

УДК 556.3+622.847:(470.54)

ГОРНОРУДНЫЙ ТЕХНОГЕНЕЗ ПОСТЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ СТАДИИ НА ТЕРРИТОРИИ УРАЛА

© 2013 г. С. Н. Елохина

Уральский государственный горный университет
620014, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30
E-mail: elohina_s@uralex.ru

Поступила в редакцию 30.07.2013 г.

Горнорудный техногенез как комплекс эжекционных и инъекционных процессов, протекающих в литогенетических комплексах, развивается в две стадии: активную и пассивную. Активная стадия формируется техногенными, а пассивная – природно-техногенными процессами. Приводится обоснование авторского комплекса природно-техногенных процессов и их проявлений на остановленных рудниках Урала.

Ключевые слова: *техногенез, литосфера, рудник, постэксплуатационная стадия освоения месторождения, природно-техногенные процессы, Урал.*

ВВЕДЕНИЕ

В конце XX и в начале XXI в. на территории бывшего СССР произошло массовое закрытие горнодобывающих предприятий, в первую очередь, нерентабельных угольных шахт. В пределах Уральского складчатого пояса, где превалируют предприятия рудного профиля, были закрыты Липовский никелевый, Пышминско-Ключевской медно-кобальтовый, Ново-Ежовский, Ломовский, Зюзельский, Гумешевский, Карабашский, им. III-го Интернационала, Красногвардейский, Ленеvский, Дегтярский, Левишинский медные, Валувевский железорудный, Крылатовский золоторудный и некоторые другие рудники.

Ликвидация предприятий, особенно расположенных на территории или вблизи крупных населенных пунктов (поселков или городов), осложняется комплексом неблагоприятных инженерно-геологических, гидрогеологических, гидрологических и прочих процессов, создающих техноприродные опасности для зданий, сооружений, комфортности проживания и даже жизни людей [8]. Среди которых следует выделить подтопление жилой застройки, излив шахтных вод и др. (табл. 1).

Остановка и закрытие рудников, шахт, карьеров, копей происходило на территории Урала и ранее на протяжении тысячелетий, по крайней мере, с эпохи раннего металла [5]. По данным [21], здесь было отработано не менее 200 рудных месторождений, а в границах Режевского природно-минералогического заказника и сейчас сохранилось более полусотни заброшенных и некультивированных копей [3].

Однако старые рудники, шахты и копи, составляющие первую историческую группу отработанных горных объектов, отличались незначительной

глубиной заложения, редко более 20–40 м, изолированностью и обособленностью.

Ко второй группе можно отнести современные шахты, построенные в XX в., имеющие глубину 350–500 м и более, сбитые между собой и образующие обширные подработанные пространства площадью до нескольких квадратных километров и более. Депрессионные воронки дренажных систем охватывают еще большие площади, вызывая перестройку общего водного баланса территории, специфическую водохозяйственную ситуацию, истощение и загрязнение подземных вод [7].

Третья группа остановленных рудников представляет собой современные промышленные горные разработки на территории древних рудников из первой исторической группы. Последние даже рассматриваются геологами как поисковые признаки рудных месторождений: Кабанское (Колпаковское), Пьянко-Ломовское, Южно-Улукское колчеданные месторождения [24]. С геоэкологической точки зрения это наиболее опасная группа объектов, в которой сочетается глубина и масштабность современных воздействий на литогенетические системы с большим количеством мелких и не рекультивированных подземных выработок, создающих особую опасность для инженерных объектов по причине неглубокого заложения, провоцирующего просадки на поверхности земли, и отсутствия достоверных планов их расположения. Примером подобных объектов являются выработки на окисленные медные руды на Гумешевском и старые золоторудные шахты на Березовском рудниках, территории которых входят в границы земель Полевского и Березовского городских округов Свердловской области и отчасти сопряжены с селитебной застройкой.

Таблица 1. Краткая характеристика некоторых остановленных рудников Урала

№р п.п.	Наименование объекта	Год и характер остановки горных работ	Период затопления	Современное состояние	Объекты, испытывающие воздействия
1	2	3	4	5	6
1.	Пышминско-Ключевское медно-кобальтовое месторождение (Пышминский рудник)	1974, водоотлив сохранен (в среднем 175 л/с)	В 1981 г. водоотлив прекращен. В 1982 г. уровень подземных вод восстановлен до опасных отметок.	С 1983 г. по настоящее время возобновлен водоотлив в объеме 175 л/с, с частичным использованием на производственно-технические нужды	Селитебная и промышленная застройка г. Верхняя Пышма; питьевой водозабор “Зона Поздняя”; оз Ключи и р. Пышма
2.	Дегтярское медно-колчеданное месторождение (Дегтярский рудник)	1995, водоотлив (50–80 л/с) остановлен	С 1995 г. по 1999 г. с выходом шахтных вод на поверхность земли (30–60 л/с)	Излив кислых шахтных вод через карьер. Нейтрализация поверхностного стока известкованием, отстаивание и сброс в р. Чусовая.	Селитебная и промышленная застройка, очистные сооружения г. Дегтярска; Волчихинское водохранилище (питьевой источник г. Екатеринбург)
3.	Гумешевское месторождение медных окисленных и коренных (скарновых) руд (Гумешевский рудник)	1994, водоотлив (до 100 л/с) остановлен	С 1994 г. по 2001 г. с выходом шахтных вод на поверхность земли на южном фланге месторождения (до 11 л/с)	Отработка окисленных руд подземным выщелачиванием. Излив кислых шахтных вод, сопровождающийся выходом свободного газа (предположительно, углекислого)	Промышленная застройка г. Полевской, Северский пруд рекреационного назначения в водосборе Волчихинского водохранилища.
4.	Зюзельское медноколчеданное месторождение (Зюзельский рудник)	1977, с остановкой водоотлива (около 20 л/с)	С 1977 г. по 1979 г. с выходом шахтных вод на поверхность из шахтного ствола	Излив кислых шахтных вод через шахтные стволы. Очистка шахтоизлива в шламоотстойнике	Селитебная застройка ос. Зюзельский, Северский пруд рекреационного назначения
5.	Пьянко- Ломовское медноколчеданное месторождение (Ломовский рудник).	1995, с остановкой водоотлива	С 1995 г. по 1996 г с выходом кислых шахтных вод из зоны провала (до 5 л/с).	Самоизлив кислых шахтных вод через старые дренажные скважины. Нейтрализация шахтоизлива известкованием и очисткой в шламоотстойнике с отводом поверхностных вод в смежный речной бассейн р. Крестьянки.	Северо-Ежовский питьевой водозабор, р. Тагил
6.	Карпушихинское медноколчеданное месторождение (Карпушихинский рудник)	1954, закрыт. В период 1942–1954 гг. многократно затоплялся и осушался (подземное выщелачивание)	С 1954 по 1956 гг. с изливом кислых шахтных вод (около 8 л/с)	Происходит излив кислых шахтных вод из 2-х шахтных столов (северного и южного). Нейтрализация шахтоизлива и очистка в шламоотстойнике.	Селитебная застройка пос. Карпушиха, р. Тагил
7.	Ново-Ежовское медноколчеданное месторождение (Ново-Ежовский рудник).	1991 г.	С 1992 г., к 1997 г. затоплен	Выхода шахтных вод на поверхность земли не произошло	Горнолыжный комплекс, частично занимающий территорию рудника; Северо-Ежовский питьевой водозабор; р. Тагил

Таблица 1. Окончание

1	2	3	4	5	6
8.	Медный рудник им. III Интернационала	1989 г., водоотлив остановлен	С 1989 г. затоплен	Сезонный выход на поверхность земли шахтных вод через шахтные стволы	Селитебная застройка г. Нижний Тагил, р. Ольховка
9.	Богомоловское золоторудное месторождение (Богомоловский рудник)	1955–1957 гг., с сохранением водоотлива	Частичное сокращение в 1993 г.	Водоотлив поддерживается на уровне 40 дм ³ /с и используется для технического водоснабжения. Динамический уровень подземных вод на глубине 40 м.	Селитебная застройка пос. Октябрьский (г. Красноуральск)
10.	Крылатовское золоторудное месторождение (Крылатовский рудник)	2006 г., водоотлив остановлен	С 2007 по 2009 гг. В 2009 году уровень подземных вод восстановился до опасных отметок самоизлива	В период 2009–2012 гг. происходил выход рудничных вод родниковым стоком. В 2012 г. водоотлив частично возобновлен на уровне 60 л/с с отводом шахтных вод в р. Чесноковку	Селитебная застройка пос. Крылатовка

Практика закрытия объектов второй и третьей групп создает максимальные геоэкологические угрозы, из-за которых приходится иногда сохранять нерентабельные рудники (например, Березовский) [13] или выполнять дорогостоящие мероприятия по поддержанию водоотлива (табл. 1).

