© А.А. Шубин, 2006

УДК 622.257.1:622.273

А.А. Шубин

ЗАДАЧИ ПОСТМАЙНИНГА В ПЕРИОД АКТИВИЗАЦИИ ТЕХНОГЕННЫХ ПРОЦЕССОВ

Семинар № 8

Большинство отрицательных экологических явлений на ликвидируемых предприятиях проявляют себя не сразу, а спустя месяцы и годы после прекращения работы на них. На многих предприятиях возникают непредсказуемые явления, требующие дополнительных научно-исследовательс-ких и проектных проработок и, соответственно, затрат. Поэтому важно заранее предусмотреть их возможность, с тем чтобы в проектах ликвидации принять меры по нормализации экологической обстановки и включить в сметы соответствующие затраты.

В настоящее время среди специалистов, так или иначе связанных с практическим обеспечением безопасности, принято считать, что подлинно научный подход к принятию технических решений с нежелательными последствиями должен основываться на выявлении закономерностей, позволяющих предсказывать отдаленные результаты (последствия) реализации таких решений. Подобная течка зрения обычно воспринимается как нечто само собой разумеющееся и поэтому редко подвергается сомнению. В то же время исторический опыт человечества показывает, что если цель, к которой стремятся люди, очень отдалена во времени, то невозможно определить приближают ли действия людей такую цель или наоборот ее отдаляют. Из этого культурологического принципа (непредсказуемости отдаленных последствий человеческой деятельности) следует важное практическое правило: недопустимо увеличивать сегодняшние экологические опасности за счет получения возможных экономических благ в будущем и обещания последующей полной безопасности. Необходимо в первую очередь разрабатывать методы ликвидации наиболее нетерпимых существующих экологических опасностей, а не искать в будущем спасительного глобального решения, реализация которого порождает, как правило, еще большие опасности.

С переходом к рыночным отношениям, когда сформировалась цена энергоносителей и природных ресурсов, значительная часть горнодобывающих предприятий потерпели финансовый крах. Горнодобывающие предприятия, вследствие предыдущего экстенсивного развития отрасли и использования ресурсоёмких технологий разработки и использования природных ресурсов, образовали истощённые бассейны и регионы с критическим экологическим состоянием. Техногенно–экологические проблемы обусловлены устаревшими технологиями, изношенными основными фондами и выражаются в огромных объёмах подземных пустот, накоплении колоссальных объёмов промышленных отходов, нарушении устойчивости геологической среды, высокой внезапной смертностью горняков. Техногенную опасность горнодобывающего комплекса также определяет широкомасштабное развитие новых геодинамических зон антропогенного генезиса: существенное изменение прочностных пород, нарушение динамики подземной и поверхностной гидросферы.

В таких сложных условиях осуществляется огромная государственная программа по реструктуризации горнодобывающей промышленности: массовое за-

крытие шахт, рудников, карьеров, ликвидация хвостохранилищ, накопителей,

отвалов, рекультивации земель. В связи со сложностью и широко масштабностью проблемы в её составе выделены: научно технические, экономические, экологические, правовые и социальные проблемы. Успешное решение этих проблем выходит за рамки традиционного горного дела, которое рассматривало до сих пор вскрытие и разработку месторождения полезного ископаемого. Поэтому необходимо в горном деле развитие нового научного ответвления, которое обозначено термином – *постмайнинг*.

Постмайнинг – это комплекс новых знаний, получаемых на основе фундаментальных законов природы, необходимых для научного обоснования совокупности мероприятий по ликвидации горнодобывающего предприятия, восстановление свойств нарушенного горного массива и ландшафта. Цель постмайнинга – научно-обоснованое предупреждение экологической опасности, ликвидация последствий техногенного вторжения в геологическую среду, обновление ландшафта. Обновлённый ландшафт горного края должен дополнять природные условия такими элементами, которые увеличивают его разнообразие, продуктивность и ценность, отвечая современным и будущим потребностям населения. Достижение цели постмайнинга должно базироваться на основных положениях *геоэтики*, как синтеза разумной целесообразности, основанной на строгих научных расчётах, и чистой совести, основанной на высоких моральных принципах (в 1994 г. чешский геолог В. Немец определил геоэтику как совокупность моральных норм, которым нужно следовать при освоении земных недр).

Это позволяет приблизиться к минимизации экологического ущерба от горных работ. В развитых странах Европы такой подход принят за основу, что позволяет успешно решать сложные экологические проблемы.

Объектом исследований является нарушенный горный массив и техногенный ландшафт, которые представляют собой неуравновешенную систему, что требует постоянного подведения внешней энергии. Если поток внешней энергии прекратить, природно-техногенная система стремиться к равновесию, что сопровождается разнообразными процессами и явлениями, которые представляют прямую экологическую опасность населению и хозяйству.

Предметом исследований являются геомеханические, гидродинамические, геохимические параметры природно-техногенной системы на стадии ликвидации горного предприятия. Новые знания о закономерностях поведения горного массива и формирования ландшафта позволяют управлять техногенными процессами и достичь стабилизации горно-геологической системы и избежать экологических катастроф.

Процессы обновления и восстановления свойств горного массива и ландшафта происходят самопроизвольно и принудительно. Принудительные процессы требуют материально – технических затрат, которые подразделяются на затраты по предупреждения экологической опасности и затраты по превращению горных объектов в объекты нового хозяйственного назначения. Горные выработки (подземные, открытые) и другие сопутствующие объекты, с одной стороны, представляют собой экологическое бедствие, но с другой стороны, при правильном их использовании могут приобретать хозяйственную ценность. Из этого диалектического тезиса вытекает целесообразность разрабатывать проекты ликвидации горных объектов в две стадии.

