

УДК 622.502

Е.В. Грохов

РАЗВИТИЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЙ ОБ ИЗМЕНЕНИИ ЛИТОСФЕРЫ КАК ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ ПРИ ПОДЗЕМНОЙ ДОБЫЧЕ

Рассмотрено развитие представлений об изменении литосферы как окружающей среды при подземной добыче полезных ископаемых, а также взаимосвязь геомеханики и геоэкологии в вопросах, касающихся техногенного изменения литосферы. Ключевые слова: цивилизация, природные ресурсы, геомеханика, горный массив, гипотеза «волна давления».

В процессе своего развития технократическая цивилизация все с большей интенсивностью осваивает ресурсы планеты, в том числе и минеральные ресурсы недр, создавая горнодобывающие предприятия различного масштаба производства. Это связано как с ростом народонаселения на планете, так и с непрерывным увеличением потребления человечеством природных ресурсов, в том числе и минеральных, несмотря на применение и внедрение энергосберегающих и безотходных технологий (рис. 1) [1].

Следствием непрерывной деятельности человека по эксплуатации природных и техногенных месторождений полезных ископаемых является негативная антропогенная нагрузка на все геосферы земли, но наиболее масштабным изменениям в количественном и качественном смысле подвергается литосфера, техногенное вмешательство в которую неизбежно связано с нарушением естественного состояния породного массива, дезинтеграцией его и выдачей на поверхность. В результате в литосфере возникают искусственно

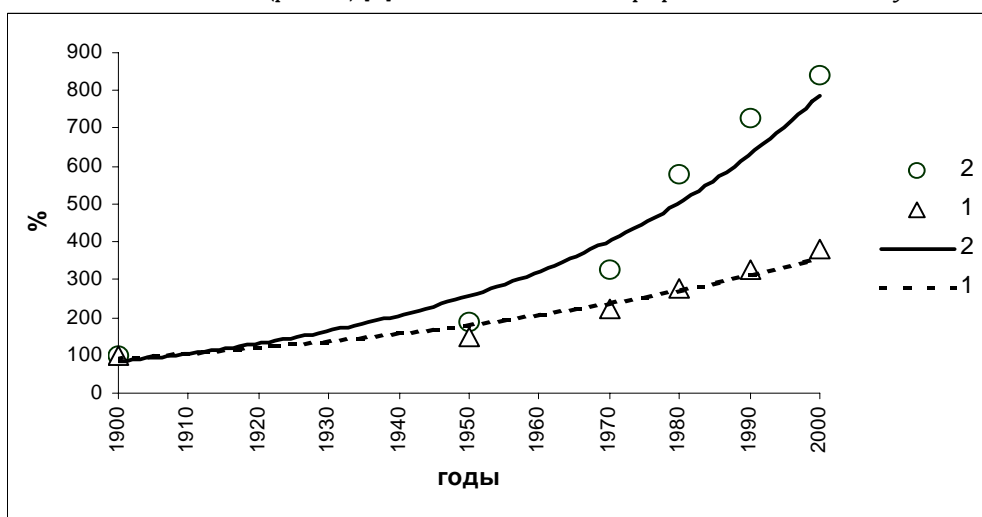


Рис. 1. Динамика роста народонаселения Земли и удельной добычи минерального сырья: 1 — рост численности населения; 2 — рост добычи сырья на 1 человека в год

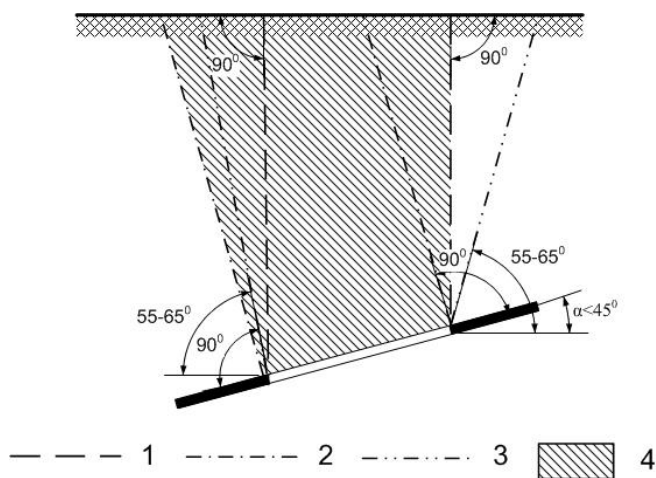


Рис. 2 Границы влияния горных разработок на дневную поверхность: 1 — по «правилу вертикалей»; 2 — по «правилу нормалей»; 3 — по «вестфальскому правилу»; 4 — по данным исследований в Саабрюкенском угольном бассейне

созданные полости (заполняемые и не заполняемые), влияющие на напряженно-деформированное состояние окружающего их массива. Эти изменения не только затрагивают обширные участки литосферы, но и становятся причиной целого ряда экологических последствий, влияющих на состояние гидросферы и биосферы природных экосистем.

