Записки Ленинградского ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции
и ордена Трудового Красного Знамени горного института им. Г.В.Плеханова,
т. XCI, 1982 г.

УДК 556.338:622.84

О ВЛИЯНИИ ГОРНЫХ РАБОТ НА УСЛОВИЯ МИГРАЦИИ ПРОМСТОКОВ

В.А.МИРОНЕНКО, Е.В.МОЛЬСКИЙ,
Ф.Г.АТРОЩЕНКО

Широкие исследования по проблеме охраны подземных вод в горнодобывающих районах, развернувшиеся в последние годы, к сожалению, часто слабо учитывают специфические аспекты этой проблемы, обусловленные технологией горного производства. Между тем специфика такого рода подчас существенно влияет на гидродинамический и гидрохимический режим подземных вод района.

Добыча любого полезного ископаемого всегда сопровождается сдвижениями горных пород над выработанным пространством. Значительные по величине деформации пород над выработанным пространством могут существенно нарушить их сплошность и резко увеличить трещиноватость (а значит и проницаемость) горного массива на подработанных участках [1, 3], особенно в период активной стадии сдвижений. Это обстоятельство до сих пор никак не учитывалось при проведении гидрогеологических работ и интерпретации их результатов в связи с проблемой загрязнения подземных вод в горнодобывающих районах.

Полное отсутствие соответствующих методических разработок определяет необходимость накопления и популяризации опыта исследований в этой области. Ниже изложены некоторые результаты такого рода исследований, полученные кафедрой гидрогеологии ЛГИ при изучении процессов загрязнения подземных вод на Верхнекамском месторождении калийных солей.

Характерным участком, на примере которого можно проследить влияние горных работ на условия миграции промстоков, является шахтное поле Второго Березниковского калийного рудоуправления (БКРУ-2).

Геологическое строение и гидрогеологические условия участка в целом типичны для Верхнекамского месторождения (см. статью А.И.Короткова и Н.Г.Головиной в настоящем сборнике). Подземные воды в пестроцветной и терригенно-карбонатной толщах на территории БКРУ-2 довольно интенсивно загрязняются отходами обогащения калийных солей - хлоридными калиево-натриевыми рассолами с минерализацией до 360 г/л (в среднем 220 г/л). Ос-

новным источником загрязнения является шламохранилище обогатительной фабрики, из которого по ряду причин происходят систематические утечки рассолов в подстилающие породы. Разгрузка загрязнений реализуется на отметках, отвечающих местному базису эрозии, - в р.Зырянку и в созданное на ней Верхнезырянковское водохранилище (на расстоянии около 3,5 км от шламохранилища).

Основные параметры системы отработки и их краткий анализ

В пределах шахтного поля БКРУ-2 одновременно отрабатываются два сближенных продуктивных пласта сильвинита, залегающие на глубине 350–400 м: верхний (АБ) мощностью 2,5 м и нижний (Кр-П) мощностью 4,5 м. Система отработки - камерная, выемка осуществляется по панелям, нарезаемым в широтном направлении (рис.I). К 1980 г. были полностью отработаны три панели (I, 3 и 5), причем выемка велась прямым ходом - от промплощадки к флангам шахтного поля. В настоящее время ведутся очистные работы на панелях 2, 4,

