

УДК 622.502

**Ю.П. Галченко, Г.В. Сабянин**

## **МЕТОДОЛОГИЯ ИНЖЕНЕРНОЙ ЗАЩИТЫ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ ПРИ ТЕХНОГЕННОМ ИЗМЕНЕНИИ НЕДР В ПРОЦЕССЕ ПОДЗЕМНОГО ОСВОЕНИЯ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ**

*В статье дано теоретическое обоснование нового подхода к построению подземных природоохранных геотехнологий, позволяющих осуществлять инженерную защиту окружающей среды при техногенном изменении недр и частично ликвидирующих последствия экологических воздействий. Описан порядок ведения горных работ и обозначены конкретные способы выемки запасов на каждой стадии отработки месторождения.*

*Ключевые слова: окружающая среда, месторождение, природоохранные технологии, геотехнология, литосфера.*

---

**С**истематизация и анализ возможностей реально существующих технологических решений показывает, что управление воздействием подземных горных работ на окружающую среду с целью сохранения естественной биоты Земли, является по своему внутреннему содержанию системой действий по ликвидации последствий применения геотехнологий, выбранных только по технико-экономическим признакам [1]. Вместе с тем, становится очевидным, что методом введения в геотехнологию новых технологических процессов, в рамках принятых сегодня принципов построения геотехнологий, можно решить каждую отдельную экологическую задачу, но всегда — ценой усложнения других. Это свидетельствует о том, что идею экологической безопасности горного производства необходимо реализовать не в требованиях к технологическим процессам, а заложить в сами принципы построения геотехнологий. Причем эти принципы не должны вступать в антагонистические противоречия с объективными зако-

нами функционирования природных биологических систем, являющихся объектами экологической защиты [2].

Все экологические воздействия рождаются в процессе применения тех или иных геотехнологий на различных этапах процесса освоения недр. Это означает, что преодоление этих воздействий и составит сущность инженерной защиты окружающей среды, в состав которой входят технологии и регламенты. По своему содержанию можно выделить два типа (класса) природоохранных технологий: устраняющие причины экологических воздействий и ликвидирующие частично или полностью последствия этих воздействий.

Антропогенное вторжение в литосферу Земли, с целью извлечения полезных ископаемых, кардинально изменяет состояние огромных её участков. Образуется новый литосферный объект — техногенно изменённые недра — окружённый нетронутой литосферой. Внутри этого объёма находится зона техногенного разрушения и зона изменения геомеханического

состояния пород литосферы (геофизический экотон), спровоцированного этим разрушением [3]. Способы и закономерности формирования этого объекта не только определяют количественные, качественные и экономические показатели освоения недр, но и порождают детерминированный ряд геоэкологических последствий, затрагивающих состояние всех геосфер нашей планеты.

Состояние породного массива в структурной основе техногенно измененных недр — зоне техногенного разрушения — определяется особенностями процессов извлечения полезных ископаемых, то есть набором необходимых для этого действий. Для включения части ресурсов литосферы в хозяйственный оборот необходимо обеспечить доступ с земной поверхности к месту залегания полезного участка литосферы, придать его веществу подвижность и доставить это вещество на поверхность Земли. Новое для вещества литосферы свойство — подвижность — может быть обеспечено в рамках применяемых геотехнологий либо дезинтеграцией вещества в заданном объеме (твердые полезные ископаемые), либо изменением его агрегатного состояния (например, выплавка серы), либо созданием условий для миграции полезного компонента — физических (нефть, газ, вода, тепло) или химических (выщелачивание металлов на месте залегания).

Во всех перечисленных случаях обеспечение геомеханической безопасности при освоении недр связано с решением фундаментальной проблемы по преодолению влияния антропогенного разрушения литосферы на процессы, протекающие в её динамических структурах. Это предполагает, с одной стороны, раскрытие закономерностей изменения свойств природных лито-

сферных объектов при техногенном вторжении в них, а с другой — определение условий, при которых постоянно воспроизводятся устойчивые динамические структуры, не порождающие кардинальных изменений состояния структурных элементов литосферы, включая флюидонесущие горизонты.