Как было отмечено выше, неизбежным следствием нарушения естественного состояния пород являются механические процессы в породных массивах, прогнозирование и обоснование которых может гарантировать, в одних случаях устойчивость соответствующих участков массива, а в других — обосновать и позволить вывести закономерность их обрушения. Эти вопросы относятся к геомеханике. Таким образом, прослеживается тесная взаимосвязь геомеханики и геоэкологии в вопросах, касающихся техногенного изменения литосферы, а на основе этой взаимосвязи можно про-

следить развитие представлений об изменении литосферы как окружающей среды при добыче полезных ископаемых.

Начальным этапом этого развития явилось изучение закономерностей обрушения и оседания горных пород в выработках и на земной поверхности на базе практического опыта ведения горных работ, а также визуальных и простейших инструментальных наблюдений. В результате такого изучения появились первые практические правила определения области влияния горных работ на

земной поверхности (рис. 2). Наиболее известные из них:

- «правило вертикалей», ограничивающее область влияния горных работ перпендикулярами к поверхности из границ очистных пространств;
- «правило нормалей», согласно которому область влияния горных работ на поверхности ограничивается нормальными к пласту от контура очистного пространства;
- «вестфальское правило», согласно которому при падении пластов под углом свыше 45° угол сдвижения пород следует принимать равным $65\text{--}70^\circ$, а при более пологих углах падения — равным $55\text{--}65^\circ$;
- «правило Эвра», применялось к рыхлым породам покровных отложений, согласно которому излом пород происходил под углом 45° к горизонту.

Все перечисленные правила имели один общий принципиальный недостаток: они были установлены в некоторых частных условиях и отра-

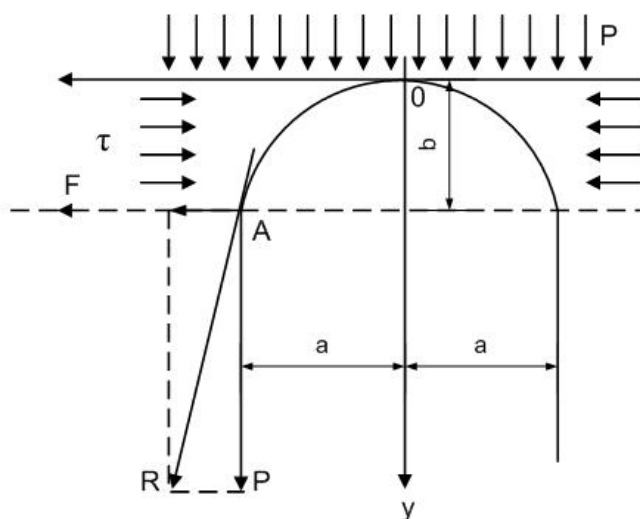


Рис. 3. Схема сил, действующих на контуре выработки (по М. М. Протодяконову)

жали совокупное влияние отдельных факторов, определяющих деформирование конкретного массива. И лишь в «вестфальском правиле» и «правиле Эвра» была предпринята попытка учета угла падения пласта и свойств пород.

Также были изучены основные формы деформирования и разрушения горных пород в выработках. На основе этого были предложены первые практические правила построения охранных целиков и ограничения области опасных сдвижений поверхности.

Однако на начальном этапе исследований обращали внимание в основном лишь на внешние стороны явлений. Предложенные ими зависимости носили эмпирический характер и не содержали показателей, характеризующих действительные свойства деформирующихся массивов пород.

В дальнейшем в результате обобщения отдельных фактов уже создают более-менее стройные гипотезы о физической сущности, механизме процессов, развивающихся в массиве

пород при проведении горных выработок, некоторые из которых не потеряли актуальности и на сегодняшний день и могут быть применены в упрощенных инженерных расчетах элементов систем разработки (рис. 3, 4, 5).

На рис. 3 представлена расчетная схема, созданная проф. М. М. Протодяконовым, который уподоблял свойства массива горных пород, состоящего из структурных единиц с определенной степенью вязкости, свойствам некоторой условной сыпучей среды. Данная гипотеза позволяла достаточно точно решать вопросы расчета крепей, однако несовершенство этого метода обнаружилось при переходе на большие глубины и большие сечения выработок [2].