На первой стадии ставится основная цель достижение инженерно – геологической и экологической безопасности и определяются необходимые затраты. При этом затраты на постмайнинг первой стадии являются компенсационными и финансируются из государственного бюджета. На второй стадии постмайнинга основ-

ной целью ставиться хозяйственное использование обновлённого горного массива и ландшафта, определяется экономическая целесообразность и эффективность различных вариантов. Средства, вкладываемые в подготовку территорий и объектов для использования по новому назначению, должны окупаться. Эти средства должен вкладывать новый хозяин территории, как в частное владение, а государство в этом деле предоставляет льготные кредиты. Таким образом, достижение цели постмайнинга требует решения следующих задач:

1. Прогноз релаксации горного массива и самообновления ландшафта с учётом каждого из его элементов, определение всех горно-экологических процессов опасных для людей и хозяйства. При открытом способе добычи полезных ископаемых – это времени затопления карьера, химсостава воды в будущем озере, самовыполаживание бортов карьера и откосов отвалов, изменение гидрогафической сети, процессов абразии и эрозии, изменение гидродинамики и гидрохимии поверхностных и подземных вод. При подземном способе наиболее важные процессы деформационного поведения поверхности над горными выработками и подтопления территории.

2. Разработка научно обоснованных мероприятий по предупреждению развития или возникновения процессов и явлений, представляющих непосредственную угрозу людям или хозяйству. Мероприятия разрабатываются с обоснованием решений по предупреждению опасности путём сравнения возможных последствий с необходимыми затратами.

3. Определение направлений рационального использования горных объектов и нарушенной поверхности земли с учётом нынешних и будущих потребностей населения; разработка инвестиционных предложений для использования объектов и земельных участков.

4. Оценка состояния запасов полезных ископаемых и определение возможности их добычи в случае изменения коньюктуры рынка; разработка мероприятий по сбережению запасов и обеспечения условий их добычи в перспективе.

Дополнение горного дела постмайнингом образует завершающий цикл экологической безопасности населения.

Постмайнинг осуществляется за счёт трёх источников финансирования:

- собственные средства предприятия на стадии ликвидации;
- государственные для комплексного решения проблемы;
- средства будущих владельцев новых земель.

Таким образом, выделение ответвления в горном деле – постмайнинг позволяет целесообразно определить и систематизировать цели, задачи и направления исследований по достижению минимальных потерь и предупреждения экологических бедствий в процессе ликвидации горных предприятий. Развитие постмайнинга, обобщение знаний о новых процессах и явлениях в различных природно-техногенных системах существенно обогатит горное дело и позволит снизить техногенный риск при добыче полезных ископаемых.

Коротко об авторах

Шубин А.А. – кандидат технических наук, доцент, ШИ ЮРГТУ (НПИ).

© С.Г. Гендлер, Н.А. Мироненкова, 2006

УДК 546.621

С.Г. Гендлер, Н.А. Мироненкова

СНИЖЕНИЕ УРОВНЯ РАДИАЦИОННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ОТ ЛОКАЛЬНЫХ ПОДЗЕМНЫХ ЗАХОРОНЕНИЙ РАДИАЦИОННЫХ ОТХОДОВ

Одной из важных экологических проблем на территориях размещения мегаполисов является предотвращение прогрессирующего загрязнения окружающей среды и облучение населения от локальных подземных захоронений радиоактивных отходов.

Многие из этих захоронений были сделаны в период, предшествующий активной застройки мегаполисов. В связи с этим в настоящее время они оказались расположенными в районах компактного проживания людей. Например, для Санкт-Петербурга такими районами являются Петроградский, Васильевский, Кировский, Адмиралтейский, Приморский, Московский и Невский районы.

Уровень воздействия локальных захоронений подземных радиоактивных отходов зависит:

- от близости к местам проживания и объема локального подземного захоронения;
- от состава радиоактивных отходов;
- от условий захоронения.

Ориентировочная оценка воздействия локальных подземных захоронений радиоактивных отходов на людей может быть осуществлены следующим образом.

В соответствии с нормами радиационной безопасности (НРБ-99) величина эффективной дозы облучения для населения, подвергающемуся воздействию локальных захоронений радиоактивных отходов не должна превышать 1 $м^3$ в год [1].

Из этой величины несложно рассчитать предельное значение экспозиционной дозы Дэк (мкР/час), которое будет приводить к превышению этой предельной величины (рис. 1).

Из анализа расчетных данных, представленных на рис.1,следует, что при увеличении времени воздействия ионизирующего излучения от локальных подземных захоронений радиоактивных отходов на людей с 1000 час до 4000 час. предельное значение экспозиционной дозы $Д_{эк}$ снизится от106 мкР/час до 26 мкР/час.