Таким образом, оценка состояния литогенетических систем на участках горных работ после их завершения является для Урала актуальной социальной и экологической задачей, требующей научного анализа и прогноза. Их расположение по территории региона, в первую очередь, связано с зеленокаменной полосой восточного склона горноскладчатого Урала [21].

СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ

Для характеристики воздействия горнодобывающей деятельности на литогенетический комплекс используется понятие “техногенеза”, которое было предложено в 1934 г. академиком А.Е. Ферсманом для характеристики техногенных геохимических ландшафтов в условиях эксплуатации рудных месторождений, как совокупное проявление техногенных процессов рассеивания рудной минерализации на поверхности земли. С аналогичной позиции рассматривают понятие техногенеза А.И. Перельман, В.А. Алексеенко и др.

Последующее развитие “техногенеза”, как обобщающее научное понятие, получил в целом ряде работ. Например, в работе М.А. Глазовской [6] под техногенезом понимаются уже не только геохимические, но и геофизические процессы.

В максимально широкой трактовке, близкой автору, понятие “техногенеза” как “совокупности

литолого-фациальных, геохимических, гидрогеологических, биогидрогеохимических, инженерно-геологических, геокриологических и других *техногенных процессов*, протекающих в той части литосферы, в которой интенсивно проявляется инженерная деятельность человека, *приводящая к изменению состояния и свойств геологической и нередко окружающей среды в целом*” рассмотрено в монографии [22].

Следует подчеркнуть, что техногенные процессы принимаются как прямое следствие технических мероприятий и по своему содержанию, негативному влиянию на геологическую и окружающую среду чаще всего являются комплексными как с позиции термодинамики, так и синергетики.

С позиции *термодинамики* техногенное воздействие на литосферу может носить эжекционный (изъятие) или инжекционный (закачка) характер, а в сложных техногенных условиях (в частности, при горнорудном производстве), присутствуют одновременно в разных пропорциях оба вышеуказанных воздействия [22].

Комплексность техногенных процессов в литосфере, с точки зрения *синергетики*, определяется ее многокомпонентностью. В качестве структурных элементов (подсистем) литосферы рассматриваются горные породы, подземные воды, почвенные газы и микроорганизмы. Разумеется при горных работах техногенное воздействие испытывают все компоненты, что проявляется во взаимосопрозраженном изменении гидрогеологических, инженерно-геологических и других условий [9].

При этом геохимические процессы в техногенных ландшафтах представляют собой прямое продолжение горных работ и техногенных процессов в

литосфере, составляя в совокупности *горнорудный тип техногенеза*. Формируется особый тип ландшафта не только с геохимической точки зрения, но и географической, напоминая карстовый ландшафт. Как известно [4], карстовые ландшафты характеризуются двумя структурными подсистемами: поверхностной и подземной. Они представляют собой геокомпонентные морфологические горизонтальные составляющие. Поверхностная и подземная части карстового ландшафта имеют собственную топографию, фауну и флору, климат (например, пещерный), гидрографию (подземные реки). Горизонтальные составляющие соединяются в единое целое посредством вертикальных геокомпонентов. Глубина (объем) карстовых ландшафтов обычно не превышает 2 км.

Горные разработки, в первую очередь включающие подземные горные выработки, создают очень схожий географический тип ландшафта. Разноразличные горизонтальные выработки (как пещеры и карстовые каналы) и связывающие их с дневной поверхностью шахтные стволы, провалы, обрушения и пр., представляются автором как *карстоподобный тип ландшафта*, являющийся одним из необратимых последствий горных работ и признаком горнорудного типа техногенеза. Он замещает бывшие ранее природные ландшафтные особенности, ключевым образом изменяя геохимические, гидрогеологические и прочие условия на контакте литосферы с атмосферой.

В результате техногенез горнорудной промышленности приобретает следующие особенности [22]:

- формирование на поверхности техногенного карстоподобного ландшафта, включая геохимическое и гидрогеохимические его аспекты;

- формирование техногенного поля напряжений в горном массиве, приводящих к развитию техногенной трещиноватости и деформации поверхности земли. Известно, что процесс отработки месторождения, даже если он организован с учетом самых передовых технологий, дестабилизирует массив горных пород и вызывает активизацию экзогенных и, даже, эндогенных процессов [25];

- формирование в подземных водах локально-го или регионального техногенного гидродинамического режима (техногенного водоносного горизонта), приводящего к дренированию влаги на этой площади;

- проникновение техногенных процессов на значительную глубину, в пределах которой подземные воды обладают высокой окислительной способностью, способностью выщелачивания, растворения и интенсивного теплообмена, направленного из недр на поверхность земли;

- значительным истощением естественных запасов подземных вод, переформированием структуры подземного потока в плане и разрезе, баланса подземного стока.

После остановки горнорудного предприятия продолжение техногенеза не предполагается, поскольку прекращаются технические мероприятия и связанные с ними техногенные процессы [22].

Однако, как уже отмечалось и будет показано ниже, опыт остановки горнорудных предприятий, также как и закрытия угольных шахт в различных регионах мира, России и Урала, показывает, что негативные процессы в литосфере продолжают и на постэксплуатационной стадии, иногда даже в большем объеме.

Известна еще одна позиция, близкая автору, в которой постэксплуатационный период (после остановки горнодобывающего предприятия) соотносится с особым видом техногенеза (табл. 2) [15]. При этом выделяется три основных стадии освоения месторождений.

Первая, предтехногенная стадия, на которой любые техногенные нарушения носят обратимый характер.

На *второй* стадии при вскрытии и освоении месторождения подземным или открытым способом дренажные мероприятия создают техногенную зону аэрации. В ее границах нарушается не только гидродинамическое, гео- и гидрохимическое равновесие, но в результате перемещения массы горных пород нарушается и геодинамическое состояние массива и геофизические поля (гравитационное, тепловое и пр.). Основным фактором формирования нестабильности является техногенный, и это квалифицируется как *прогрессивная стадия* техногенеза.

На *третьей*, постэксплуатационной стадии, в работе выделяется регрессия нарушенных условий, то есть расходование накопленной человеком при отработке месторождения энергии. Накопленные напряжения разгружаются через геодинамические и гидрохимические процессы, геосистема стремится вернуться в исходное состояние, составляя *регрессивную* стадию техногенеза.

В принципе, автор солидарен с подобной оценкой роли техногенеза на постэксплуатационной стадии, но с некоторыми поправками: полная регрессия геосистемы в исходное состояние в принципе невозможна, в силу ее необратимой нарушенности. На таких участках, как будет показано ниже, существуют уже другие гидродинамические, гидрогеохимические, инженерно-геологические и прочие условия, и, конечно, другие ландшафты.