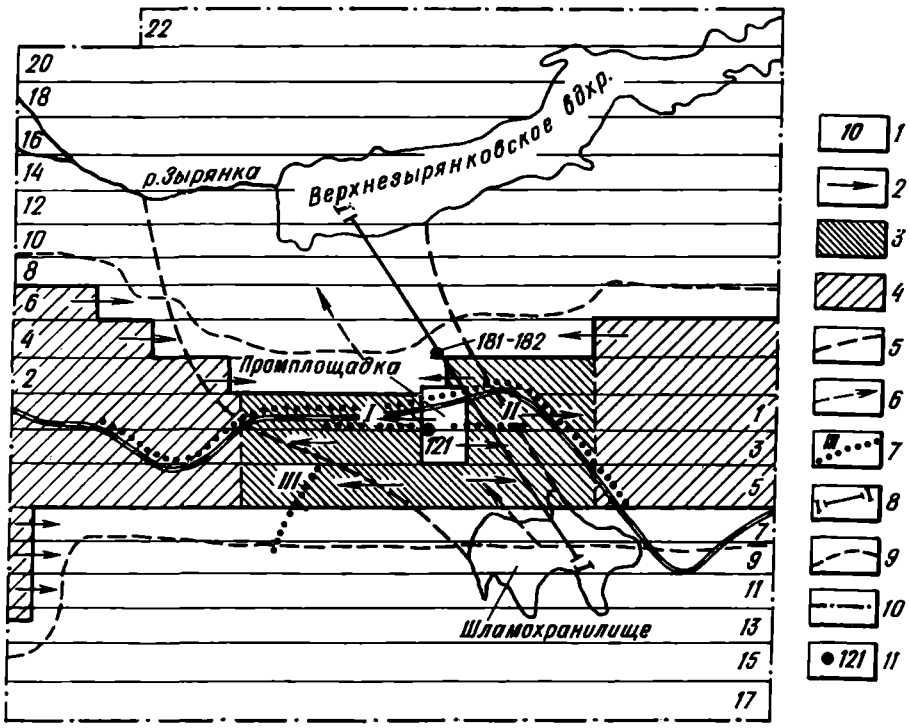


Рис.1. Схема шахтного поля БКРУ-2 и ореола загрязнения подземных вод
1 - номера выемочных панелей; 2 - направление отработки панелей; 3 и 4 - выработанное за 1970–1975 и за 1976–1981 гг. пространство; 5 - граница ореола загрязнения подземных вод; 6 - направление миграции промстоков; 7 - линии профилей, по которым проводились наблюдения за оседанием земной поверхности; 8 - линия схематического разреза; 9 - граница влияния горных работ на 1981 г.; 10 - граница шахтного поля; 11 - скважина

6 и 7, но уже обратным ходом, т.е. от флангов шахтного поля[x].

Основные параметры принятой на БКРУ-2 системы разработки по пластам АБ и Кр-П следующие: ширина камер 3,2 и 5,2 м, ширина междукамерных целиков 5,8 и 3,8 м, извлечение полезного ископаемого 32,6 и 37,2 % соответственно. Очистная выемка на обоих пластах производится без закладки выработанного пространства.

Принятые на БКРУ-2 параметры отработки характеризуются, прежде всего, высокой степенью податливости междукамерных целиков ($C > 10$). В „Методических указаниях..." [3] отмечается, что при совместной отработке пластов АБ и Кр-П без закладки происходит быстрое разрушение целиков на пласте Кр-П и последующее обрушение потолочины. Таким образом, с точки зрения последствий процесса сдвижения, система отработки продуктивных пластов на БКРУ-2 во многом напоминает обычную сплошную системы выемки с обрушением кровли, для которой характерно быстрое наступление активной стадии сдвижений, высокие скорости оседаний и значительные величины деформаций растяжения, особенно в краевой части выработанного пространства.

Опыт эксплуатации угольных месторождений показывает, что растягивающие напряжения вызывают как правило нарушения сплошности подрабатываемого массива у фронта отработки: здесь образуется система крутопадающих параллельно-секущих водопроводящих трещин [1, 4]. Кроме того, изгибы слоев в зоне разгрузки сопровождаются относительными сдвигами по границам слоев или по контактам отдельных литологических разностей, для которых характерно пониженное сцепление. При этом образуются так называемые трещины расслоения. „Наведенная" подработкой трещиноватость - совокупность взаимно пересекающихся крутопадающих параллельно-секущих трещин и горизонтальных трещин расслоения - обычно сильно увеличивает проницаемость подработанного массива горных пород.

На шахтном поле БКРУ-2 направление движения загрязненных подземных вод пересекает подработанную толщу (рис.1, 2). В условиях БКРУ-2, где основной водоносный горизонт на 70-80 % сложен хрупкими и трещиноватым породами (известняками, песчаниками, мергелями), а сдвижения в силу принятых параметров очистной выемки реализуются весьма интенсивно, следует ожидать широкого развития наведенной трещиноватости в подработанном массиве.