Факторами, определяющими распространение радиоактивного загрязнения, являются число, количество, расположение и гидроизоляционные свойства поверхностей контакта с грунтами могильников, содержащих радиоактивные отходы, химический состав этих отходов, физико-химические свойства грунтов, гидро-

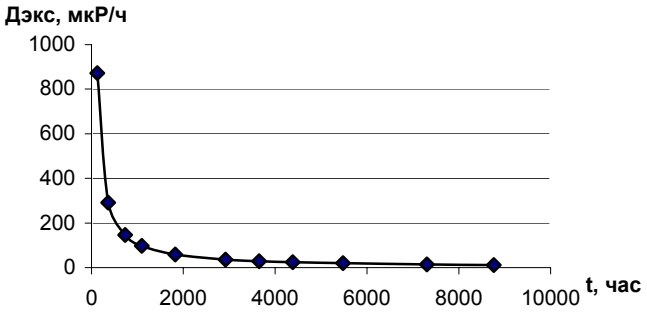

Рис. 1. Зависимость величины экспозиционной дозы от времени пребывания людей в районе локальных захоронений радиационных отходов

геологические условия, характеризующие район захоронения радиоактивных отходов, а также продолжительность существования могильников.

Для установления динамики радиационного загрязнения необходимо исследовать физико-химическое взаимодействие фильтрующих потоков, содержащих радиоактивные изотопы с различными типами пород, представленными в геологическом разрезе. По характеру взаимодействия можно будет делать вывод о том, какая часть изотопов адсорбируется на поверхности пород, а какая выноситься фильтрующим потоком в близлежащие водоемы. После оценки степени радиоактивного загрязнения на рассматриваемой площади может быть принято решение о дальнейшем использовании данной территории.

В зависимости от степени радиоактивного загрязнения для локализации или минимизации его негативного влияния на окружающую среду могут быть использованы как повышение герметичности могильников радиоактивных отходов при условии оставления их на прежнем месте, так и методы частичной или полной дезактивации грунта. В последних случаях весь цикл работ по дезактивации может быть выполнен без вывоза грунта за пределы площади радиоактивного загрязнения.

Оценка возможности минимизации негативного воздействия локального захоронения радиоактивных отходов на окружающую среду была выполнена для условий территории бывшего военного городка базы ВМФ СССР [2], который был расположен в одном из кварталов Васильевского района г. Санкт-Петербурга и занимал площадь 3600 м^2. В качестве могильников для захоронения радиоактивных отходов в период существования базы были использованы бетонные колодцы. В результате фильтрации грунтовых вод через поверхности этих колодцев происходили с одной стороны вымывание радиоактивных изотопов из вещества, сосредоточенного внутри могильников, а с другой – перенос этих изотопов по объёму грунта, окружающего могильники. Распространению радиоактивных изотопов на сравнительно большое расстояние от места расположения могильников способствовали высокие фильтрационные свойства грунта, имеющего природно-техногенное происхождение и представленного в слое с глубиной от поверхности 2-4 м грубозернистыми песками, щебнем, кирпичной крошкой, известняками, шлаком, стеклом. Ниже этой глубины залегают литориновые пески с прослоями и линзами глин. В верхней части пески грубозернистые, в нижней части пески пылеватые, переходящие в алевролиты и глины. В наиболее характерной части среднезернистых песков средний размер зерен 0,3 мм, максимальный 2,0-2,5 мм. Класс с размером зерна менее 0,1 мм составляет 13 масс.%. Основные минералы: кварц, полевые шпаты, биотит, амфибол, гидрослюды. Водоупорный горизонт залегает на глубине около 20 м.

Таблица 1

Характеристика исследуемых образцов грунта

Название образца	Формула	Удельная поверхность, м^2/г
Каолинит	$Al_4(OH)_8[Si_4O_{10}]$	5,2
Кембрийская голубая глина	$K_2Al_4[Al_2Si_6O_{20}](OH,F)_4$	5,86
Олигоклаз	$(Na_{0,9}Ca_{0,1})[Al_{1,1}Si_{2,9}O_8]$	0,17
Альбит	$Na[AlSi_3O_8]$	0,20
Калиевый полевой шпат	$K[AlSi_3O_8]$	0,21
Доломит	$Ca(Mg,Fe)[CO_3]_2$	–

Таблица 2

Результаты анализа по стронцию

C_0, М	C_∞, М	Г, моль/кг	$D_{т/ж}$	pH	
				исх.	конеч.
10^{-4}	$0{,}42 \cdot 10^{-4}$	$0{,}58 \cdot 10^{-3}$	15,01	3,05	4,09
$2 \cdot 10^{-4}$	$1{,}05 \cdot 10^{-4}$	$0{,}9510^{-3}$	10,17	2,81	3,35
$4 \cdot 10^{-4}$	$2{,}08 \cdot 10^{-4}$	$1{,}92 \cdot 10^{-3}$	10,86	3,03	3,42
$6 \cdot 10^{-4}$	$3{,}33 \cdot 10^{-4}$	$2{,}67 \cdot 10^{-3}$	9,66	2,91	3,38
$8 \cdot 10^{-4}$	$4{,}36 \cdot 10^{-4}$	$3{,}64 \cdot 10^{-3}$	10,44	2,82	3,11
10^{-3}	$5{,}55 \cdot 10^{-4}$	$5{,}55 \cdot 10^{-3}$	10,02	2,82	3,68
$2 \cdot 10^{-3}$	$1{,}13 \cdot 10^{-3}$	$8{,}7 \cdot 10^{-3}$	10,69		
$3 \cdot 10^{-3}$	$1{,}89 \cdot 10^{-3}$	$1{,}11 \cdot 10^{-2}$	9,79		
$7 \cdot 10^{-3}$	$5 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-2}$	7,14		
$9 \cdot 10^{-3}$	$6{,}5 \cdot 10^{-3}$	$2{,}5 \cdot 10^{-2}$	7,40		
10^{-2}	$0{,}73 \cdot 10^{-2}$	$2{,}7 \cdot 10^{-2}$	7,25		
$2 \cdot 10^{-2}$	$1{,}72 \cdot 10^{-2}$	$2{,}8 \cdot 10^{-2}$	-		
$4 \cdot 10^{-2}$	$3{,}71 \cdot 10^{-2}$	$2{,}9 \cdot 10^{-2}$	-		