ЭМПИРИЧЕСКИЕ ДАННЫЕ ПО СОСТОЯНИЮ ТЕХНОГЕНЕЗА НА ПОСТЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ СТАДИИ

Геоэкологические и гидрогеологические последствия затопления шахт и рудников привлекли к себе особое внимание в России и, в том числе, на Урале в конце XX в., в период массовой ликвидации и закрытия горных предприятий, в большей степени, в

Таблица 2. Соотношения стадий техногенеза и освоения месторождений (согласно [15] с уточнениями и добавлениями автора)

Стадии техногенеза	Стадии освоения месторождений
<p>1. Предтехногенная (стадия развития геосистемы)</p> <p>2. Прогрессивная стадия* техногенеза. Характеризуется возрастанием внутренней энергии геосистемы. Ведущую роль играют управляемые процессы механического разрушения, переноса и дифференциации минерального вещества, увеличение удельной поверхности метастабильных фаз, увеличение зоны аэрации, скорости водообмена, формирование и накопление тонкодисперсных продуктов механического разрушения, возрастание роли самопроизвольных геодинамических процессов, активизация гидрогеохимической миграции и процессов минералообразования, повышение температуры массива за счет процессов окисления.</p> <p>3. Регрессивная стадия* техногенеза. После прекращения управления технической системой (после завершения эксплуатации) самопроизвольные геодинамические процессы используют энергию, накопленную в предыдущий прогрессивный период. Происходит активизация геодинамических процессов, формирование природно-техногенной гидрогеологической (литогенетической) системы*</p>	<p>1. Разведка месторождения и разработка проекта на его освоение</p> <p>2. Строительство и эксплуатация горнодобывающего предприятия</p> <p>3. Постэксплуатационная: консервация или ликвидация горнодобывающего предприятия, рекультивация.</p>

*в редакции автора

угольной отрасли. В историческом разрезе затопление и ликвидация рудников, как уже отмечалось, не являются новыми мероприятиями, поскольку происходили многократно на всех континентах. По данным Горной энциклопедии в Европе, Азии, Африке и Америке имеются десятки примеров отработанных, оставленных и затопленных рудников [5]. Глубина их воздействия достигает 1–3 км, а суммарная площадь нарушенных горнотехнической деятельностью земель, по данным источника, составляет более 15–20 млн. га, из которых 59% – это различные горные выработки, 38% – отвалы, 3% – места оседания, провалы и другие нарушенные земли.

При этом изученность геоэкологических последствий постэксплуатационной стадии в литературных источниках существенно менее обширна, по сравнению с исследованиями периода эксплуатации. По мнению автора, это связано с тем, что при осуществлении добычной деятельности, с одной стороны, получается доход и социальные блага, создающие в ней заинтересованность. С другой стороны, воздействие на литосферу и окружающую среду огромно, прогрессивно (по Емлину); экологические, материальные и прочие риски очевидны.

Прекращение отработки месторождения, по тем или иным причинам, означает перевод рентабельного горного объекта в нерентабельное состояние на очень длительное время. Экономический интерес к объекту теряется и среди защитных мероприятий преобладает рефлекторный “уход” антропогенной активности с нарушенной горными работами территории, обычно малопригодной или совсем

непригодной для постоянного проживания. Именно так поступают растительные лишайники, когда “отступают” с загрязненных территорий, так предусмотрено и человеческими рефлексомы в опасных ситуациях: отдернуть руку или отскочить.

Такой подход оправдывал себя до тех пор, пока урбанизация не потребовала для “ухода” с подработанных территорий слишком высокую цену. В зонах подработки, в результате урбанизации оказались города, поселки и другие объекты (питьевые водозаборы, водохранилища и др.), тысячи человек в Кузбассе, Донбассе, на Урале, Дальнем Востоке и т.д., переселение которых затруднительно или не представляется возможным. Поэтому при закрытии рудника (шахты) приходилось срочно бороться с последствиями затопления, обзор которых на некоторых конкретных объектах приведем ниже.

Среди зарубежных работ, посвященных указанной тематике, необходимо отметить опыт польских коллег [26], которые длительное время проводили специальные исследования на полноценной наблюдательной сети в старом меднорудном районе на юго-западе Польши (бассейн *Grodziec*), где процесс затопления отработанных медных шахт угрожал питьевому водоснабжению населения. Система контроля за состоянием подземных вод включала несколько сотен наблюдательных постов (скважины, колодцы и старые шахты глубиной до 800 м), в которых проводились гидродинамические, гидрохимические и изотопные исследования подземных горизонтов.

Напомним, что меднорудные месторождения здесь обрабатывались в течение полувека до глуби-

ны 830 м. Площадь депрессионной воронки достигала 55 км² и захватывала все водоносные горизонты, имеющие значение для питьевого водоснабжения. С 1951 по 1999 г. рудничным водоотливом откачивалось до 2,5 тыс. м³/час подземной воды, хотя в 1989 г. добыча медной руды была завершена с закрытием последнего рудника. Использование извлеченной воды не превышало 10%.

Затопление рудника (шахт) остановкой водоотлива началось только в 2001 г. после сооружения двух водозаборных скважин глубиной 830 м. Через год было зафиксировано повышение минерализации, сульфатов железа, марганца, жесткости воды в подземных выработках.

Вместе с этим, в регионе возникли и другие проблемы, связанные с изменением химического состава подземных вод и речного стока, а именно: изменились эксплуатационные запасы подземных вод, возникли трудности с водоснабжением жителей, возникла необходимость мероприятий по охране запасов среднекембрийского горизонта как главного резервуара пресных подземных вод.

С использованием материалов гидрогеологического мониторинга ухудшение качества шахтных вод на первом этапе затопления объяснялось растворением продуктов выветривания сульфидных минералов (гидросульфатов), накопленных в осушенной горными работами части месторождения.

Изотопные исследования позволили продемонстрировать перестройку балансовых составляющих подземного стока после остановки рудника. На стадии отработки концентрация трития закономерно и однородно уменьшилась с глубиной до 0,5 тритиевых единиц (на глубине 830 м). Спустя четыре года после того, как дренаж был остановлен (в 2005 г.), эта закономерность значительно изменилась. Низкая концентрация трития была установлена только в скважине на глубине 845 м, а на других участках (шахты К1, К2) концентрация трития изменялась от 9 до 13,3 тритиевых единиц, что указывает на интенсивное перемешивание вод различного генезиса (возраста) в пространстве затопленных шахтных полей и глубокоом проникновении инфильтрационных вод. В результате было установлено с высокой вероятностью, что время “перевалки” гидродинамических условий в водоносных техногенных слоях после прекращения водоотлива будет превышать прогнозируемое значение, определенное в 8 лет.

Кроме гидрогеологических аспектов стадии затопления Гродзенских рудников, были зафиксированы и изучались и другие проявления горнорудного техногенеза: провалы, подземная водная эрозия и др.

Эколого-геологические последствия массового затопления угольных шахт в Восточном Донбассе всесторонне проанализированы в [19]. К наиболее опасным процессам были отнесены перетоки между затопленными и действующими шахта-

ми, что приводило к переформированию газовой зональности по метану и углекислоте, обескислороженного (“мертвого”) воздуха. Затопление шахт сопровождалось вытеснением подземного воздуха (в том числе, и радона) из горных выработок, трещин в массиве горных пород к поверхности земли в заглубленные инженерные сооружения, отслеженное на протяжении от 3 до 15 и более лет.

В работе зафиксированы факты выхода шахтных вод на поверхность земли, определяющие развитие подтопления и заболачивания, признанные самыми масштабными негативными процессами. Отмечено ухудшение качества шахтных вод после затопления. Например, в шахте “Комиссаровская” общая минерализация увеличилась с 8 до 18 г/л с концентрацией сульфатов до 8,8 г/л, железа – до 170 мг/л. Изливающиеся воды содержат целый ряд токсичных веществ (медь, кобальт, кадмий, стронций и хром).

Опасными признаны и геодинамические процессы, представленные оседанием поверхности земли на 1–2 м, образованием провалов и провальных зон на поверхности земли глубиной до нескольких метров и диаметром в десятки метров. В г. Донецке объем выработанного пространства, сейчас заполненный водой, составляет около 300 млн. м³, что провоцирует техногенную сейсмичность. Уже было зарегистрировано более 29 техногенных землетрясений.