Без разрыва сплошности здесь деформируются, по-видимому, лишь достаточно пластичные породы (каменная соль, гипсы, аргиллиты, глины) соляно-мергельной толщи, частично включенные в состав водозащитной потолочины, изолирующей горные выработки от водоносных горизонтов. Но даже и в отношении этих пород до сих пор высказываются известные опасения, касающиеся их „иммунитета" к процессам трещинообразования [3], и ведутся непрерывные наблюдения и исследования для выяснения степени их надежности как водоупора.

---

[x] Порядок отработки панелей (прямой или обратный) существенно влияет на характер миграции загрязнений.

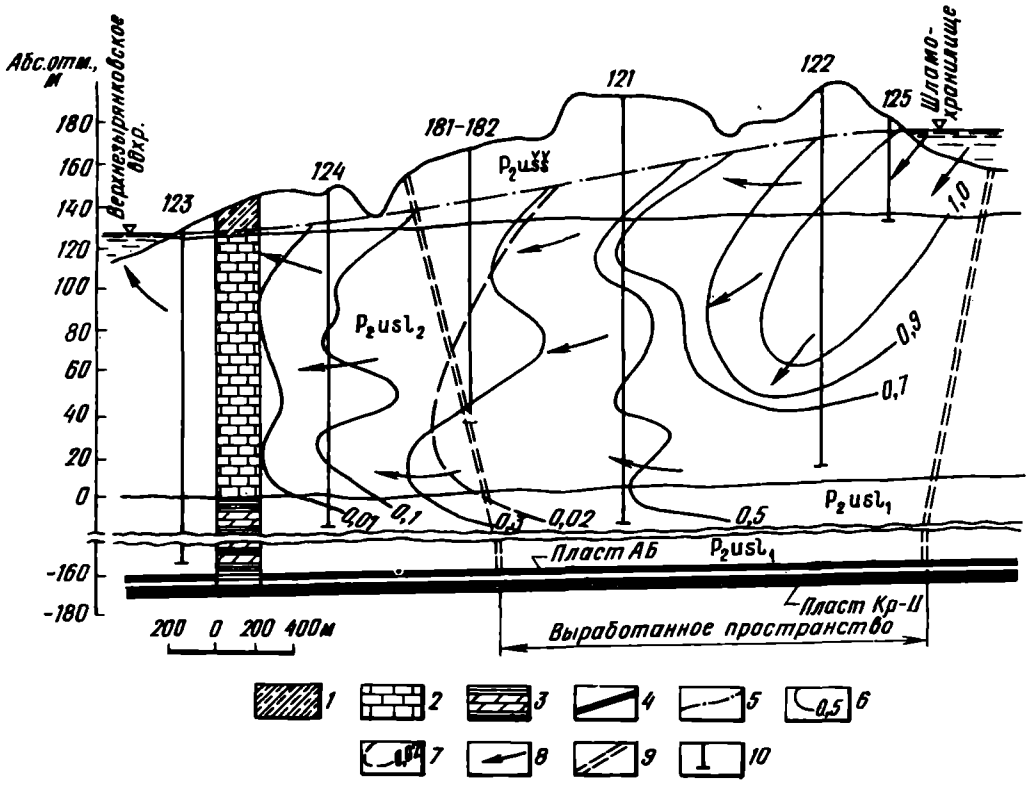


Рис.2. Схематический разрез в направлении миграции промстоков (I–I на рис.1)
1 – пестроцветная толща; 2 – терригенно-карбонатная толща; 3 – соляно-мергельная толща; 4 – продуктивные пласты калийной соли; 5 – уровень подземных вод; 6 – изолинии относительной минерализации подземных вод в пределах ореола загрязнения на 1980 г. по Н.Г.Головиной в долях единицы от исходной минерализации промстоков в шламохранилище; 7 – граница ореола загрязнения на февраль 1973 г.; 8 – направление миграции промстоков; 9 – границы влияния горных работ; 10 – скважина

К сожалению, прямые наблюдения за деформациями всего разреза водоносных пород при их подработке пока не проводились. Поэтому мы вынуждены обратиться к некоторым косвенным данным, которые, в сочетании с примерами-аналогами из практики эксплуатации других (прежде всего угольных) месторождений и фрагментарными гидрогеологическими наблюдениями, в известной мере подтверждают тезис о появлении наведенных трещин в подрабатываемых водоносных породах на территории БКРУ-2.

