Записки Ленинградского ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции
и ордена Трудового Красного Знамени горного института им. Г.В.Плеханова,
1984, т. 100

УДК 624:131.1:622.03

ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ УСТОЙЧИВОСТИ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК

И.П.ИВАНОВ

В проблеме рационального использования и охраны геологической среды при добыче полезных ископаемых центральное место занимает вопрос ограничения возникновения и развития геологических процессов и явлений, большая часть которых является результатом изменения природного напряженного состояния пород вокруг горных выработок и реализуется в виде нарушения существующего равновесия. Исключительная сложность прогнозирования условий устойчивости горных выработок, в отличие от других сооружений, объясняется следующим:

I. Во взаимодействие с горными выработками приходят большие объемы пород со значительной неоднородностью и анизотропией петрографического состава, элементов залегания, трещиноватости, слоистости, закарстованности, текстуры, степени обводненности и т.д., что затрудняет определение показателей прочности и деформируемости толщ пород вокруг выработок, а также оценку морфологии, механизма, динамики и масштабов ожидаемых нарушений.

2. Напряженное состояние массива и его изменение вокруг горных выработок учитывается с недостаточной точностью и надежностью, что является помехой для расчета устойчивости и моделирования условий работы пород при изучении их свойств и оценке возникающих в них процессов.

3. Разработка аналитических методов расчета оптимальных параметров горных выработок и их крепления с целью обеспечения устойчивости не дает пока возможности получать однозначные решения.

4. Применение высокопроизводительного оборудования создает дополнительные силовые воздействия на горные породы, которые с трудом поддаются точной оценке.

Б.В.Смирнов обобщил опыт оценки и прогноза условий эксплуатации угольных месторождений и обосновал необходимость применения системного подхода на базе данных геолого-разведочных работ [7]. С другой стороны, как отмечает Г.Л.Фисенко, в настоящее время можно решить большинство задач горной практики с применением аналитических методов, которые должны базироваться на количественных критериях реальной инженерно-геологической обстановки [9]. Таким образом, независимо от способа окончательного решения поставленной задачи, инженерно-геологическое обоснование приобретает большое значение.

При разработке пластовых месторождений устойчивость выработок часто нарушается за счет выдавливания (пучения) почвы и вывалов из кровли. На примере Ленинградского и Кашпирского месторождений горючих сланцев удалось выявить закономерности этих двух процессов и обосновать инженерно-геологические критерии их прогноза и ограничения интенсивности.

Кашпирское месторождение относится к Волжскому сланцевому бассейну (Сызранская группа). Продуктивная толща представлена чередованием горизонтально залегающих сланцевых и глинистых слоев верхнеюрского возраста

Мощность слоя, м	Разрез	Литология	Стратиграфический индекс	Плотность, г/см³	Влажность, %	Прочность на сжатие, МПа	Сцепление, МПа	Угол внутреннего трения	Положение слоев
<5,0		Песчаник глауконитовый	J_3v_2	-	-	65,0	42,0	30°	Непосредственная кровля
0,1-0,4		Фосфоритовый конгломерат		2,51	-	38,0	-	-	
0,0-1,20		Глина черная	J_3v_1	1,78	17	16,0	6,4	14	Ложная кровля
0,45-0,56		Сланец коричневато-желтый		1,51	14	34,0	5,0	38	Промпласт
0,31-0,56		Глина темно-серая		2,01	11	13,0	6,2	17	
0,25-0,27		Сланец коричневатый		1,50	10	27,0	4,6	46	
0,36-0,48		Глина темно-серая		2,01	11	6,9	5,4	20	
0,34-0,36		Сланец коричневатый		-	-	18,6	-	-	
0,43		Глина темно-серая		2,01	11	9,6	8,2	16	
0,46		Сланец темно-серый		-	-	40,0	-	-	
1,05		Глина темно-серая		1,93	18	8,0	6,5	18	Почва
0,15		Сланец темно-бурый		-	-	12,0	-	-	
0,70		Глина грязно-серая		2,16	17	5,0	2,0	16	
0,15		Сланец бурый		-	-	11,0	-	-	
2,60		Глина темно-серая		2,17	18	6,0	2-3	8-20	
0,97		Глина темно-серая с прослоями сланца	J_3ox-km	1,86	22	9,0	2,8	20	
>0,30		Глина серая		2,18	18	4,0	-	-	