Немалое значение для общей картины техногенеза постэксплуатационной стадии имеют техногенные ландшафты, элементами которых являются нерекультивированные породные отвалы, зоны оседания, заболачивания, угнетения растительности, нагромождение разрушенных и неразобранных инженерных сооружений и т.п. В г. Шахты насчитывается 40 отвалов, занимающих 183 га земли. Некоторые отвалы горят, выбрасывая в атмосферу до 170 т/год различных газообразных и твердых веществ. Фильтрующиеся через отвалы дождевые и талые воды содержат токсичные вещества, превышающие ПДК (иногда в десятки раз), загрязняя поверхностные и подземные воды.

Сверхфоновое содержание токсичных элементов, в том числе, меди, свинца, никеля, цинка, хрома, стронция, ванадия, кобальта, марганца, молибдена, титана, галлия, олова, скандия, бериллия и др. обнаружено в почвенном покрове Восточного Донбасса. Наиболее высокие их содержания фиксируются на площадках действующих и закрываемых шахт (“Гундоровская”, “Изваринская” и др.). Разумеется, после закрытия шахт рекультивация почвенного покрова практически не выполняется.

С 1993 по 2005 г. в Восточном Донбассе было ликвидировано около 200 угледобывающих предприятий [16]. При этом шахтные стволы представляют собой наиболее крупные инженерные сооружения, и их ликвидация является самой трудоемкой, дорогостоящей и небезопасной проблемой.

После ликвидации шахт на них часто происходят техногенных аварий. В [16] проанализированы наиболее часто встречаемые причины аварий: 1) не засыпанные породой и плохо закрытые устья стволов (разрушение слабой крепи стволов и нарушение полков недостаточной прочности на их устье); 2) некачественно засыпанные стволы или стволы, в которых из-за растворения известняков или размыва слабых вмещающих пород подземными водами (по мнению автора, это признаки подземной водной эрозии), происходит обрушение крепи стволов; 3) затопление стволов поверхностными водами или интенсивные притоки подземных вод, вызывающие размыв закладки и ее унос в сопрягающие со стволом выработки, часто с образованием кратеров и провалов (также признаки водной эрозии – прим. автора); 4) взрывы и возгорания метана, поступление метана или “мертвого воздуха” в окружающие здания и сооружения; 5) внезапные подъемы воды в ликвидируемых стволах на десятки метров, причины которых неизвестны; 6) отсутствие мониторинга за ликвидированными стволами, который смог бы предотвратить все крупные аварии.

С позиции генезиса половина аварий спровоцирована подземными водами, в том числе, и выход метана, который вытесняется из выработок при их затоплении, остальные – техническими и организационными факторами.

Последствия затопления 43 шахт Кузбасса рассмотрены в [20]. Угольные шахты обрабатывались на протяжении от 30–40 до 100 лет, имели глубину от 300–400 до 700 м, площадь горных выработок – от единиц до десятков квадратных километров, различное геоморфологическое расположение (от долин I-го порядка до водоразделов и приводораздельных склонов).

Шахты затапливались двумя способами. Во-первых, с полным заполнением естественным путем, во-вторых, с частичным затоплением до обоснованных безопасных отметок и последующим их поддержанием путем водоотлива или самопроизвольного перетока на соседние действующие шахты.

Среди неблагоприятных процессов на территории Кузбасса особую опасность создает подтопление, которое развивается не только и не столько в пределах горного отвода шахт, но и, в первую очередь, на периферии депрессионных воронок, в пределах речных долин, где иногда восстанавливается родниковая разгрузка (например, долина р. Аба в зоне влияния шахты им. Орджоникидзе и др.). Одним из факторов, обостряющих процесс подтопления, является усиление инфильтрационного питания, которое в весенний период при снеготаянии возрастает в 3–5 раз (по мнению автора, это – яркое свидетельство изменения общего водного баланса территории). Хочется подчеркнуть, что усиление инфильтрационного питания в 2–3 раза, до предельных значений общего стока, было обосновано автором в гра-

ницах шахтного поля ликвидированного Богомоловского рудника на Среднем Урале [10].

По данным [20], в процессе техногенной деятельности пористость и проницаемость массива в пределах горного отвода увеличилась до 5–7%, а наличие капитальных горных выработок обеспечивало хорошую гидравлическую связь разных геоморфологических участков месторождения.

В результате затопленные шахты стали выполнять роль дренирующей системы для подземного стока (автор считает это признаком коренной перестройки структуры фильтрационного потока), что привело к загрязнению транзитного фильтрационного потока при прохождении через техногенные полости. В подземных водах возрастает минерализация в 3–4 раза (до 2–3 г/л), появляется сероводород (до 0.4–0.8 мг/л), надфоновые концентрации соединений азота, железа, марганца, нефтепродуктов, ХПК и БПК, что связано с большим количеством органического материала в затопленных шахтах (деревянная крепь, ветошь и пр.), растворением солей карбонатов и сульфатов, накопленных в виде пыли в горных выработках. Восстановительный режим в подземных выработках характеризуется низким Eh (до 30 мВ).

В ряде случаев создается угроза для питьевых водозаборов, если в область питания попадают затопленные шахты (шахты им. Дмитрова, Бунгурская, им. Волкова). В целом, уровень техногенного воздействия на “пассивной” фазе воздействия на геологическую среду, по оценкам В.М. Людвига, даже превышает наблюдавшийся при добыче угля.

Гидрогеологические и геоэкологические аспекты закрытия и затопления угольных шахт на Урале, в Кизеловском бассейне, с 2002 г. рассматриваются в работах К.К. Имайкина, В.М. Баньковской и А.В. Бурковской [18], А.К. Имайкина [17], С.М. Блинова и др. [2, 23]. В этих работах отмечается, что затопление шахт происходит в течение 2–5 лет и сопровождается формированием родниковой разгрузки в долинах рек, например, р. Кизил. Согласно данным С.М. Блинова и К.К. Имайкина, общий объем излива шахтных вод составил в среднем 17% от величины дренажного водоотлива. Все перечисленные выше авторы отмечают, что затопление шахт сопровождалось образованием техногенных горизонтов кислых шахтных вод мощностью 25–30 м на площади многих десятков квадратных километров.

Так же, как в Восточном Донбассе и Кузбассе, при затоплении угольных шахт Кизеловского бассейна, зафиксировано изменение состава шахтных вод, который после затопления отличался большей кислотностью, солесодержанием, сульфатностью. Первые 12–25 лет после начала излива шахтных вод на поверхность происходит снижение содержания минеральной составляющей. Например, в шурфе 63 шахты “Белый Спой” величина сухого остатка за первые три года уменьшилась с 20.4 до 6 г/л,

а в следующие 11 лет – до 1.5 г/л. Затем наблюдается относительная стабилизация химического состава. По ориентировочным балансовым расчетам [17], стабилизация химического состава шахтных вод на их изливе обеспечена накопленными потерями пирита в отработанных шахтах Коспашского месторождения почти на 1500 лет.

В местах выхода шахтных вод на поверхность земли зафиксировано образование осадка, представленного преимущественно гидроокислами железа, а также алюминием, марганцем, тяжелыми металлами [23]. Аналогичный состав обнаружен автором в донном осадке при выходе шахтных вод Дегтярского рудника на поверхность земли [14].

На территории Кизеловского бассейна осадок сносится течением воды и накапливается в зоне подпора Камского водохранилища, угрожая вторичным загрязнением речным системам. Сток с территории Дегтярского рудника, по неопубликованным данным И.А. Четверкина (2004), накапливается в Ельчевском отстойнике и угрожает Волчихинскому водохранилищу (основной источник питьевого водоснабжения г. Екатеринбурга).

Было обнаружено и описано на поверхности земли при изливе шахтных вод образование уникальных морфологических форм, характерных для травертиновых построек, но образованных сульфатами и гидроксидами железа [23]. На склоне, ниже самоизлива шахты “Белый Спой”, образовались уступы и барьеры с неглубокими водными ваннами: нижняя часть отложений, мощностью до 0.5 м, представлена ярозитом, верхняя – темно-бурыми пористыми корками гидроокислов железа.