Для определения характера распределения изотопов стронция по геологическому разрезу были исследованы закономерности химических форм свя-зи ^{90}Sr с различными типами пород, содержащимися в разрезе. Целью данных исследований являлось определение типов грунтов, на которых адсорбируется основная часть переносимого фильтрационным потоком радионуклида ^{90}Sr.

Данные исследования были проведены в лабораторных условиях на образцах грунта.

Анализ данных, представленных в таблице показывает, что удельная поверхность образцов коррелирует со значениями их обменной емкости, а также со степенью дисперсности. Чем выше дисперсность, тем больше удельная поверхность и обменная емкость. Этим можно объяснить известный факт накопления радионуклидных загрязнений в мелких фракциях грунтов.

По степени снижения сорбционной способности все исследованные образцы можно расположить в ряд:

Кембрийская голубая глина ~ каолинит >> калиевый полевой шпат > доломит > альбит > олигоклаз. Таким образом можно сделать вывод о том, что изотопы стронция-90 фиксированы преимущественно на глине. В этой связи для дальнейшего исследования, выбрана кембрийская голубая глина состава: $K_2Al_4[Al_2Si_6O_{20}](OH,F)_4$.

С целью характеристики фиксации ^{90}Sr на глине, была изучена изотерма адсорбции стронция на глине. Результаты анализа по стронцию представлены в табл. 2.

Количество адсорбированного вещества рассчитывали по формуле:

$$\Gamma = \frac{(C_0 - C_\infty) \cdot V \cdot \rho}{m}, моль/\ кг \qquad (1)$$

Коэффициент распределения между твердой и жидкой фазами определены:

$$D_{Т/ж} = \frac{(C_0 - C_\infty) \cdot V \cdot \rho}{C_\infty \cdot m \cdot \gamma_{Sr}^{2+}}, \qquad (2)$$

где C_0, C_∞ - исходная и равновесная концентрации стронция в водной фазе, моль/кг; V - объем раствора $м^3$; ρ - плотность раствора, $кг/м^3$; m - масса навески исследуемого образца, кг; γ_{Sr}^{2+} - коэффициент активности стронция в исходном растворе рассчитанный по уравнению Дэвис.

По экспериментальным данным была построена изотерма адсорбции, отражающая зависимость величины адсорбции

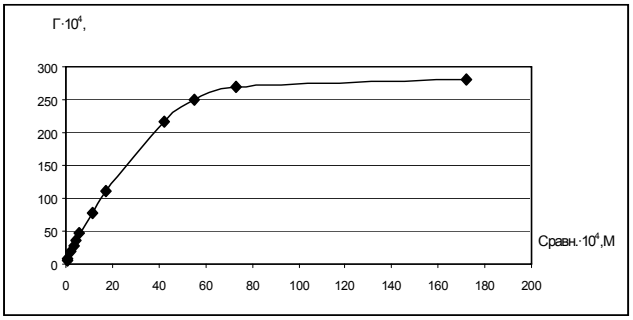

Рис. 2. Изотерма катионов стронция на глине

стронция от равновесной концентрации раствора C_∞ (рис. 2).

Представленные экспериментальные данные для стронция, свидетельствуют о том, что удельная адсорбция увеличивается с ростом концентрации раствора, причем в области малых концентраций эта зависимость носит прямолинейный характер («область Генри»).

При повышении концентрации исследуемого раствора, удельная адсорбция стремиться к предельному значению, отвечающему насыщению поверхности глины катионами Sr^{2+} .

В начальный период времени горные породы, содержащие глину, могут выступать своеобразным «фильтром» на котором осаждаются изотопы стронция, но с течением времени происходит перенасыщение катионами стронция поверхностями грунта, и они теряют способность задерживать изотопы, что позволяет утверждать о повышении условий воздействия на водоемы.

На основании проведенных инженерно-изыскательских работ было установлено, что общая площадь радиоактивного загрязнения составляет примерно 2000 м^2, а его глубина достигает 6 м. Таким образом, объем загрязненного грунта превышает 10000 м^3 [3]. При этом основным загрязняющим изотопом является стронций-90 (^{90}Sr), удельная активность которого в грунте составляет 98-99 % (для сравнения удельная активность, обусловленная присутствием цезия-137, не превышает 1-2 %). Уровень радиоактивного загрязнения грунта превышает 10^{-4} Ки/кг (3700 кБк/кг) при нормативной величине $2\cdot10^{-6}$ Ки/кг (74 кБк/кг).

Значительная площадь территории, загрязненной радиоактивными изотопами, её коммерческая привлекательность для жилищного строительства, а также расположенные в непосредственной близости акватория Финского залива и гостиничный комплекс «Прибалтийский», определили выбор в качестве основного направления минимизации негативного влияния на окружающую среду захоронения радиоактивных отходов осуществление дезактивации грунта на месте его залегания.