Рассмотрение геотехнологий, применяемых для подземной добычи полезных ископаемых, позволяет выделить одну общую для всех случаев особенность развития геотехнологических и геомеханических процессов — добыча полезного ископаемого в зоне техногенного разрушения литосферы и защита этой зоны от последствий геомеханического возмущения прилегающих участков литосферы всегда совмещены по времени. В связи с этим, очистная выемка неизбежно включает в себя необходимость выполнения дополнительных процессов, обеспечивающих поддержание динамического равновесия всей геотехнической системы. Изменение применяемой геотехнологии или её параметров при изменении геомеханических условий разработки и возникновении опасных проявлений горного давления значительно ограничено. Кроме того, при наличии во вмещающих породах флюидонесущих коллекторов (с водой, нефтью, рессолами или газами), горные работы всегда оказываются незащищенными от их проявлений со всеми вытекающими отсюда последствиями.

Таким образом, при развитии геотехнологий всегда имеет место локальное противоречие между необходимостью и возможностью изменения геотехнологий при изменении условий разработки, преодоление которого является условием для дальнейшего развития подземной геотехнологии.

Согласно современным представлениям о литосфере, как сплошной среде

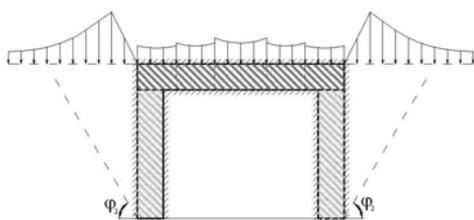
с разномасштабными неоднородностями, избыточные напряжения (или их эквивалент — неупругие напряжения) на этих неоднородностях возникают лишь при конечной скорости деформирования твердого тела и со временем самопроизвольно релаксируют [4]. Скорость релаксации напряжений на неоднородности прямо пропорциональна величине напряжений и обратно пропорциональна размеру неоднородности.

При изменении во времени избыточного напряжения при деформировании какого-то объема литосферы в начальные моменты времени напряжения на неоднородностях нарастают со временем по линейному закону, в дальнейшем рост напряжений замедляется и на неоднородности каждого размера устанавливается свое напряжение. Чем больше размер неоднородности, тем выше напряжение на ней при заданной скорости деформации, и тем меньше скорость релаксационных процессов. Если тело бесконечно велико (в нашем случае — это участок литосферы, вмещающий месторождение), то размер неоднородности, на которой концентрируется напряжение, равно предельному для данного типа пород напряжению. То есть для тел, размеры которых достаточно велики, деформация с постоянной скоростью будет происходить без разрушения материала, а все возникающие при деформировании напряжения из-за релаксации не смогут вырасти до предельной величины.

Применительно к проблемам подземной разработки месторождений, которая по сути своей есть не что иное, как формирование в литосфере антропогенных неоднородностей с уменьшенной средней плотностью и с возрастающими во времени размерами, все приведенные выше рассуждения означают, что при формировании дос-

таточно крупной неоднородности (отрабатываемого участка) условия воспроизводства устойчивых динамических структур в литосфере будут определяться релаксационными процессами на внешнем контуре неоднородности [4]. Поэтому опережающее формирование этого контура открывает реальную возможность преодоления обозначенного выше локального противоречия за счёт того, что *при формировании и развитии зоны техногенного разрушения процессы добычи полезного ископаемого и защиты от последствий геомеханических возмущений литосферы разделяются во времени.*

Известно, что опережающая наработка или подработка разрабатываемого массива снижает вертикальную (а точнее нормальную к плоскости обнажения) составляющую напряжений в над- и подработанных частях массива. При этом участки, в которых уровень нормальных напряжений не превышает величину напряжений допустимых, определенную по условиям устойчивости обнажения, считаются разгруженными (или защищенными). Зону защиты в каждом конкретном горно-геологическом условиях отстраивают по углам защиты. В наработанной части массива в этом случае наблюдаются деформации растяжения, а напряжения становятся намного меньше первоначальных. Подработанную часть массива можно считать частично защищенной, так как в ней за счет формирования свода естественно-го равновесия возникают напряжения, пропорциональные параметрам этого свода. При этом углы защиты соответствуют положению касательных, проведенных через точку пяты свода. При выемке рудного тела с закладкой с предварительной наработкой массива по кровле, где защитный слой образуется последовательным проведением выработок с закладкой, картина напря-