К числу таких косвенных данных относятся, в первую очередь, результаты инструментальных наблюдений.

Анализ приповерхностных деформаций подработанной толщи

Инструментальные наблюдения за деформациями земной поверхности в зоне подработки регулярно проводятся на БКРУ-2, начиная с 1972 г. (попутно отметим, что разработка калийных солей здесь была начата в декабре 1969 г.).

Максимальные значения параметров сдвижения

Параметры сдвижения [3]	Профиль I	Профиль II	Профиль III	Профиль железнодорожный		Дамба шламохранилища
				западная часть	восточная часть	
Оседания земной поверхности η, мм	1815	1440	1684	1260	1370	205
Скорости оседания v, мм/сутки	2,2	1,25		1,50	1,30	
Наклон $i=d\eta/dx$	$14{,}5\cdot10^{-3}$	$4{,}27\cdot10^{-3}$	$6{,}7\cdot10^{-3}$			$3{,}5\cdot10^{-3}$
Кривизна $k=d^2\eta/dx^2$, $м^{-1}$	$3{,}3\cdot10^{-4}$	$0{,}57\cdot10^{-4}$	$1{,}3\cdot10^{-4}$	-		$1{,}2\cdot10^{-4}$
Относительные деформации растяжения ε	$2{,}6\cdot10^{-3}$	$1{,}8\cdot10^{-3}$				$1{,}75\cdot10^{-3}$

Наблюдения ведутся по нескольким профильным линиям реперов (см. рис.I).

Мы ограничимся рассмотрением лишь некоторых параметров сдвижения по состоянию на начало 1980 г. (см.таблицу). Отработка калийных солей в пределах шахтного поля БКРУ-2 с самого начала сопровождалась интенсивными сдвижениями горных пород. Так, максимальные величины η сейчас приближаются к 2,0 м и составляют более 60 % от конечных расчетных величин. Более того, к западу от промплощадки уже сформировалась мульда сдвижения с плоским дном, т.е. процесс сдвижения здесь дано миновал активную стадию (1973-1974 гг.) и вступил в стадию затухания. Максимальные значения параметров не только сравнимы, но нередко и превосходят значения, установленные для угольных месторождений в аналогичных геологических условиях. Поэтому целесообразно сопоставить их с результатами наблюдений на угольных месторождениях, где появление наведенной трещиноватости было зафиксировано инструментально.

Приемлемым аналогом для Верхнекамского месторождения калийных солей с геологических позиций является Львовско-Волынский каменноугольный бассейн. Надугольная толща на Львовско-Волынском месторождении представлена почти горизонтально залегающими мергелями, известняками и песчано-глинистыми отложениями карбона, т.е. ее разрез по литологическому составу подобен разрезу обводненной части надсолевой толщи на БКРУ-2 (терригенно-карбонатная и пестроцветная пачки).

Наблюдениями за глубинными реперами в скважинах, выполненными В.Н.Земисевым и В.В.Гусевым [I], были зафиксированы трещины расслоения во всей 300-метровой надугольной толще пород, подработанной пластом мощностью всего I,3-I,4 м. В интервале от 50 до I80 м над пластом угля наиболее существенные горизонтальные подвижки (с амплитудами, превышающими диаметр скважины, равный I30 мм) и связанные с ними трещины расслоения возникали, в среднем, через I0 м [I]. Величина максимальных оседаний η

здесь не превысила I,2 м. В условиях БКРУ-2 уже сейчас η = I,3÷I,8 м. Поэтому можно уверенно говорить об образовании трещин расслоения также и в водоносных породах надсолевой толщи на БКРУ-2[x].

Относительные деформации растяжения в горизонтальной плоскости (у поверхности) на БКРУ-2 также достаточно велики ($\varepsilon > I \cdot IO^{-3}$); такие деформации могут сопровождаться образованием крутопадающих трещин вблизи фронта очистных работ: для образования трещин расслоения в условиях Львовско-Волынского бассейна оказалось вполне достаточно величин ε от $2{,}0 \cdot IO^{-4}$ до $I{,}2 \cdot IO^{-3}$ (на глубинах до 50 м).