Для разработки технологии дезактивации были рассмотрены методики очистки грунта от радионуклидов такие как известкование почвы [4, 5], флотация с ПАВ [6], электромиграционное выделение радионуклидов из грунтов [7], элюентная промывка. Наиболее простым и экономичным способом обезвреживания является ионообменное промывание (элюентная промывка), основанная на вытеснении изотопов стронция-90 с поверхности грунтов растворами, содержащими катионы с большей вытеснительной способностью [2]. В качестве катиона-вытеснителя был выбран Fe^{3+} так как он обладает большим зарядом, относительно малым радиусом и с высоким комплексообразующим действием. Выбор аниона соли имел следующие основания. Соли слабых кислот не подходят вследствие необратимого гидролиза. Сульфат-ионы оказывают маскирующее действие на катионы железа вследствие комплексообразования. Нитраты железа (3+) неустойчивы, а также не удовлетворяют агрохимическим требованиям. Поэтому в качестве элюента для дезактива-

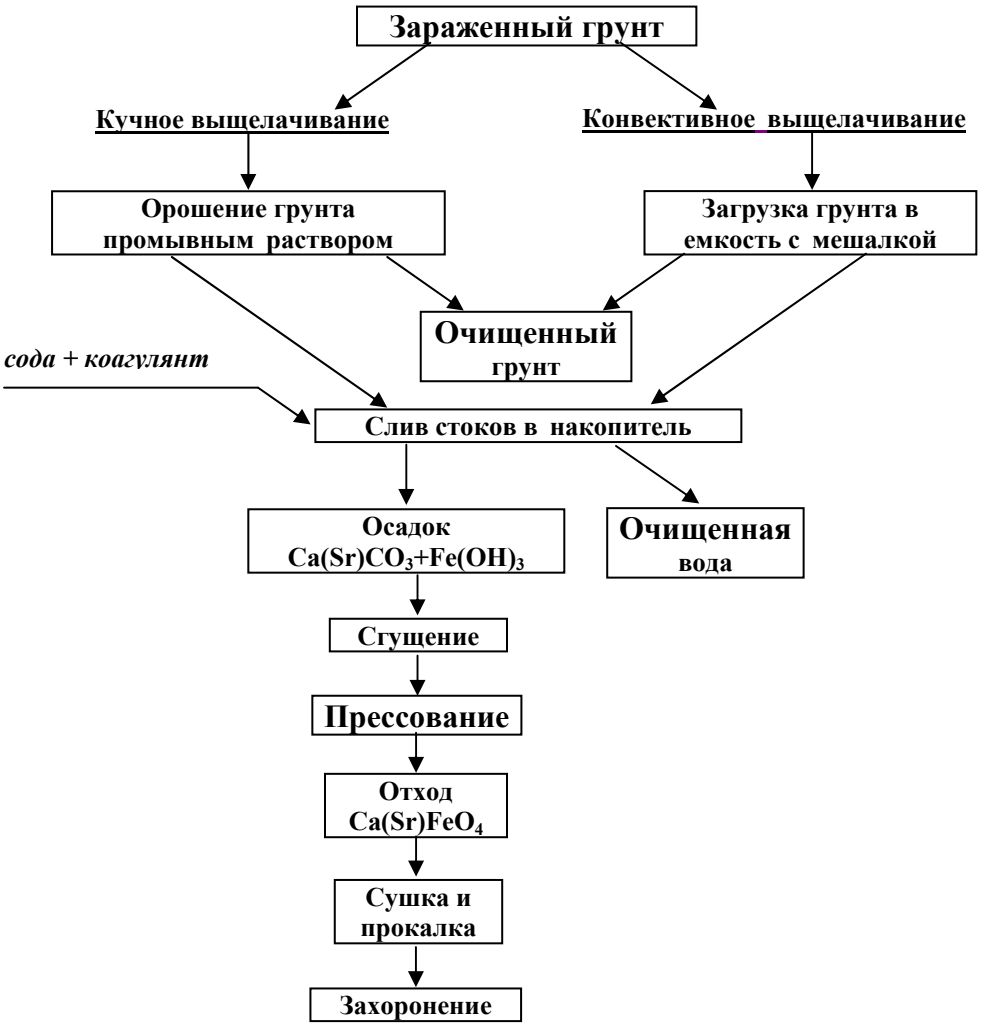

Рис. 3. Технологическая схема дезактивации грунта

ции почв был выбран раствор хлорида железа (3+).

Технология кучного выщелачивания была опробована на массе грунта 100 кг. Проба грунта была просеяна через сетку для удаления камней и строительного мусора, затем помещена на поддон из спецпластиката на бетонном основании. Высота слоя грунта на поддоне составляла 20-30 см. Сток промывных вод был обеспечен наклоном основания кучи на угол около 8° и отверстиями с водосточными трубками в нижней части поддона. Грунт равномерно смачивали элюирующими растворами. Промывные воды медленно просачивались через грунт и самотеком стекали через трубки в приемники растворов. Скорость фильтрации составляла около 6 литров раствора в час. Кучу защищали полиэтиленовой пленкой от атмосферных осадков и слоем стеклоткани от сползания по наклонному основанию в ходе промывки.

Получена степень очистки 60 %, после чего промывание прекратили вследствие замерзания грунта. В данном варианте технологии необходима доработка формования кучи с целью повышения фильтруемости грунта, предотвращения его слипания и снижения уноса мелкодисперсной фракции.