Согласно данным тех же авторов, вторичное минералообразование в Кизеловском бассейне происходит и на 53 отвалах, являясь результатом физического выветривания, окисления, растворения, гидролиза, гидратации и других процессов под воздействием природных агентов. Образованы неустойчивые и хорошо растворимые сульфаты железа, алюминия, кальция, а стоки с отвалов, формирующиеся за счет инфильтрации атмосферных осадков, имеют минерализацию до 50 г/л и более, рН 1–3, значительные концентрации сульфатов, железа, алюминия, тяжелых металлов.

Ранее исследованиями на примере Уральских объектов была доказана особая токсичность отвалов отработываемых колчеданных месторождений [15]. В результате вторичного минералообразования происходит вынос геомиграционными потоками (поверхностным и подземным стоком) выщелоченных элементов и образование масштабных техногенных геохимических, гидро- и биогеохимических ореолов рассеяния кадмия и др., выходящих далеко за пределы подработанных территорий [9]. При сохранении отвалов и техногенных геохимических ореолов после остановки рудников можно с высокой степенью вероятности предположить, что

выявленные геохимические закономерности будут иметь продолжение и на постэксплуатационной стадии достаточно длительное время и вряд ли будут носить характер регрессии.

Еще одним процессом, сопровождающим затопление шахт в Кизеловском бассейне, является активизация карста и подтопления, а также их парагенезиса (неопубликованные данные Г.Н. Дублянской и В.Н. Дублянского, 1998).

Заккрытие горнорудных предприятий в конце XX-го века происходило и на *Дальнем Востоке*. На примере эксплуатации (с 1950 по 1996 год) и затопления Смирновского свинцово-цинкового рудника (Сихотэ-Алинь, бассейн р. Рудная) можно наблюдать аналогичные упомянутым выше процессы зачисления рудничных стоков после остановки рудника [1].

Через два года после прекращения работ в рудничном стоке почти вдвое возросло количество сульфатов, кальция, магния, что квалифицировалось как интенсификация окислительного сернокислотного процесса в выработках и накопленных отвалах и более активном воздействии агрессивных вод на рудовмещающие породы. Русло ручья покрылось аморфными гидроокислами железа и алюминия, отсутствующих в 1989 году при добыче свинцово-цинковых руд, поскольку рудничный сток проходил нейтрализацию и очистку в отстойнике, имел слабощелочную реакцию и сульфатно-кальциевый состав.

На уральских рудных объектах, напротив, наблюдается снижение активности процессов сернокислотного выщелачивания при восстановлении уровня подземных вод, заполнения выработанного пространства водой и ограничения доступа кислорода к остаточной сульфидной минерализации на глубоких горизонтах, что отмечается в неопубликованных работах О.В. Зотеева и др. (2005). Исключение, по мнению вышеуказанных авторов, составляют рудники, в недрах которых остались сульфид-содержащие породы и руды, залегающие выше уровня местного базиса разгрузки. Именно на таких объектах наблюдается излив кислых вод из шахт и карьеров после их затопления, при этом значение рН воды остается на уровне 2.0–2.5, а содержание тяжелых металлов достигает нескольких сотен граммов на куб. метр. Следует отметить, что такое объяснение не согласуется с ростом кислотности воды при затоплении Кизеловских угольных шахт и медных рудников в Польше.

В любом случае, вышеуказанные авторы считают, что мокрая консервация рудников не решает проблемы защиты окружающей среды от загрязнения ее тяжелыми металлами, и с этим нельзя не согласиться.

Уральская гидрогеологическая экспедиция с 1941 г. и по настоящее время занимается гидрогеологическими и инженерно-геологическими наблюдениями на объектах, где в разное время проводилась добыча рудных полезных ископаемых. Автор как ведущий специалист экспедиции занимается обследованием таких территорий практически по-

стоянно на протяжении последних 20 лет. С максимальной активностью, эти исследования выполнялись автором в Уральской горно-геологической академии в 2000 г. при выполнении тематической работы по заданию МПР Свердловской области. Цель задания – изучение причин подтопления селитебной застройки при “мокрой” ликвидации рудников.

Полученные результаты в опубликованных работах неоднократно описывались [8–14 и др.]. Не повторяя уже опубликованные материалы, следует отметить, что процессы, формирующие техногенез на постэксплуатационной стадии рудных месторождений Урала, при некоторой их специфичности, аналогичны описанным выше на угольных и других месторождениях.

Требуется выделить только одно исследование по гидрохимической и геотемпературной зональности затопленного шахтного поля, выполненного автором при активном участии сотрудника института геофизики УрО РАН В.А. Шапова на остановленном и затопленном Крылатовском руднике в 2009 г. [12]. Инструментально установлено, что в пределах шахтного поля нарушается региональный геотемпературный градиент посредством усиления водообмена и его дифференциации по горизонтальным этажам. При этом соленость подземных вод в вертикальном шахтном стволе в условиях интенсивного выхода шахтных вод на поверхность земли ниже влияния местного базиса дренирования возрастает до 1.0 г/л и выше.

Спецификой Урала как старейшего горнорудного региона можно считать проблему вскрытия при эксплуатации месторождения старых затопленных горных выработок что приводит к внезапным и даже катастрофическим водопритокам (прорывам). Подобные “встречи” описаны в отчетах по разведке и освоению Гумешевского медноскарного месторождения, Березовского месторождения коренного золота, Турьинского и Шиловского меднорудных месторождений и др.

Обращает внимание химический состав подземных вод в старых горных меднорудных выработках с кислой реакцией (рН 0.8–6.5) и высокими концентрациями железа, меди, цинка, свинца и других металлов, достигающими нескольких граммов и десятков граммов на литр.

Наличие подобных выработок является убедительным доказательством цикличности горнорудного производства и горнорудного техногенеза, когда стадия отработки месторождения первого цикла сменяется постэксплуатационной стадией, а затем, уже в условиях техногенеза первого цикла, начинается вновь освоение того же самого или сопряженного с ним территориально другого месторождения на втором горнорудном цикле, и вновь остановка рудника и постэксплуатационная стадия и т.д. Цикличность и эволюция горнорудного техногенеза продемонстрирована автором на примере Гумешевского рудника [11]. Однако на Урале имеется целый

ряд объектов с подобной историей: зоны техногенеза Березовского, Дегтярского, Калатинского, Шиловского и др. рудников.

Разнообразная информация по горнорудным объектам после их затопления и ухода недропользователя освещается и в широкой печати: в газетах, журналах и на интернет-порталах, что свидетельствует о высокой социальной значимости проблемы. Созданы специальные интернет-сайты, например, свободная шахтерская энциклопедия (www.MiningWiki.ru) и др.

Таким образом, проявления горнорудного техногенеза на постэксплуатационной стадии, во-первых, носят комплексный характер, во-вторых, унаследованы от эксплуатационной стадии, в том числе, от ее цикличности, в-третьих, зависят от геолого-гидрогеологических условий и природных факторов участка техногенеза и степени его урбанизации.

ПРИРОДНО-ТЕХНОГЕННЫЕ ПРОЦЕССЫ ПОСТЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ СТАДИИ

На пассивной стадии техногенеза технические мероприятия обычно не выполняются. Древние горные выработки ранее просто оставлялись для естественного обрушения природными процессами. На современном этапе технико-экономического развития чаще всего реализуется тот или иной объем рекультивационных мероприятий, предусмотренный Проектом рекультивации, который чаще всего включает:

1. Надежное перекрытие стволов шахт двумя ставами на двух глубинах для изоляции их устьев.
2. Установку предупреждающих знаков.
3. Нейтрализацию кислых шахтных вод.
4. Искусственное вскрытие и отвод шахтных вод.
5. Сохранение рудничного водоотлива (полностью или частично) и его отвод или использование (полностью или частично).
6. Засыпку провалов и зон сдвижения (может быть, по отдельному проекту), в том числе промысленными отходами.
7. Ликвидацию (полностью или частично) отвалов, отстойников и т.п.
8. Техническую рекультивацию карьерных выемок и отвалов.
9. Нейтрализацию шахтных и подотвальных вод.
10. Биологическую рекультивацию нарушенных земель (полностью или частично).