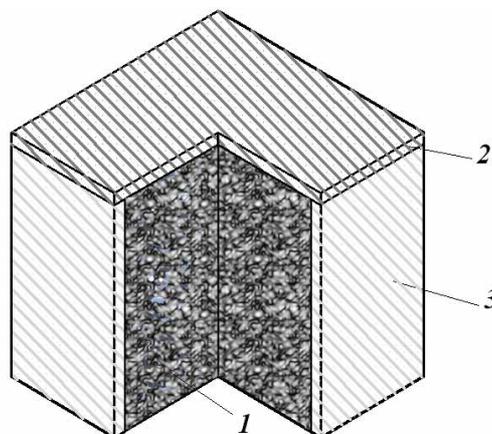


**Рис. 1. Формирование защищённой зоны при возведении оконтуривающих целиков**

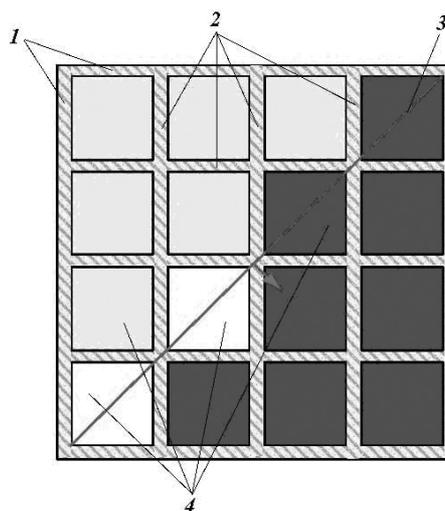
женно-деформированного состояния массива приобретает вид, показанный на рис. 1. Установлено также, что по мере удаления от передовой выработки защитного слоя размеры защищённой зоны уменьшаются пропорционально величине угла защиты  $\varphi_2$ , вследствие нарастающего влияния горизонтальной составляющей главных напряжений [5]. Поэтому опережающее возведение вертикального оконтуривающего целика по внешнему контуру защищаемой зоны адекватно перемещению границы этой зоны во внешнюю часть массива, что существенно упрощает геомеханические условия разработки основных запасов выемочного участка.

Таким образом, *геофизическая идея* предлагаемого подхода заключается в выделении зоны техногенного разрушения литосферы из общего поля геофизических изменений состояния массива, за счёт разделения во времени процессов добычи полезного ископаемого и процессов преодоления последствий геомеханического возмущения прилежащих участков литосферы.

При реализации этой идеи месторождение (или его часть) сначала разделяются на обрабатываемые участки путём обработки приконтурных запасов этих участков и возведения оконтуривающих искусственных массивов — верхнего и боковых (рис. 2).



**Рис. 2. Схема обрабатываемого участка после возведения оконтуривающих искусственных массивов: 1 — обрабатываемый участок; 2; 3 — соответственно, горизонтальный и вертикальный оконтуривающие искусственные массивы**



**Рис. 3. Последовательность обработки выемочных блоков в пределах обрабатываемого участка: 1 — оконтуривающий искусственный массив; 2 — разделительные искусственные массивы; 3 — фронт перемещения очистных работ в выемочном участке; 4 — выемочные блоки на различных стадиях обработки**

Ширина боковых оконтуривающих массивов может быть постоянной (при

простом контакте рудного тела с вмещающими породами или при возведении массива в руде) или изменяющейся в сторону внешнего контура рудного тела (при сложной форме этого контура). Форма отрабатываемого участка в горизонтальном сечении может быть произвольной, в зависимости от реальной морфологии отрабатываемого рудного тела.

Устойчивость оконтуривающих искусственных массивов на последующих стадиях отработки участка недр обеспечивается путём опережающего разделения общего пролёта подработкой на локальные пролёты посредством возведения системы разделительных искусственных массивов (рис. 3). В результате в отрабатываемом участке литосферы возникает пространственная искусственная «каркасная» конструкция, несущая способность которой позволит компенсировать будущие проявления горного давления при отработке основных запасов полезного ископаемого.

С геотехнологической точки зрения такая последовательность работ означает необходимость обязательного применения на разных этапах систем разработки различных классов. Выемка запасов для формирования «каркасной» конструкции возможна только с закладкой выработанного пространства твердеющими смесями. Так как оконтуривающие и разделительные искусственные массивы можно считать двухмерными телами, у которых два измерения (длина и высота) намного больше третьего (ширины), то технология их возведения, очевидно, должна базироваться на богатом опыте разработки крутопадающих жильных месторождений. При рудах и породах средней, выше средней устойчивости и устойчивых целесообразно ориентироваться на системы разработки с отбойкой руды

из подэтажных штреков или восстающих с последующей закладкой твердеющими смесями. Вполне возможно применение системы с магазинированием руды и последующей закладкой выработанного пространства по окончании генерального выпуска руды. Если руды и породы недостаточно устойчивы, то возведение оконтуривающих и разделительных массивов производят путем выемки руды горизонтальными слоями (восходящими или нисходящими) с твердеющей закладкой.

