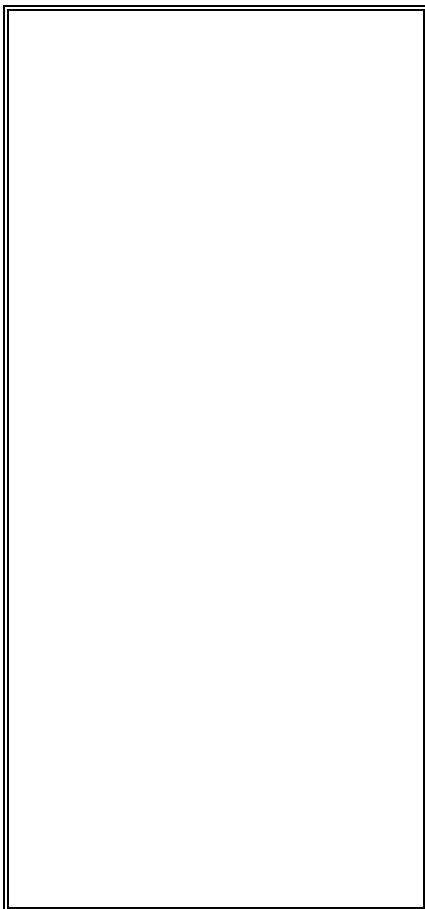
По результатам моделирования можно только приближенно судить о качественной стороне процесса. Остается только экспериментальный способ.

Качество созданной водоизоляционной завесы обычно проверяют путем нагнетания воды в затампонируемый водоносный слой и определения его гидрогеологических параметров. Дальность же растекания химического раствора после его отверждения и прочность затампонируемых пород определяют путем бурения скважин, отбора керна и его лабораторного исследования.

Экспериментальное определение дальности растекания тампонажного раствора в массиве производилось в Кузбассе на участке № 1 разреза «Барзасский». Породы, покрывающие разрабатываемый угольный пласт, представлены преимущественно трещиноватыми песчаниками. Вязкость гелеобразующего раствора близка к воде, нагнетание производили под давлением 0,5 МПа. При таком давлении скорость фильтрации достигла 0,5 м/мин, а дальность растекания превысила 40 м.

Полученный показатель дальности растекания воды в массиве пород следует считать максимальным. В ненарушенных породах он будет значительно меньше. В ИГД им А.А.Скочинского для нагнетания в массив пород с земной поверхности гелеобразующих растворов создана установка (комплекс) КНГР (рис. 3).

При подаче тампонажного



**Рис. 4** Герметизатор нагнетательных скважин: 1 - упорная шайба; 2 - резиновый манжет; 3 - шайба; 4 - фиксирующие плашки; 5 - сторотный винт; 6 - монтажный патрубок; 7 - направляющие планки; 8 - конус; 9 - накидная гайка; 10 - нижняя часть отсоединительного переходника; 11 - нижняя часть отсоединительного переходника; 12 - тяга; 13 - головка тяги; 14 - подвижной фланец; 15 трубка; 16 - муфта.

Из известных технических средств наиболее приемлемыми является паккерующее устройство ДАУ – 1 (рис. 4), изготовляемое в объединении «Спецтампонажгеология» (г. Антрацит, Луганская область). Оно рассчитано на предельное давление нагнетания до 50 МПа в скважины диаметром 59-168 мм. Длина его 1680-3615 мм, масса 14-90 кг.

#### *Защита поверхностных вод от загрязнения*

Защита поверхностных вод при применении противодиффузионных завес возможна следующими способами: перехватом склонового стока внутри водозащитных завес, экранированием водотоков внутри водозащитных завес и отводом воды из водоемов и водотоков за пределы завес.

#### **Выводы:**

1. В процессе экскавации вскрышных пород при добыче угля конкреции пирита, содержащиеся в глинах и угольных прослоях, перемещаются в отвалы и попадают в зону окисления. Инфильтрация атмосферных осадков через зону окисления приводит к образованию кислых вод с рН 2,7-3,0, которые заполняют техногенные водоемы и образуют линзы в техногенном водоносном горизонте. Они являются источником загрязнения поверхностных и подземных вод района на большой площади.

2. Гидрогеологическое строение района работ сложное. В результате выемки угольного пласта нарушен гидродинамический режим семи водоносных горизонтов. После ликвидации

угольных разрезов и прекращения водоотлива режим подземных вод восстанавливается до первоначального.

3. Гидрохимическому загрязнению подверглись воды 4-х водоносных горизонтов (средневерхнечетвертичный аллювиальный, нижнетульский, бобриковский, упинский). Наибольшему загрязнению подверглись водоносные горизонты, находящиеся в непосредственном контакте с техногенным водоносным горизонтом и «мертвыми» водоемами. Ореол загрязнения нижнетульского горизонта достигает г. Епифань. В меньшей степени загрязнен упинский водоносный горизонт, залегающий под бобриковским водоупором. Степень его загрязнения зависит от мощности бобриковских водоупорных глин, отделяющих техногенный водоносный горизонт от упинского, и удаленности от него «мертвых» водоемов.

4. Для предотвращения загрязнения подземных вод предлагается создание противодиффузионных завес. Создание противодиффузионных завес должно производиться с поверхности с помощью комплекса нагнетания гелеобразующего раствора и герметизатора нагнетательных скважин. Скважины бурятся вокруг ликвидированных разрезов, их длина составляет от 10 до 20 м. В качестве тампонирующего раствора рекомендуются использовать гелеобразующие составы на основе силикатного натрия.

5. Для расчета параметров противодиффузионных завес, состава и количества гелеобразующего вещества необходимы такие данные как трещиноватость и пористость пород, наличие зон выветривания и размывов, слоистость, скорость фильтрации и проницаемости водоносных горизонтов и др. Эти данные можно получить в результате проведение мониторинга.

## **КОРОТКО ОБ АВТОРАХ**

*Родина О.А.* – Московский государственный горный университет.