Технологию промывания в реакторе с мешалкой моделировали на двух образцах массой по 5 кг, при этом результаты параллельных опытов совпали в пределах погрешности измерений. Образцы воздушно-сухого грунта заливали растворами элюентов в полиэтиленовом

ведре. Пульпу периодически перемешивали в течение 6 часов, затем отстаи-вали. На следующий день раствор декантировали и заливали свежую порцию элюента. Эксперимент проводили в помещении при температуре около 20°. Получили коэффициенты очистки до 10, что соответствует 90 %-ной дезактивации.

Предлагаемая технологическая схема дезактивации грунта представлена на рис. 3.

Из полученных данных следует, что грунты с низким уровнем загрязнения, до $6 \cdot 10^{-6}$ Ки/кг, при необходимом коэффициенте очистки менее 3, в целях экономии средств можно промывать по технологии кучного выщелачивания. При более высоких уровнях загрязнения грунта коэффициент очистки до 100 может обеспечить технология промывания в реакторе с мешалкой. Повышение коэффициента распределения стронция-90 и интенсификация процесса возможны за счет его проведения в ёмкости с рубашкой при температуре 50-60 ^{0}C.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Нормы* радиационной безопасности (НРБ-99).М.:Минздрав России. 1999.113 с.
2. *Чиркст Д.Э., Литвинова Т.Е., Черемисина О.В., Стрелецкая М.И., Иванов М.В., Мироненкова Н.А.*//Разработка физико-химических основ и опытной технологии дезактивации грунтов от загрязнения радионуклидами цезия и стронция. Отчет по НИР. СПГГИ. 2000.
3. *Дибров И.А., Чиркст Д.Э., Чалиян К.Н., Стрелецкая М.И.*// Радиохимия, 2000, т.42, №3, с.273 – 276.
4. *Моисеев И.Т., Тихомиров Ф.А., Рерих Л.А. и др.*// Агрохимия, 1990, № 3, с. 100-107.
5. *Моисеев И.Т., Тихомиров Ф.А., Мартюшов В.З., Рерих Л.А.*// Агрохимия, 1988, № 5, с.86-91.
6. *Skriba M.C.*// Third Annual Scientific Conference Nucl.Soc.Internat., These, Moskou, 14-18 Sept. 1992.
7. *Прозоров Л.Б., Громыко П.А., Мартьянов В.В* (ВНИПИпромтехнология)// Опыт применения электромиграционной технологии для очистки грунтов от цезия-137, 1993. Тез. докл., с.7.

Коротко об авторах

Гендлер С.Г. – профессор, доктор технических наук,
Мироненкова Н.А. – аспирантка,
кафедра «Безопасность производства и разрушение горных пород», Санкт-Петербургский государственный горный институт (технический университет)

© С.А. Константинова, С.В. Топоркова, 2006

УДК 622.271.333:550.37

С.А. Константинова, С.В. Топоркова

О ВОЗМОЖНОСТИ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОГЕННЫМИ НАГРУЗКАМИ НА НЕДРА ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Под техногенной нагрузкой на недра при эксплуатации нефтяных месторождений подразумевается перепад пластового давления Δp на месторождении под воздействием нефтедобычи. Для обеспечения безопасности недр и земной поверхности может существовать возможность управления динамикой пластового давления, с помощью изменения некоторых параметров нефтедобычи, не затрагивающих саму технологию. Возникает вопрос: «Можно ли уменьшить техногенные нагрузки на недра без уменьшения добычи нефти за счет изменения параметров нефтедобычи?». Нами исследовалось влияние месторасположения скважин и цикла работы скважин (времени работы и отдыха скважин). Расчеты проводились на примере Чашкинского нефтяного месторождения, территориально совмещенного с Верхнекамским месторождением калийно-магниевых солей (ВКМКС).

Предполагалось, что:

- нефтяной пласт имеет незначительную мощность h;
- нефтяной пласт однороден по мощности h, проницаемости k и пьезопроводности λ;
- начальное пластовое давление $p_{н.п.}$ одинаково для всей площади Ω пласта;
- границы нефтяной залежи непроницаемы;
- все нефтяные скважины являются совершенными.

Решалось уравнение фильтрации [1]

$$\frac{1}{\lambda}\frac{\partial p}{\partial t} = \frac{\partial^2 p}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 p}{\partial y^2} \qquad (1)$$

с начальным и граничным условиями:

$p = p_{н.п.}$ при $t = 0 \quad \forall (x, y) \in \Omega$

$\frac{\partial p}{\partial \bar{n}} = 0$ при $(x, y) \in \bar{\Omega}$,

где Ω -- область, занимаемая пластом; $\bar{\Omega}$ -- граница пласта; $\bar{n}$ -- нормаль к границе.

Скважины заменялись точечным источником (стоком) с заданным расходом жидкости. Перепад давления в точке источника (стока) рассчитывается по формуле [1]:

$$\Delta p = \frac{q\mu}{4\pi kh} \ln\left(\frac{2.248 \cdot \lambda t_1}{r_c^2}\right), \qquad (2)$$

где q – мощность стока (при $q < 0$) или источника (при $q > 0$), $м^3$/сек; k – коэффициент проницаемости пласта, $м^2$; h – мощность пласта, м; $\lambda = 0{,}162$ – коэффициент пьезопроводности, $м^2$/сек; t_1 – время работы скважины, сек; μ – вязкость добываемой (закачиваемой) жидкости, Па*сек; r_c – радиус скважины, м.