Отработка основных запасов месторождения начинается после возведения системы оконтуривающих и разделительных массивов и набора закладкой заданной прочности. Образованные выемочные блоки могут быть отработаны с применением известных геотехнологий, выбор и параметры которых в каждом случае будут определяться горно-геологическими и горнотехническими условиями разработки.

*Геотехнологическая идея* и очевидное преимущество предлагаемой концепции заключается в том, что новые возможности повышения безопасности и производительности труда достигаются путём целенаправленной компоновки во времени и пространстве известных и проверенных горных технологий [6—8].

Вполне очевидно, что общая экономическая эффективность предлагаемых решений обеспечивается за счёт функционально обоснованного сочетания дорогих и малозатратных геотехнологий, когда соотношение между ними определяется геомеханическими условиями.

Применение принципов построения «каркасной» геотехнологии открывает реальные перспективы для решения экологических проблем освоения месторождений:

- опережающее возведение несущей «каркасной» конструкции обес-

печивает сохранность налегающей толщи пород и земной поверхности при последующей выемке основных запасов;

- ограждение зоны ведения добычных работ до их начала позволит максимально сохранить водоносные горизонты и защитить горные работы от их влияния;

- формирование выработанного пространства в виде системы искусственно оконтурированных полостей создаёт условия для размещения в них любых видов промышленных или бытовых отходов.

В целом, развитие идей и принципов настоящей концепции открывает реальную перспективу повышения

экономической эффективности, промышленной и экологической безопасности подземной разработки месторождений за счёт освобождения геотехнологии отработки большей (основной) части запасов от необходимости выполнения дополнительных работ по преодолению последствий развития геофизических возмущений в зоне перехода свойств техногенно изменённых недр, путём превентивного создания системы искусственных горнотехнических конструкций, свойства и параметры которых определяются, в каждом случае, реальными особенностями развития геомеханических процессов.

---

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Трубещкой К.Н., Галченко Ю.П., Сабянин Г.В. Систематизация экологических последствий техногенного изменения недр в процессе их освоения // *Геозкология*. — 2008. — № 4. — С. 291—300.
2. Трубещкой К.Н., Галченко Ю.П., Бурцев Л.И. Экологические проблемы освоения недр при устойчивом развитии природы и общества. — М.: Научтехлитиздат, 2003. — 260 с.
3. Трубещкой К.Н., Галченко Ю.П., Замесов Н.Ф., Куликов В.И., Родионов В.Н. Структура техногенно-изменённых недр // *Вестник РАН*. — 2002. — Т. 72. — № 11. — С. 969—975.
4. Родионов В.Н., Сизов И.А., Цветков В.М. Основы геомеханики. — М.: Недра, 1986. — 286 с.
5. Викторов С.Д., Иофис М.А., Гончаров С.А. Сдвигение и разрушение горных пород. — М.: Наука, 2005. — 277 с.
6. Trubetskoy K. N., Galchenko Yu. P., Sabjanin G.V. Concept of Subsurface Development of Bowels of the Earth on the Basis of «Framework» Geotechnology // 21st World Mining Congress, session 15. — Poland, Krakow, 2008. — P. 309-317.
7. Галченко Ю.П., Айнбиндер И.И., Сабянин Г.В. и др. О новой концепции развития подземной геотехнологии // *Горный журнал*. — 2007. — № 1. — С. 7-10.
8. Галченко Ю.П., Айнбиндер И.И., Сабянин Г.В. и др. Способ подземной разработки месторождений полезных ископаемых. Патент РФ № 2306417; Приоритет 08.07.2005; Опубл. 20.09.2007; Бюл. № 26. **ПАТ**

---

#### КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Галченко Ю.П. — доктор технических наук, чл.-корр. РЭА ведущий научный сотрудник Учреждения Российской академии наук Института проблем комплексного освоения недр Российской академии наук (УРАН ИПКОН РАН), e-mail: schtrek@mail.ru;

Сабянин Г.В. — кандидат технических наук, старший научный сотрудник Учреждения Российской академии наук Института проблем комплексного освоения недр Российской академии наук (УРАН ИПКОН РАН), e-mail: schtrek@mail.ru.