На рис. 4 приведена схема разрушения пород кровли и действия сил вокруг очистных выработок при слоистой кровле, предложенная Г.Н. Кузнецовым. Эта расчетная схема опиралась на методы строительной механики и сопротивления материалов, согласно которым пласты породы, прогибающиеся над выработанным пространством, рассматривались как балки и плиты. Подобное рассмотрение было положено в основу так называемой гипотезы «волны давления» [3].

Академиком А.Н. Динником была предложена методика оценки изменения естественного поля напряжений в массиве в результате проведения выработок, основанная на теории упругости с привлечением теории функции комплексных переменных [4]. Недостатком же этой методики является представление

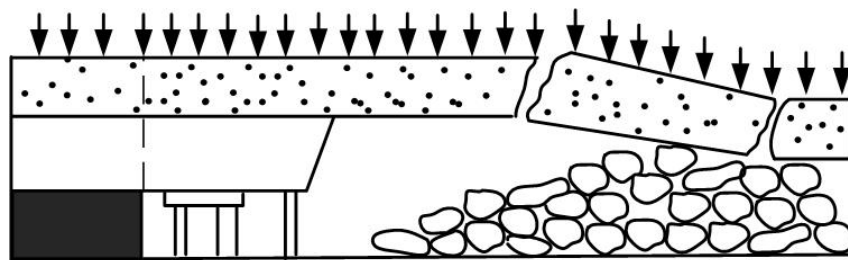


Рис. 4 Схема действия сил и разрушения пород кровли очистных выработок (по Г. Н. Кузнецову)

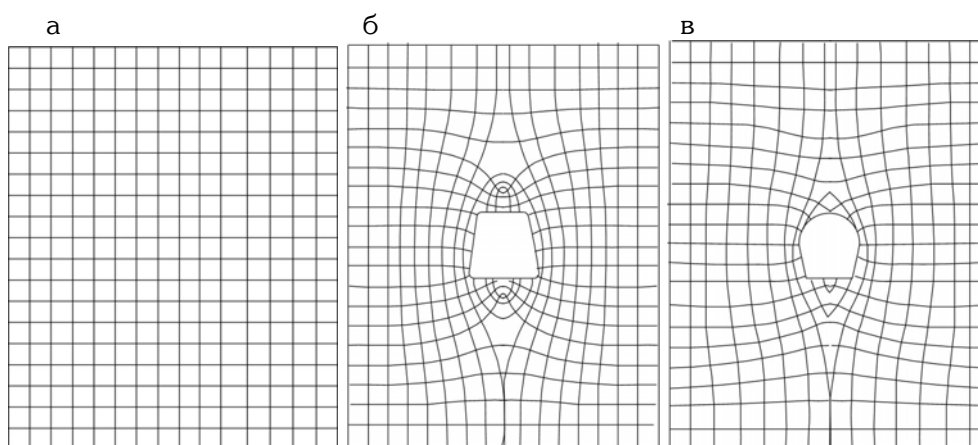


Рис. 5 Изолинии главных напряжений в массиве: а — до проведения выработки; б — вокруг выработки трапециевидного поперечного сечения; в — вокруг выработки сводчатого поперечного сечения

массива абсолютно упругой изотропной средой, что в реальных условиях недостижимо.

В дальнейшем происходит более углубленное изучение процессов деформирования и разрушения пород как на дневной поверхности, так и в выработках с широким привлечением высокоточных маркшейдерских наблюдений и метода моделирования. В аналитических исследованиях уже были предприняты попытки учесть характеристики деформируемой среды, а также увязать процессы деформирования и разрушения пород в результате проведения выработок с процессами изменения напряженного состояния массива. Иначе говоря,

наблюдался постепенный переход от исследования только следствий изучаемых явлений к причинам, их вызывающим [5].

На сегодняшний день, обобщая накопленный материал, касаемый развития представлений об изменении литосферы в процессе горных работ, можно с полной уверенностью сказать следующее.