Рис.1. Инженерно-геологическая колонка продуктивной толщи Кашпирского месторождения горючих сланцев (внемасштабная)

общей средней мощностью 10 м, перекрытой фосфоритовым конгломератом непостоянной мощности (от 0,10 до 1,0 м), на котором залегает песчаник разного состава и прочности (рис.1). Горные работы ведутся в пределах I-IУ слоев сланца, в связи с чем в непосредственной почве остается слоистая толща глинистых пород с тонкими У и УI сланцевыми слоями. Ложной кровлей является сапропелевая глина, залегающая непосредственно над I слоем сланца, мощность которой меняется в широких пределах и увеличивается к югу месторождения. Непосредственная кровля мощностью 4 м представлена фосфоритовым конгломератом и песчаником.

Подземные (трещинно-пластовые) воды, за счет которых формируется водоприток в шахты, приурочены к сланцевым слоям и песчанику и имеют естественный напор от 40 до 200 м. Водопроницаемость пород незначительная, коэффициент фильтрации K_{Φ} (0,004-1,3)10^{-3} м/сутки. По классификации М.В.Сыроватко [8], Кашпирскую шахту можно отнести к практически безводным. Суммарный водоприток составляет в среднем 35 $м^3$/ч (из которых 18 $м^3$/ч за счет воды из отработанного пространства соседней шахты), на 1000 $м^2$ отработанной площади приходится 0,004 $м^3$/ч, а коэффициент водообильности составляет 0,5 $м^3$ на 1 т добытого сланца в год.

Глубина горных работ в настоящее время достигла 260 м и в дальнейшем будет расти.

Инженерно-геологической съемкой выявлены значительные нарушения устойчивости горных выработок за счет деформаций пород в кровле и почве, проявляющихся в виде трещинообразования, отслоения, вывалов (в кровле), размокание глин с образованием ям под шпалами рельсовых путей, разрушение (корчение) IУ сланцевого слоя, залегающего неполной мощностью в почве, погружение стоек крепления в почву, выдавливание почв. Особого внимания заслуживают выдавливание почвы и вывалы кровли, так как их отрицательное влияние на поддержание и крепление капитальных и подготовительных выработок и безопасность ведения горных работ весьма существенно.

Выдавливание горных пород почвы наблюдается во всех подготовительных выработках, однако интенсивность его зависит от концентрации напряжений в зоне опорного давления и прочности пород. Выделено два типа явлений с формированием вала выпирания в виде призмы треугольного сечения высотой 50-60 см и призмы трапециевидного сечения высотой 0,5-2,7 м.

Изучением морфологии призм выдавливания на специально заложенных реперных станциях удалось установить поверхности скольжения характерный для слоистой среды механизм деформирования с увеличением интенсивности процесса после разрушения более жестких слоев сланца [5]. Это позволяет построить физическую модель изучаемого процесса и выявить основные его закономерности, что в конечном итоге может обосновать выбор роприятий по ограничению интенсивности развития выдавливания. Главная поверхность скольжения (зеркальная) проходит в глинах на разной глубине в зависимости от разреза почвы и ограничивает зону выдавливания с характерными участками активного давления, радиальных перемещений и пассивного отпора. В связи с этим для изучения и прогнозирования процесса был использован расчетно-аналитический метод на основе теории предельного

напряженного состояния [3]. Расчеты и оценки по корреляционным зависимостям показали, что в условиях Кашпирского месторождения коэффициенты устойчивости горных пород кровли практически всегда меньше единицы. Исключение составляют участки, где сохранилось природное состояние пород почвы и можно предположить совместное (без расслоения) деформирование слоистой системы, состоящей из глинистых и сланцевых слоев.

Интенсивность выдавливания горных пород зависит от уровня их напряженного состояния, которое определяется в рассматриваемой ситуации глубиной расположения выработок, а также от изменения физического состояния глинистых пород в результате их разгрузки и дополнительного увлажнения. Критерием этого изменения является степень разупрочнения, по которой можно прогнозировать интенсивность процесса пучения.