Данные мероприятия, обычно не провоцируют развития неблагоприятных техногенных процессов, а предотвращают их. При этом задача рекультивации – не вернуть нарушенную литосферу в естественное природное состояние, предполагая это избыточным с технико-экономических позиций, а обеспечить безопасность остановленных (ликвидируемых или консервируемых) объектов. И с этим нельзя не согласиться.

Выше автор попытался продемонстрировать, что действие техногенных процессов горнорудного про-

изводства продолжается или приобретает новые аспекты уже после остановки рудника. Но при этом ведущими агентами воздействия на “раненую и покоренную” литосферу, определяющими ее эволюцию, являются уже не человек и горное производство, а природные факторы: высокая температура, лед, газы атмосферы, водные потоки и гравитация.

Воздействие природных физических и химических агентов на рассматриваемых объектах имеет техногенную специфику: присутствие техногенных геохимических ландшафтов и пустот и пр., оставшихся в “наследство” от эксплуатационной стадии освоения месторождения. Поэтому **комплекс процессов на пассивной стадии горнорудного техногенеза** носит унаследованный характер от техногенных процессов активной стадии, но эволюционирует под влиянием исключительно природных агентов и его следует квалифицировать как **природно-техногенный**. Сводные эмпирические данные о природно-техногенных процессах и их проявлениях, описанные выше, представлены в табл. 3.

Аналогичный подход может быть применен к квалификации техногенных карстоподобных ландшафтов. На постэксплуатационной стадии техноген-

ные ландшафты, в той или иной степени рекультивированные, попадают в сферу исключительного влияния природных факторов и начинают тоже преобразовываться – возникает природно-техногенный горнорудный ландшафт пассивной стадии техногенеза.

Учитывая все вышеизложенное, автором разработан комплекс природно-техногенных процессов пассивной стадии горнорудного техногенеза (табл. 4). Для удобства и прослеживания связи между активной и пассивной стадиями, выполнено сопоставление техногенных и природно-техногенных процессов. Комплекс природно-техногенных процессов не уступает по разнообразию техногенным процессам активной стадии и включает следующие генетические группы процессов: геохимические, гидрогеологические (гидродинамические и гидрогеохимические), инженерно-геологические (табл. 5).

Все техногенные процессы эксплуатационной стадии в том или ином виде имеют продолжение при их остановке, доказывая непрерывность техногенеза горнорудного профиля. Несмотря на то, что природно-техногенные процессы, очевидно, носят регрессивную направленность, последняя не может быть реализована в полной мере из-за необра-

Таблица 3. Техногенез на территории остановленных рудников и шахт (по литературным источникам и собственным наблюдениям автора)

Объект (рудник, бассейн)	Процессы и проявления												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Пышминско-Ключевской	+		+	+	+	+	+			+			
Дегтярский		+	+	+	+	+	+		+		+	+	+
Гумешевский		+	+	+	+	+	+		+	+	+	+	+
Зюзельский				+	+		+			+	+	+	+
Ломовский		+		+	+	+	+			+	+	+	+
Карпушихинский		+	+	+	+	+	+			+	+	+	+
Ново-Ежовский				(+)	(+)	-						+	+
им. III Интернационала		+	+	+	+					+		+	+
Красногвардейский				-	+					+			
Турьинские										+	+	+	+
Алапаевский										+			
Богомолковский	+			+	-	+			-	+		+	
Крылатовский	+	+	+	-	-	+	+		-	+		+	
Смирновский (Сихотэ-Алинь)		+		+	+	+							
Кизеловский угольный бассейн		+	+	+	+	+				+		+	+
Гродзенский меднорудный бассейн в Польше		-	-	+	-	+	+			+	+		
Восточный Донбасс		+	+	+	+	+	+		+	+	+	+	+
Кузбасс		+	+	+	+	+	+		+	+	+	+	+

Примечание. 1 – сохранение водоотлива (в том числе, частично) и техногенной зоны аэрации; 2 – излив шахтных вод; 3 – подтопление и заболачивание; 4 – загрязнение подземных вод; 5 – загрязнение поверхностных вод и образование вторичных образований (в донных отложениях, на поверхности земли); 6 – изменение общего водного баланса, увеличение подземной составляющей (в том числе, до 100%); 7 – изменение структуры фильтрационного потока, переконструкция источников питания со специфической изотопной зональностью; 8 – создание специфической геотермальной (геофизической) зональности; 9 – вытеснение водой подземных газов (радона, сероводорода, углекислого газа, “мертвого” воздуха и др.); 10 – провалы и активизация зон сдвижения; 11 – подземная водная эрозия; 12 – техногенный карстоподобный ландшафт (поверхностный и подземный); 13 – наличие старых горных выработок, прорывы воды в действующие шахты. Знак “+” означает наблюдаемый процесс или явление; знак в скобках – предполагаемые; знак “-” – отсутствие процесса или явления; пустая клетка – информация отсутствует.

Таблица 4. Техногенные и природно-техногенные процессы техногенеза горнорудного профиля

№ п.п.	Процессы на соответствующей стадии техногенеза	
	Техногенные на активной стадии (согласно [22], с уточнениями автора)	Природно-техногенные на пассивной стадии
1.	Осушение водоносных пород надрудной и рудовмещающей толщ дренажными мероприятиями	Подъем уровня подземных вод после остановки водоотлива в границах депрессионной воронки, самозатопление шахтных полей Излив шахтных вод на поверхность земли, Изменение структуры фильтрационного потока и общего водного баланса Подтопление, заболачивание Сохранение водоотлива полностью или частично
2.	Вторичная консолидация рыхлых пород при снижении пластового давления	Разжижение и снижение прочностных свойств горных пород при их вторичном замачивании
3.	Депрессионное уплотнение песчано-глинистых пород при снижении пластового давления	То же
4.	Сдвигание в массиве горных пород в зоне влияния горных выработок	Гравитационные процессы на подработанной территории, в том числе, в зоне сдвига
5.	Суффозионные и суффозионно-карстовые процессы, формирующиеся при осушении водоносных карбонатных пород	Суффозионные и суффозионно-карстовые процессы, формирующиеся в зоне сезонного колебания уровня подземных вод, в первую очередь, над подземными горными выработками
6.	Внезапный прорыв рудничных вод, формирующийся под влиянием остаточного гидростатического напора	Внезапный прорыв рудничных вод из старых затопленных выработок в новые и работающие выработки
7.	Оползневые процессы при открытой разработке месторождений, формирующиеся при слабо осушенных песчано-глинистых породах	Оползневые и осыпные процессы при открытой разработке месторождений, формирующиеся при “мокрой” консервации карьерных выемок
8.	Окисление рудной минерализации и органических веществ в осушенных породах техногенной зоны аэрации	Химическое выветривание техногенных литоминеральных образований (отвалов, аэрогенных ореолов и др. объектов) Окисление рудной минерализации и органических веществ в осушенных породах техногенной зоны аэрации при неполном восстановлении уровня подземных вод. Растворение вторичных минералообразований в бывшей техногенной зоне аэрации
9.	Взаимодействие осушительных устройств и водозаборных сооружений предприятия	Включение в область питания водозаборных сооружений затопленных шахтных полей.
10.	Пучение глинистых пород в подземных горных выработках	Водная эрозия стенок подземных горных выработок
11.	Горные удары при освоении месторождений в сложных геолого-структурных условиях	Нарушение прочностных свойств и устойчивости подработанных массивов горных пород
12.	Техногенные землетрясения	Техногенные землетрясения
13.	Подземные пожары	Изменение температурного градиента в массиве горных пород
14.	Формирование техногенных карстоподобных ландшафтов	Нерекультивированные техногенные ландшафты или их элементы, составляющие природно-техногенные карстоподобные ландшафты

тимых изменений литосферы, а также ландшафтов, в результате техногенных мероприятий горнорудного производства. С учетом последнего обстоятельства целесообразно техногенез на стадии остановки или закрытия рудника относить к пассивным формам техногенного воздействия (пассивная стадия горнорудного техногенеза), тогда как на стадии эксплуатации – к активным формам (активная стадия горнорудного техногенеза).