Весьма убедительное доказательство образования крутопадающих трещин в терригенно-карбонатных отложениях на БКРУ-2 было получено нами при проведении миграционных опытов на кусте скважин I2I, заложенном у западной границы промплощадки (см. рис.I). Здесь краевая часть целика, находящаяся в зоне опорного давления, испытывает сильные растягивающие напряжения (см. таблицу, профиль I) и поэтому именно здесь наиболее вероятно образование крутопадающих трещин. Если это так, то по мере удаления фронта очистных работ от промплощадки такими трещинами окажется охваченным весь подработанный массив горных пород.

В одном из опытов на кусте скважин I2I индикатор, запущенный в наблюдательную скважину в интервале I45-I55 м (нижняя часть терригенно-карбонатной толщи), был извлечен при откачке из центральной скважины в интервале II2-I22 м. При расстоянии от центральной до наблюдательной скважины IO м угол падения трещины (или группы трещин), по которой прошел индикатор, должен составлять 70-75 ^{o}. Характерно, что при запусках индикаторов в изолированные нижние интервалы скважин, пройденных до кровли соляно-мергельной толщи, его подчас не удавалось уловить даже в близрасположенных наблюдательных скважинах. Объяснить это, видимо, можно только интенсивным развитием наведенной трещиноватости в нижней части терригенно-карбонатной пачки пород.

Практически не вызывает сомнений возможность временного образования таких субвертикальных параллельно-секущих трещин на краю выработанного пространства и в рыхлых покровных отложениях, которые на БКРУ-2 представлены в основном суглинками. В связи с этим сошлемся на пример Старобинского калийного месторождения в Белоруссии, где такие трещины были зафиксированы и описаны [2]. Их появление эмпирически связывалось с ростом кривизны κ на периферии мульд сдвижения до значений, превышающих $I \cdot IO^{-4}$ м$^{-I}$. В условиях БКРУ-2 аналогичные значения κ фиксируются по всем наблюдательным профилям (см. таблицу). Заметим, что раскрытие субвертикальных трещин в рыхлых отложениях может достигать IO-I5 см [2]. Если это так, то тем более неизбежно образование подобных трещин в хрупких коренных породах, где этот процесс облегчается наличием естественной трещиноватости.

Разумеется, все сказанное требует строгой экспериментальной проверки. Однако даже качественные сравнения указывают на необходимость всесторон-

---

[x] Разумеется, окончательно это может быть установлено только наблюдениями по скважинным реперам.

него учета влияния горных работ на гидрогеологические условия подрабатываемых площадей применительно к калийным месторождениям (для угольных месторождений это давно стало нормой). Попытаемся проследить упомянутое влияние на примере БКРУ-2 по тому ограниченному материалу специальных гидрогеологических наблюдений, который имеется в нашем распоряжении.

Гидрогеологические аспекты проблемы

Ореол засоления подземных вод на территории БКРУ-2 приурочен к средней части шахтного поля (см. рис.I). Активная стадия сдвижений в районе промплощади наблюдалась в 1973-1974 гг. Примерно в это же время (1972-1975 гг.) был частично подработан северный борт шламохранилища. Одновременно вся северная половина чаши шламохранилища попала в зону интенсивного влияния горных работ, определяемую граничным углом сдвижения. Значительные по величине горизонтальные деформации растяжения ($1{,}75 \cdot 10^{-3}$), большие значения кривизны (более $1 \cdot 10^{-4}$ $м^{-1}$) и оседания земной поверхности (200 мм за 2 года) фиксируются здесь до настоящего времени (см. таблицу, профиль по дамбе шламохранилища). Следовательно, в период активной стадии сдвижений эти значения были, без сомнения, намного выше. Большие потери рассолов на фильтрацию из шламохранилища (в среднем около 85 л/с) скорее всего связаны именно с подработкой его северного борта и появлением здесь крутопадающих трещин, способствовавших быстрому погружению рассолов к подошве терригенно-карбонатной толщи.