Задача решалась методом переменных направлений. Область Ω аппроксимировалась сеткой с шагом $h_x = h_y = \text{const}$.

*Работа частично поддерживается Российским фондом фундаментальных исследований (Р-офи 04-01-97511).

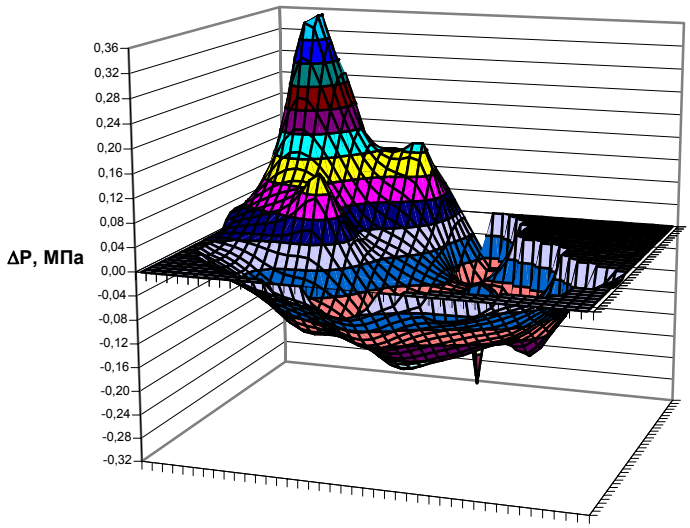

Рис. 1. Фактическое распределение перепада пластового давления Δp на Чашкинском нефтяном месторождении

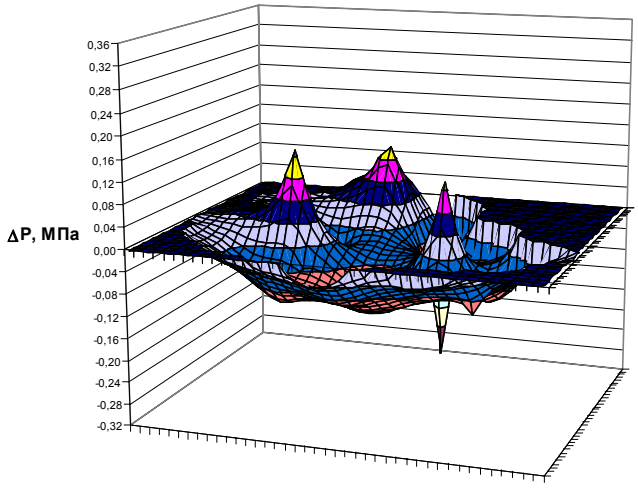

Рис. 2. Рассчитанное распределение перепада пластового давления Δp на Чашкинском нефтяном месторождении для задачи с параметрами нефтедобычи – временем работы и отдыха скважин

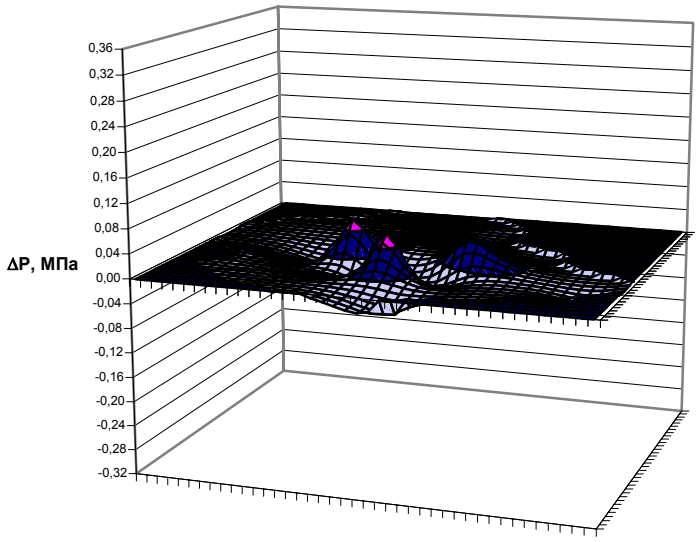

Рис. 3. Рассчитанное распределение перепада пластового давления Δp на Чашкинском нефтяном месторождении для задачи с параметрами нефтедобычи – месторасположением скважин

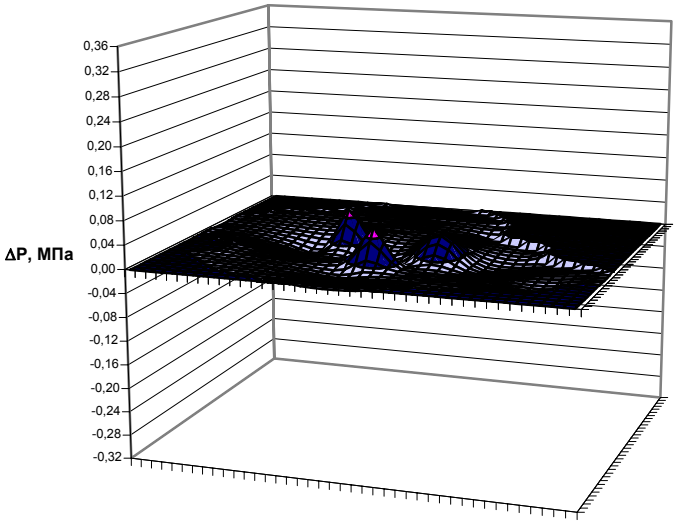

Рис. 4. Рассчитанное распределение перепада пластового давления Δp на Чашкинском нефтяном месторождении для задачи с параметрами нефтедобычи – месторасположением скважин и циклом работы скважин

В качестве параметров нефтедобычи влияющих на распределение Δp рассмотрены время работы и отдыха скважин и месторасположение скважин.