Концептуальная модель горнорудного техногенеза с учетом цикличности горного производства,

представляется автору в следующем виде (рис. 1). На графике схематично отображена зависимость внутренней энергии литосферы в зоне гипергенеза (ось ординат), как совокупное проявление всего комплекса физических и химических процессов на рассматриваемом объекте в историческом развитии в природных условиях (геогенез) и техногенных (техногенез), состоящих из двух стадий активной и пассивной. Цикличность техногенеза приводит к увеличивающемуся расхождению двух тенденций развития: природной и техногенной.

Таблица 5. Формы проявления природно-техногенных процессов

№ п.п.	Группы природно-техногенных процессов	Формы техногенного изменения свойств окружающей среды
1	Гидрогеологические	
1.1	Подъем уровня подземных вод после остановки водоотлива в границах депрессионной воронки (самозатопление шахтных полей).	<p>Специфическая структура общего водного баланса территории с увеличением доли подземного стока.</p> <p>Специфическая структура подземного потока (специфические области транзита, питания и разгрузки)</p> <p>Изменение границ местных бассейнов стока.</p> <p>Вытеснение рудничных газов в цокольные этажи зданий, погребов и заглобления.</p> <p>Подтопление инженерных зданий и сооружений в границах бывшей депрессионной воронки рудника</p> <p>Заболачивание территории и изменение общих ландшафтных условий</p> <p>Загрязнение подземных вод за счет влияния шахтных вод, в том числе при их подтягивании к водозаборах.</p> <p>Изменение геотемпературного градиента</p>
1.2	Излив шахтных вод на поверхность земли	<p>Формирование техногенных родников на участках излива шахтных вод и восстановление осушенной ранее родниковой разгрузки. Формирование поверхностных водотоков.</p> <p>Загрязнение поверхностных вод в результате излива шахтных вод</p>
1.3	Внезапный прорыв рудничных вод из старых затопленных выработок в новые или эксплуатируемые	Деформация и затопление горных выработок, нарушение общего ритма добычных работ.
1.4	Включение в область питания водозаборных сооружений затопленных шахтных полей.	Ухудшение качества воды на водозаборе при остановке рудника и затоплении выработок.
2	Инженерно-геологические	
2.1	Разжижение (изменение консистенции) и снижение прочностных свойств горных пород при их вторичном замачивании	Продолжение деформации поверхности и, как следствие, деформация подземных коммуникаций и нередко поверхностных сооружений, деформация шахтных стволов и околошахтных горных выработок
2.2	Водная эрозия стенок подземных горных выработок	Деформация и обрушение горных выработок.
2.3	Суффозионные процессы, формирующиеся в зоне сезонного колебания уровня подземных вод над подземными горными выработками	<p>Провалы и зоны обрушения на поверхности земли</p> <p>Значительная деформация поверхности, подземных коммуникаций и нередко поверхностных сооружений, дорог</p> <p>Образование на поверхности провальных воронок</p> <p>Деформация поверхностных и подземных сооружений в зоне влияния провальных воронок</p>
2.4	Нарушение прочностных и деформационных свойств подработанных массивов горных пород	Деформация и обрушение горных выработок
2.5	Гравитационные процессы на подработанной территории	<p>Деформация поверхности, шахтных стволов и околошахтных горных выработок</p> <p>Провалы в зоне сдвижения</p> <p>Образование зоны техногенной трещиноватости</p>
2.4	Оползневые и осыпные процессы при открытой разработке месторождений, формирующиеся при "мокрой" консервации карьерных выемок	<p>Деформация уступов и бортов карьеров</p> <p>Угроза зданиям и сооружениям, находящимся в зоне влияния гравитационных процессов</p>
3	Геохимические	
3.1	Химическое выветривание техногенных литоминеральных образований (отвалов, аэрогенных ореолов и др. объектов).	<p>Загрязнение поверхностных и подземных вод.</p> <p>Специфические природно-техногенные геохимические ландшафты</p>
3.2	Окисление рудной минерализации и органических веществ в осушенных породах техногенной зоны аэрации при неполном восстановлении уровня подземных вод.	<p>Загрязнение подземных вод за счет различных факторов (вторичное минералообразование, подотвальные воды, захороненные отходы производства и потребления и т.п.)</p> <p>Вторичное минералообразование на поверхности земли при шахтоизливе</p>
3.3	Растворение вторичных минералообразований в бывшей техногенной зоне аэрации	<p>Ухудшение качества рудничных вод, их химическое загрязнение</p> <p>Формирование агрессивных кислых вод</p> <p>Вторичное минералообразование на поверхности земли при шахтоизливе</p>

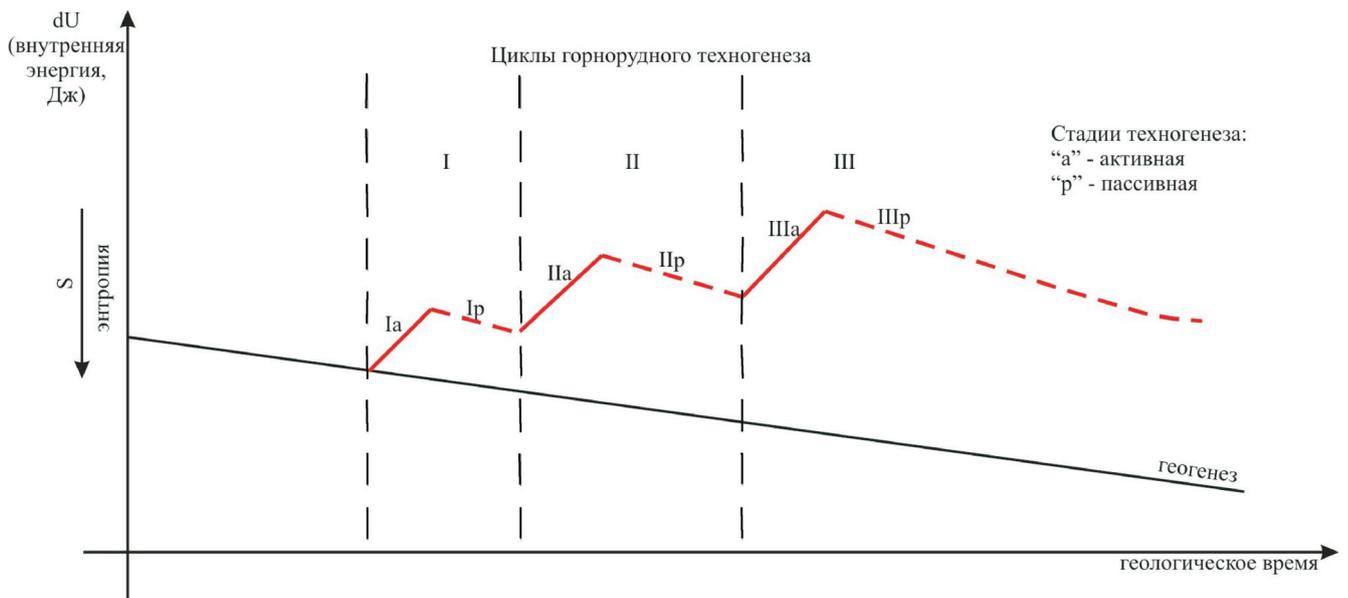


Рис. 1. Концептуальная (эвристическая) модель горнорудного техногенеза

ВЫВОДЫ

1. На постэксплуатационной стадии, после останковки и закрытия горнодобывающего предприятия, формируется пассивная стадия техногенеза горнорудного профиля, являющаяся неотъемлемым продолжением активной стадии. Активная и пассивная стадии техногенеза составляют единый горнорудный цикл. Возвращение (регрессия) на постэксплуатационной стадии в первоначальное состояние нарушенных горными работами литогенетических комплексов и техногенных ландшафтов автору представляется невозможным.