В результате исследований в пределах шахтного поля выделены три типа почв выработок по состоянию пород. Первый тип - почвы, в которых породы характеризуются природным состоянием по влажности и плотности; естественная влажность здесь не превышает 15-17 %, а прочность на сжатие более 6,0-7,0 МПа. Такое состояние почвы наблюдается там, где только недавно закончились горные работы и шахтные воды еще не проникли в глинистые породы. Второй тип - почвы с незначительным изменением природного состояния пород. Здесь влажность уже достигает 20-25 %, а прочность снижается почти в два раза. Эти изменения распространяются на глубину 0,6-1,0 м от отметки почвы выработок и наблюдаются в местах, где нет постоянных (выдержанных) водоносных горизонтов в продуктивной толще пород. Увлажнение здесь происходит за счет шахтных вод, протекающих по канавкам и водосборникам, а также за счет влажности шахтного воздуха. Именно здесь происходят деформации почвы с формированием вала выдавливания в виде треугольной призмы высотой 0,5-0,6 м. Третий тип почвы характеризуется существенным изменением природного состояния глинистых пород. Влажность здесь увеличивается до 30 %, а прочность уменьшается в среднем в 10 раз, достигая значений 0,6-1,0 МПа. Глубина наблюдаемых изменений достигает 2,1-2,8 м от почвы выработок. Такое значительное изменение естественного состояния пород создает благоприятные условия для интенсивного выдавливания. Для этого типа почв характерно формирование вала выдавливания в виде трапециевидной призмы высотой до 2,7 м.

Последний тип почв наблюдается в северной части шахтного поля, где в разрезе формируются водоносные горизонты в сланцевых слоях за счет поступления воды из выработанного пространства закрытой шахты № I, а также на участке околоствольного двора, на котором степень увлажнения определяется водами из шахтного ствола и старых водосборников. Выдавливание здесь существенно влияет на устойчивость капитальных выработок и приводит к значительным затратам на их поддержание.

Лабораторные исследования набухания и разупрочнения глинистых пород почвы в напряженном состоянии, меняющемся от свободного набухания до разуплотнения под нагрузками в I,5-2,0 МПа, показали, что можно с достаточной надежностью прогнозировать степень изменения прочности пород вокруг горных выработок и интенсивность выдавливания. Лабораторные исследо-

вания образцов, отобранных из увлажненных зон третьего типа почв, при моделировании условий их работы в почве показали, что их плотность, влажность и прочность существенно не меняются. Образцы естественного состояния, которые в лабораторных условиях были дополнительно увлажнены, при определенных напряжениях достигают состояния, характерного для пород, увлажненных в почве выработок.

Типизация почв и оценка степени разупрочнения глинистых пород дали возможность районировать шахтное поле по степени нарушения устойчивости выработок за счет пучения почвы. Оконтурены участки существующего и прогнозного изменения состояния почвы и обоснованы методы уменьшения интенсивности выдавливания на каждом из них.

Вывалы в кровле подготовительных и очистных выработок на Кашпирском месторождении наблюдаются на участках локальных изменений геологических условий. Критерием этих изменений является указывающее на нестабильность условий осадконакопления и вторичных процессов нарушение нормального отношения мощностей фосфоритового конгломерата и подстилающей его глины (черноты). На этом основании типизированы кровли и составлены прогнозы условий ведения горных работ.

Ленинградское месторождение горючих сланцев относится к Прибалтийскому сланцевому бассейну и приурочено к толще ордовикских известняков и доломитов (рис.2). Разработка месторождения осложнена двумя главными особенностями [6]: наличием специфических карстовых нарушений, заполненных рыхлыми отложениями, и изменением физического состояния пород кровли в пределах так называемого Везенбергского уступа, где залегают значительные запасы высококачественного сланца. Вопрос о карстовых нарушениях рассматривался многими исследователями (М.С.Газизовым, Н.Г.Паукером, А.И.Коротковым, Г.П.Дубарем, А.С.Левиным и др.), поэтому здесь мы не будем его касаться.