Если в качестве исследуемых параметров нефтедобычи рассмотрено время работы и отдыха скважин, то время работы каждой скважины есть соответствующая компонента вектора $u_1 = (a_1, a_2, \ldots, a_n)$, где n – количество скважин.

Исходная область параметров a_i (I = 1..n) ограничена естественными условиями. Время работы скважины не может быть более времени, ограниченного рабочим циклом скважины. Любую добывающую скважину нельзя закрыть полностью. Общий объем добычи нефти $V_{нефти}$ не должен уменьшиться ниже критического $V_{крит.}$, то есть

$V_{нефти}(u_1) \geq V_{крит.}$

$$\begin{cases} i = 1..n \\ 1 \leq a_i \leq b_i, \text{ если i-ая скважина добывающая;} \\ 0 \leq a_i \leq b_i, \text{ если i-ая скважина нагнетательная,} \end{cases} \quad (3)$$

где b_i – время полного цикла скважины.

Регулируя вектором u_1, уменьшим функцию

$$J(u_1) = \int_{\Omega} (\Delta p)^2 d\Omega \quad \in C^1 \text{ на } E^n, \quad (4)$$

где $\Delta p = p(x,y,t_0) - p(x,y,0) = p_0 - p_{н.п.}$; Ω – область, занимаемая пластом месторождения; p – функция распределения давления для заданного u_1; t_0 = const (для Чашкинского месторождения 30 дней). Результат можно увидеть на рис. 2.

Рассматривалось в качестве исследуемых параметров нефтедобычи месторасположение скважин. Координаты скважин есть компоненты вектора

$u_2 = (w_1,\ldots,w_{2n}) =$

$= (x_1,x_2, \ldots, x_n, y_1, y_2, \ldots, y_n)$

где n – количество скважин.

Исходная область исследуемых параметров ограничивается условиями:

$$\begin{cases} (x_i , y_i) \in \Omega, \\ i = 1..n \\ \text{если } j \neq i, \text{ то } (x_i , y_i) \neq (x_j , y_j) \end{cases} \quad (5)$$

Физический смысл этих условий заключается в том, что две скважины не могут иметь одинаковые координаты и все скважины находятся в пределах месторождения.

Изменяя вектор u_2, уменьшим функцию

$$J(u_2) = \int_{\Omega} (\Delta p)^2 d\Omega \quad \in C^1 \text{ на } E^{2n}. \quad (6)$$

Результат представлен на рис. 3.

Рассматривалась задача, где варьировались время работы и отдыха скважин и их месторасположение на нефтяном пласте. Этот случай является объединением двух предыдущих. Регулируя поочередно векторами u_1 и u_2, уменьшим функцию J, в качестве которой примем $J(u_1)$, если используется u_1, и соответственно $J(u_2)$, если используется u_2.

Результаты расчетов иллюстрируются на рис. 4.

Все задачи решены градиентным методом[2].

В результате проведенной работы получены параметры нефтедобычи, способствующие уменьшению динамики пластового давления, как величине, напрямую связанной с техногенной нагрузкой на недра. Таким образом управлять техногенными нагрузками на недра возможно за счет выбора рациональных параметров нефтедобычи. Установлено, что для наиболее безопасного использования месторождения необходимо комплексное изменение месторасположения и цикла работы скважин.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Желтов Ю.П.* Механика нефтегазового пласта. – М.: Недра. -1975.

2. *Численные* методы. Корни и экстремумы функций. Курс лекций под редакцией Девингталя Ю.В. и Тарунина Е.Л. Пермь: Издательство Пермского университета. -1996.

Коротко об авторах

Константинова С.А. – доктор технических наук, профессор, заведующая лабораторией геодинамической безопасности Уральского научно-исследовательского и проектного института галургии (ОАО «Галургия»); профессор кафедры «Механика сплошных сред и информационных технологий» Пермского государственного университета (ПГУ), г.Пермь.
Топоркова С.В. – аспирантка кафедры «Разработка месторождений полезных ископаемых» Пермского государственного технического университета (ПГТУ), г. Пермь.

Д И С С Е Р Т А Ц И И

ТЕКУЩАЯ ИНФОРМАЦИЯ О ЗАЩИТАХ ДИССЕРТАЦИЙ ПО ГОРНОМУ ДЕЛУ И СМЕЖНЫМ ВОПРОСАМ

Автор	*Название работы*	*Специальность*	*Ученая степень*
ЧИТИНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ			
ДОРОФЕЕВ Виктор Андреевич	Обоснование организационно-технологических методов ведения горных работ в сложных горнотехнических и геокриологических условиях открытой разработки угольных месторождений (на примере разреза «Восточный»)	25.00.22	к.т.н.
РАЗМАХНИН Константин Константинович	Повышение качества цеолитсодержащего сырья на основе применения магнитоэлектрических и ультразвуковых воздействий	25.00.13	к.т.н.
ФОФАНОВ Николай Петрович	Интенсификация комбайновой проходки восстающих в прочных горных породах с использованием энергии взрыва (на примере ОАО ППГХО)	25.00.22	к.т.н.