2. Техногенез пассивной стадии формирует природно-техногенные процессы, сопряженных в своем развитии, разных генетических групп. Предложенный комплекс природно-техногенных процессов обоснован эмпирическими данными.

3. Литогенетические комплексы на пассивной стадии техногенеза имеют следующие основные свойства:

– На территории горнорудного техногенеза активизируется водообмен. Степень его активизации можно оценить по величине модуля подземного стока, который на Урале возрастает в 2–3 раза. Следовательно, возрастает скорость фильтрации и инфильтрации, процессы растворения и гидролиза ускоряются вслед за ускорением выноса продуктов реакции. При этом известно, что чем выше скорость водообмена в массиве, тем меньше отношение порода/вода, то есть единичный объем породы взаимодействует с большим объемом воды.

– Изменяется глубина доступа атмосферных газов в массив горных пород, увеличивается поверхность их воздействия.

– Изменяется химический состав подземных вод за счет спровоцированных горнорудной деятельностью процессов сернокислотного выщелачивания, гидролиза, вторичного минералообразования, складирования и захоронения отходов производства и потребления.

– Нарушается температурный градиент массива горных пород.

4. Предложена концептуальная модель развития техногенеза на всем протяжении горнорудного освоения территории по циклам.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аржанова В.С., Елпатьевский П.В., Елпатьевская В.П. Горнопромышленный техногенез как фактор трансформации состава вод (юг Дальнего Востока России) // *Фундаментальные проблемы современной гидрогеохимии: труды Междунар. конф., посвященной 75-летию юбилею гидрогеохимии*. Томск: Изд-во Научно-технической литературы, 2004. С. 280–284.
2. Блинов С.М., Найданова Н.Ф., Лизунова Е.В. и др. Режим самоизлива воды из штольни шахты "Им. 40 лет Октября" // *Четвертые Всеросс. науч. чтения памяти ильменского минералога В.О. Полякова*. Миасс: ИМин УрО РАН, 2003. С. 84–89.
3. Волков С.Н., Емлин Э.Ф., Кецко О.Г. Город Реж и его окрестности: природа, техника, человек. Реж–Екатеринбург: УГИ, 1992. 149 с.
4. Гвоздецкий Н.А. Карстовые ландшафты. М.: МГУ, 1988. 112 с.
5. Горная энциклопедия / Под ред. Е.А. Козловского. Т. IV. М.: Советская энциклопедия, 1989. 534 с.
6. Глазовская М.А. Геохимия природных и техногенных ландшафтов СССР. М.: Высшая школа, 1988. 328 с.
7. Грязнов О.Н., Новиков В.П., Фельдман А.Л. Гидрогеологические и геоэкологические аспекты разра-

- ботки рудных месторождений горно-складчатого Урала // Известия вузов. Горный журнал. Уральское горное обозрение. 1995. № 5. С. 95–101.
8. Елохина С.Н. Исследование геоэкологических последствий самозатопления шахтных полей // Геоэкология. 2004. № 5. С. 405–414.
 9. Елохина С.Н. Техноприродные опасности на затопленных рудниках Урала // Известия вузов. Горный журнал. 2005. № 3. С. 120–127.
 10. Елохина С.Н. Роль техногенеза в структурном преобразовании подземной гидросферы // Геоэкология. 2007. № 6. С. 494–505.
 11. Елохина С.Н., Арзамасцев В.А. Эволюция подземной гидросферы в зоне техногенеза Гумешевского месторождения меди // Гидрогеохимия осадочных бассейнов: труды Российской науч. конф. Томск: Изд-во НТЛ, 2007. С. 240–248.
 12. Елохина С.Н., Арзамасцев В.А., Борич С.Э. и др. Зонирование природно-техногенных гидрогеологических систем (на примере Крылатовского рудника) // Известия вузов. Геология и разведка. 2010. № 1. С. 57–66.
 13. Елохина С.Н., Арзамасцев А.А., Соколкин С.Б. Прогноз гидрогеологических и инженерно-геологических последствий затопления выработок Березовского рудника // Инженерно-геологические проблемы урбанизированных территорий: мат-лы междунар. симпоз. Т. II. Екатеринбург: Аква-Пресс, 2001. С. 474–479.
 14. Елохина С.Н., Киндлер А.А., Шараев Р.Н., Царегородцева А.А. Параметры постэксплуатационного техногенеза горнорудного профиля в зоне влияния Дегтярского рудника // Устойчивое развитие: задачи геоэкологии (инженерно-геологические, гидрогеологические и геокриологические аспекты): мат-лы годичной сессии Научного совета РАН по проблемам геоэкологии, инженерной геологии и гидрогеологии. “Сергеевские чтения”. Вып. 15. М.: Изд. РУДН, 2013. С. 249–254.
 15. Емлин Э.Ф. Техногенез колчеданных месторождений Урала. Свердловск: Изд. УрГУ, 1991. 255 с.
 16. Ефимов А.М. Обоснование мониторинга процессов, связанных с ликвидацией стволов угольных шахт в сложных гидрогеологических условиях. Автореф. дисс. ... канд. тех. наук. М.: МГУ, 2005. 20 с.
 17. Имайкин А.К. Оценка и прогноз гидрогеологических условий территории Кизеловского угольного бассейна после закрытия шахт. Автореф. дисс. ... канд. геол.-мин. наук. Пермь: ПГУ, 2012, 22 с.
 18. Имайкин К.К., Баньковская В.М., Бурковская А.В. Изменение гидрогеологической обстановки при ликвидации шахт Кизеловского угольного бассейна // Гидрогеология и карстоведение. Вып. 14. Пермь: ПГУ, 2002. С. 145–150.
 19. Кочетков М.В., Кашиковский Г.Н., Логвинов М.И., Журбицкий Б.И. Эколого-геологические последствия массового затопления ликвидированных угольных шахт Восточного Донбасса // Разведка и охрана недр. 2001. № 5. С. 33–38.
 20. Людвиг В.М. Геоэкологические последствия затопления шахт в Кузбассе (на примере шахты им. Орджоникидзе) // Проблемы поисковой и экологической геохимии Сибири. Томск: ТПУ, 2003. С. 242–243.
 21. Овчинников Л.Н. Полезные ископаемые и металлогения Урала. М.: Геоинформмарк, 1998. 413 с.
 22. Плотников Н.И. Техногенные изменения гидрогеологических условий. М.: Недра, 1989. 268 с.
 23. Потапов С.С., Блинов С.М. Геоэкологическая ситуация в Кизеловском угольном бассейне на основе изучения техногенной минерализации // Уральский минералогический сборник № 12. Миасс: ИМин УрО РАН, 2002. С. 204–219.
 24. Прокин В.А., Душин В.А. История изучения и освоения рудных месторождений Урала. Екатеринбург: УГГУ, 2010. 221 с.
 25. Славиковский О.В., Славиковская Ю.О. Эколого-экономическая оценка очистки выемки при подземной технологии // Известия вузов. Горный журнал. 2007. № 1. С. 8–13.
 26. Czmieł J., Markiewicz A., Kryza H., Kryza J. Hydrogeologiczne i środowiskowe aspekty likwidacji górnictwa miedzianego w synklinie grodzieckiej // Współczesne problemy hydrogeologii. Т. XII. Toruń. 2005. P. 71–76.

Рецензент Ю.К. Иванов

Technical changes of geological environment at mining postoperational stage in the Urals

S. N. Elochina

Ural state mining university

Technical changes of geological environment as a result of extraction and injection processes are developed during two stages: the active and the passive. The active stage is connected with technical processes, the passive – with natural-technical ones. The substantiation of natural-technical processes and their displays on the stopped mines of the Urals is done.

Key words: *technical changes of geological environment, the mine, post-operational stage of deposit development, natural-technical processes, the Urals*