Ориентировочные расчеты скорости вертикального перемещения рассолов в суглинках, экранирующих ложе шламохранилища, показывают, что при коэффициенте фильтрации суглинков около $1 \cdot 10^{-3}$ м/сутки она должна составлять не более 1 м в год[x]; следовательно, первые порции рассолов должны были появиться в коренных породах под шламохранилищем лишь через 10-12 лет после ввода его в эксплуатацию, т.е. в 1980-1982 гг. Однако наблюдения показали, что процесс этот шел гораздо быстрее: первые признаки засоления подземных вод вблизи шламохранилища были отмечены уже в начале 1972 г., т.е. через два года после ввода его в эксплуатацию. Загрязнение было прослежено на 250 м к северу только по пестроцветной толще на отметках 140-170 м (наблюдения велись по скважинам глубиной 30-40 м).

Тогда еще было неясно, насколько быстро мигрируют рассолы в вертикальном направлении. В 1980 г. в результате проведения специальных опытов такие данные были нами получены. Оказалось, что скорость вертикального перемещения рассолов (под действием плотностного градиента) не только сопоставима, но подчас и превышает скорость их продвижения в горизонтальном направлении (даже без учета влияния подработки). Поэтому можно утверждать, что зафиксированная в начале 1972 г. интрузия рассолов вблизи северного борта шламонакопителя уже давно достигла подошвы терригенно-карбонатной толщи (глубина залегания водоупора здесь около 300 м). Быстрой нисходящей

---

[x] Принимая во внимание действие конвективного и диффузионного механизмов переноса солей в суглинках.