Образование Везенбергского уступа, как известно, связано с наступившими в послеордовикское время тектоническими процессами, в результате которых морское осадконакопление сменилось континентальной эрозией, продолжавшейся до среднего девона. За это время карбонатные породы ордовика подверглись трем основным процессам: эрозии, доломитизации и выветриванию, которые привели к изменению их мощности, состава и физического состояния. Построенная Н.А.Гольдвирт карта изолиний трендовой поверхности по 148 разведочным скважинам на площади около 520 км^2 показала, что мощность пород ордовика изменяется от 100 м до нуля в направлении с юго-востока на северо-запад. Здесь четко выделяется территория Везенбергского уступа с непостоянным наклоном погребенной поверхности этих пород на участках разной их мощности. Наибольший наклон, около 2^0, характерен для участка с мощностью ордовикских карбонатных пород менее 25 м. На участке от 25 до 50 м мощности наклон их поверхности составляет менее 30'. Наши детальные исследования состава, состояния и поведения пород в кровле подготовительных и очистных выработок дают основание принять в качестве южной границы уступа изолинию 25-метровой мощности карбонатных пород ордовика.

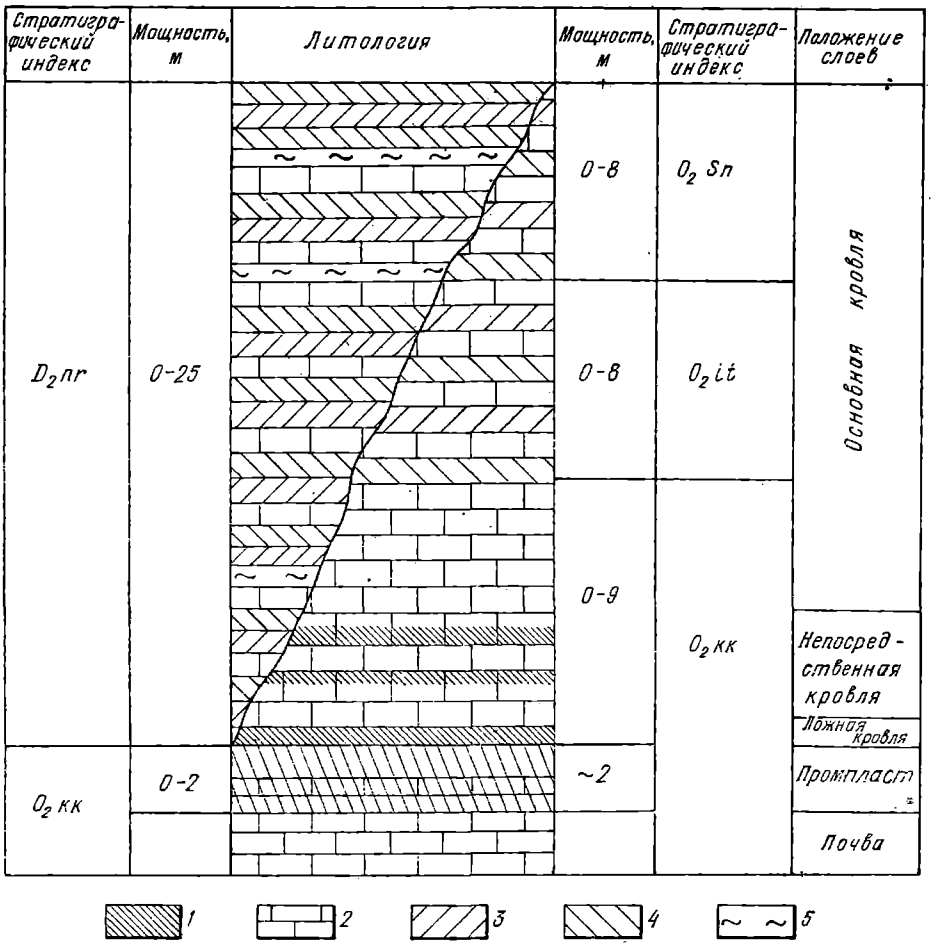


Рис.2. Схематический разрез северной части Ленинградского месторождения горючих сланцев (район Везенбергского уступа)
горючие сланцы; 2 - известняки; 3 - доломиты; 4 - мергели; 5 - глины

Доломитизация пород ордовика происходит за счет метасоматических процессов замещения катионов кальция катионами магния. О степени доломитизации можно судить по выявленной обратной корреляционной зависимости между содержанием MgO и мощностью изучаемых пород. С ростом доломитизации увеличивается прочность пород, растет количество ослабленных зон за счет изменения сапропелевых слоев, по которым впоследствии расслаиваются породы непосредственной кровли, повышается интенсивность трещиноватости в результате изменения объема пород, появляется кавернозность, но крупных карстовых нарушений, имеющих решающее значение для районов южнее Везенбергского уступа, не наблюдается.