Техногенное воздействие на литосферу (сооружение горных выработок, ведение очистной выемки и др.) сопровождается нарушением естественного состояния породных массивов. При этом в месте непосредственного техногенного вмешательства в литосферу начальное геофизическое



Рис. 6 Структура литосферного объекта, испытывающего техногенное воздействие: 1 — зона полного разрушения; 2 — зона изменения геофизических свойств; 3 — геофизический экотон (зона встречного вырождения свойств контактирующих систем); 4 — невозмущенная литосфера

поле будет полностью разрушено. В результате этого в окрестности поверхности обнажения массива происходит перераспределение напряжений и деформаций. На контуре обнажения, либо вблизи его при этом наблюдается максимальная концентрация напряжений. В более удаленных зонах также изменяется начальное напряженно-деформированное состояние, которое постепенно переходит в естественное с удалением от зоны техногенного разрушения литосферы в глубь массива. Эта зона носит название, так называемого, геофизического экотона — зоны, в пределах которой свойства контактирующих систем вырождаются до нуля [6]. Закон вырождения свойств, в каждом конкретном случае, будет определяться свойствами систем и характером их взаимодействия. Определенные границы и закономерности возникновения и параметров этой зоны

является очень важным и принципиальным вопросом.

На рис. 6 представлена принципиальная схема структуры литосферного объекта, испытывающего техногенное воздействие при подземной добыче.

Сравнивая рассматриваемые нами явления с понятиями теоретической экологии, можно представить техногенное изменение литосферы как воздействие на ее (разрушение начальных свойств в определенном объеме), в результате которого возникает загрязнение (изменение геофизических полей), передаваемое через транзитную среду — гра-

витационные силы — в нетронутые участки литосферы, изменяя их естественное геофизическое поле, т.е. депонируясь в них.

На величину изменения напряженно-деформированного состояния массива пород и величину распространения зоны с переходными свойствами влияют форма и так называемая мерность выработки (трехмерные, имеющие соизмеримые размеры по трем направлениям, либо протяженные двумерные, размеры которых по продольной оси намного больше поперечных размеров), форма поперечного сечения, т.е. очертание породного контура. Имеет значение также пространственная ориентация выработок в породном массиве относительно поверхности земли (вертикальные, горизонтальные, наклонные выработки). Существенным образом влияют на концентрацию напряжений деформационные свойства пород и распределение их в

массиве (анизотропия и неоднородность массива). Помимо этого на новое напряженно-деформированное состояние массива пород вблизи зоны ведения горных работ большое влияние оказывают применяемые в каждом конкретном случае системы разработки и способы управления горным давлением (обрушение налегающих пород, закладка выработанного пространства, оставление целиков).

Таким образом, такие важные горнотехнические показатели состояния литосферы и породного массива как напряжение и деформации, неразрывно связанные, но в тоже время исключают друг друга, являются, по сути, и экологическими показателями участков литосферы, испытывающей антропогенное воздействие. Иными словами, с точки зрения гео-

экологии, геомеханика становится средством для изучения экологических последствий техногенного воздействия на природные объекты литосферы.

Поэтому сегодня весьма актуально решение задачи о закономерностях развития геофизических процессов в литосфере при различных геотехнологиях выемки полезного ископаемого и обоснование путей создания экологически безопасных геотехнологий. Геотехнологий, не только минимизирующих антропогенную нагрузку на состояние гидросферы и биосферы природных экосистем, но и позволяющих вести горные работы с образованием устойчивых динамических структур, при которых в литосфере не возникает и не возбуждается природных и техногенных катастрофических явлений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Трубешкой К.Н., Галченко Ю.П., Бурцев Л.И. Экологические проблемы освоения недр при устойчивом развитии природы и общества. — М.: Научтехлитиздат, 2003. — 262 с.
2. Протодяконов М.М. Давление горных пород на рудничную крепь (теория рудничного крепления). — Екатеринбург, тип. губерн. земства, 1907. — 102 с.
3. Кузнецов Г.Н. Определение полной несущей способности кровли подземных выработок. — Труды ВНИМИ, 1950. — № 22. — С. 231—259.
4. Динник А.Н., Моргаевский А.Б., Савин Г.Н. Распределение напряжений вокруг подземных горных выработок. В кн.: «Труды совещания по управлению горным давлением» — Л. — М., 1938. — С. 7—55.
5. Турчанинов И.А., Иофис М.А. Каспарьян Э.В. Основы механики горных пород. — Л. Недра, 1977. — 503 с.
6. Трубешкой К.Н., Галченко Ю.П., Захаров Н.Ф., Куликов В.И. Родионов В.Н., Структура техногенно-измененных недр. — М.: Наука, Вестник РАН, 2002. — Т. 72. — № 11. — С. 969—975. **ИДБ**

КОРОТКО ОБ АВТОРЕ

Грохов Е.В. — аспирант ИПКОН РАН, заместитель начальника горного отдела ЗАО «Шахтспецпроект», e-mail: egrohov@gmail.com