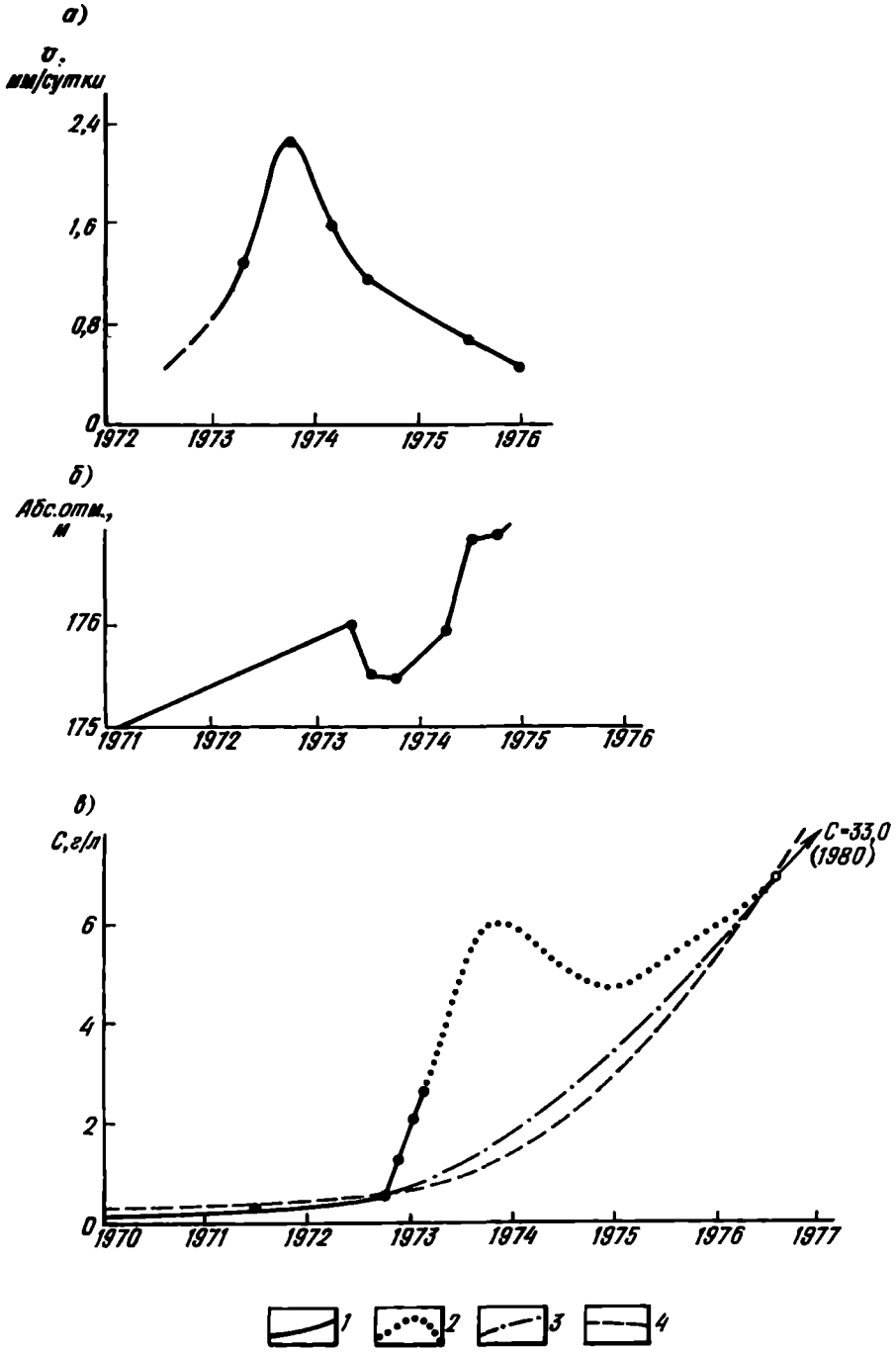


Рис.3. Совмещенные хронологические графики: а - скорости оседания земной поверхности (профиль I, репер 24) в пределах ореола загрязнения; б - колебания абсолютных отметок рассолов в шламохранилище; в - содержания хлор-иона в скважине 181

1 - действительная часть кривой; 2 - предполагаемая часть кривой; 3 и 4 - фактическая и теоретическая кривые, учитывающие только „реконструированную" проницаемость подработанного массива

фильтрации рассолов, особенно через суглинки (не более двух лет вместо расчетных 10-12 лет), безусловно, способствовала подработка северного борта, вызвавшая проявление субвертикальных трещин; вполне возможно также, что определенную роль сыграла и недостаточная экранирующая способность самих суглинков.

Таким образом, не без участия подработки вся толща пород под ложем шламохранилища БКРУ-2 оказалась быстро заполненной рассолами. Их продвижение в горизонтальном направлении на первых порах было незначительным - 250-300 м за два года (на начало 1972 г.) по пестроцветной толще и немногим больше (судя по конфигурации интрузии рассолов в разрезе, полученной позднее в результате бурения специальных скважин) по подошве терригенно-карбонатной толщи.

Однако уже в сентябре 1972 г. следы рассолов были обнаружены далеко за местным водоразделом (линия железной дороги), в водозаборных скважинах 181 и 182, расположенных в верховьях Пономаревского лога. В этих скважинах стала быстро расти минерализация воды (рис.3) и в феврале 1973 г. их эксплуатацию пришлось приостановить. Заметим, что обе скважины эксплуатировали совместно водоносный горизонт в пестроцветных отложениях и верхнюю часть водоносного горизонта терригенно-карбонатной толщи (абсолютные отметки 70-130 м).

Таким образом, только за 8 месяцев 1972 г. рассолы продвинулись на расстояние в 2000 м, т.е. скорость конвективного переноса загрязнений резко возросла. Представляется, что единственным приемлемым объяснением этого факта может быть появление наведенной трещиноватости в подработанных водовмещающих породах, резко увеличившей их проницаемость.

Зона подработки в окрестности промплощадки достигла к началу 1973 г. значительных размеров (см. рис.2); при этом транзит всех солей осуществлялся именно через подработанную зону, т.е. вблизи целика, оставленного под промплощадку БКРУ-2. В конце 1972 г. здесь началась активная стадия сдвижений (см. рис.3), с которой хронологически совпадает значительное по величине (до 0,5 м) и резко выраженное падение уровня рассолов в шламохранилище. Сопоставляя эти факты с повышением минерализации воды в скважинах 181 и 182, мы неизбежно приходим к выводу о сильном влиянии подработки на фильтрационные свойства водоносных пород в пределах подработанной толщи.

Скорость продвижения рассолов по трещинам в дальнейшем должна была постепенно уменьшиться в силу „буферных" эффектов[x] и затухания процессов сдвижения после реализации активной стадии на том или ином участке. На рис.3 хорошо отражен „всплеск" минерализации воды в скважине 181, зафиксированный в начале 1973 г. и связанный с активной стадией сдвижений. После 1975 г. фронт горных работ сместился на фланги шахтного поля, т.е. за границы ореола загрязнения.

---

[x] Под этим подразумевается влияние двойной пористости пород, выражающееся в диффузионном насыщении солями пористых блоков, заключенных между трещинами.

Поэтому после 1975 г. мы имеем дело с уже в той или иной степени „реконструированными" фильтрационными параметрами водносной толщи, которые и были использованы в прогнозных оценках. Кривая, построенная по данным фактических наблюдений за 1970-1972 и 1976-1981 гг., как выяснилось, хорошо совпадает с соответствующей теоретической (прогнозной) кривой, учитывающей эти „реконструированные" условия (рис.3). Однако „всплеск" минерализации в период активной стадии сдвижений (1973-1975 гг.), естественно, в эти оценки никак не вписывается.

В настоящее время, в связи с отработкой панелей 2, 4 и 6 обратным ходом, фронт очистной выемки вновь вступает в пределы ореола засоления. Новый цикл подработки водоносных пород в границах ореола загрязнения будет иметь в целом те же последствия, что и в 1973-1975 гг. Ориентировочные оценки показывают, что следует ожидать значительно более быстрого роста минерализации подземных вод вблизи области разгрузки (водохранилище) по сравнению с упомянутыми прогнозными оценками; так, достижение расчетных значений минерализации, близких к максимальным (около 35 г/л), ожидается уже к 1990 г., вместо 2000 г. по прогнозным оценкам, в которых игнорируется возможное влияние нового цикла подработки.

Итак, тесная связь условий миграции загрязнений с горными работами прослеживается на примере БКРУ-2 вполне отчетливо. Ясно также, что специфика горных работ должна обязательно учитываться при гидрогеологических исследованиях, направленных на решение проблемы охраны подземных вод в горнодобывающих районах. Соответствующие исследования должны включать в себя следующие виды работ:

1) инструментальные наблюдения за оседаниями земной поверхности на подрабатываемых площадях и анализ полученной информации в тесной увязке с геологическим строением и гидрогеологическими условиями участка;

2) бурение и оборудование глубинными реперами специальных скважин (на подрабатываемую толщу) с постановкой прямых наблюдений за деформациями пород в зоне сдвижения;

3) специальные гидрогеологические исследования для прямого определения изменений проницаемости подработанных пород по методике, предложенной в работе [4];

4) геофизические методы исследований (в первую очередь электрометрии и сейсмоакустики) для оценки изменений степени трещиноватости пород при их подработке на больших площадях и по всему разрезу подрабатываемых пород;

5) режимные гидрохимические наблюдения на водотоках и на выходах подземных вод в пределах горного отвода с момента пуска предприятия в эксплуатацию (или, что лучше, как продолжение соответствующих наблюдений, начатых еще в период разведки месторождения); эти несложные в организации и сравнительно недорогие работы могут дать ценную информацию о влиянии подработки на миграционные параметры подрабатываемой толщи (в форме гидрохимических аномалий, обычно весьма отчетливо фиксируемых на естественном гидрохимическом фоне).

В качестве поискового вида исследований на подрабатываемых площадях целесообразно проведение опытно-миграционных работ, направленных на оценку параметров массопереноса с учетом техногенного изменения структуры трещинного пространства.

Очевидно, что игнорирование рассмотренных здесь специфических особенностей, связанных с влиянием горных работ на гидрогеологические условия подрабатываемых территорией, неизбежно приведет к серьезным просчетам в гидрогеологических прогнозах и при разработке мероприятий по охране подземных вод.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гидрогеологические исследования в горном деле / Под ред. В.А.Мироненко. М., Недра, 1976.

2. Климентьев В.П., Степанов К.А. Изменение естественной обстановки под влиянием оседания земной поверхности при отработке Старобинского месторождения калийных солей. - В кн.: Охрана окружающей среды калийных производств. Минск, Наука и техника, 1978.

3. Методические указания по выбору мер охраны для существующих, строящихся и проектируемых объектов на территориях, подрабатываемых калийными рудниками. Л., изд. ВНИИГалургии, 1976.

4. Стрельский Ф.П. Гидрогеологический анализ условий выемки угольных пластов под водными объектами (на примере месторождений Кузбасса). Автореф. канд. дисс. Л., изд. ВНИМИ, 1970.