Выветривание пород происходило следом за доломитизацией, о чем говорит нарушение закономерности увеличения содержания MgO в северном направлении. Глубина проникновения интенсивного процесса составляет не бо-

лее 5 м. Наряду с дезинтеграцией пород происходило выщелачивание и окисление, а также накопление остаточного глинистого материала в трещинах. Чем меньше мощность ордовикских пород, тем больше степень их выветрелости в пределах непосредственной кровли.

Таким образом, анализ геологической обстановки позволяет установить направление наибольшей изменчивости свойств пород ордовика и степень их устойчивости в кровле горных выработок. В качестве интегрального критерия для такой оценки можно принять показатель относительной мощности неразмытых ордовикских пород, представляющий отношение мощности этих пород к мощности всей перекрывающей продуктивный пласт толщи, $K_m = m_к / M_п$. Этот показатель изменяется от единицы для участков месторождения вне границ Везенбергского уступа до нуля для участков полного размыва перекрывающих пород ордовика. Изменение показателя K_m характеризует степень проявления основных процессов (главным образом доломитизации и выветривания), которые сказываются на изменении прочности пород (увеличение за счет доломитизации и уменьшение в результате выветривания), на росте интенсивности трещиноватости и расслоения, а в конечном итоге на уменьшении степени устойчивости кровли выработок. Так, прочность карбонатных пород на одноосное сжатие увеличивается в I,5 раза с юго-востока на северо-запад [I], закономерно растет число контактов расслоения, а коэффициент трещиноватости, по данным ВНИМИ, изменяется в том же направлении от 0,I при K_m I до I,0 при K_m = 0,2÷0,3. Физическое состояние пород кровли может быть оценено по степени нарушаемости керна скважин, для чего нами используется показатель качества породы [4] $П_К \quad \sum_1^n \ell_{10} / L$ (здесь ℓ_{10} - длина монолитных кусков керна длиной более IO см, n - число кусков длиной более IO см; L - мощность исследуемого интервала, м). Для районов вне границ Везенбергского уступа данный показатель превышает 0,7-0,8 (исключением являются участки карстовых нарушений), а к северной границе месторождения, где $K_m < 0,I÷0,2$, $П_К < 0,3÷0,4$.

Нарушение устойчивости пород в подземных выработках является результатом интенсивности горного давления, зависящего от большого числа природных и техногенных факторов. Для условий Ленинградского месторождения горючих сланцев была предложена следующая модель горного давления [I]

$$I_{ГД} = f\left(H, m_К, \sigma_{СЖ}, \lambda_{СО}, K_{СЛ}, K_Т, h, F, v, t, \alpha, T\right),$$

где $I_{ГД}$ - условный показатель интенсивности горного давления; H глубина выработки; $m_К$ - мощность карбонатных пород ордовика; $\sigma_{СЖ}$ прочность пород на одноосное сжатие; $\lambda_{СО}$ коэффициент структурного ослабления; $K_{СЛ}$ - степень расслоения; $K_Т$ - степень трещиноватости; h - напор подземных вод; F - площадь обнаженной кровли; v скорость продвигания забоя; t - время стояния незакрепленной кровли; α - угол между направлениями основной системы тектонических трещин и осью выработки; T - технологический фактор.

Применительно к существующей системе ведения горных работ и характеру изменения состояния пород кровли это выражение является более информативным в виде

Критерий	Тип кровли					
	Устойчивая	Относительно устойчивая	Относительно неустойчивая	Неустойчивая	Весьма неустойчивая	Ложная
Относительная мощность пород ордовика	1,0	0,5–0,8	0,3–0,5	0,2–0,3	0,1–0,2	<0,1
Относительная прочность пород кровли	1,0	0,9	0,8	0,6	0,4	0
Относительное расслоение пород кровли	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	
Показатель физического состояния пород	1,0	1,0–0,7	0,7–0,5	0,5–0,4	0,4–0,3	<0,3
Мощность первого монолитного слоя кровли, м	>1,0	1,0–0,5	0,5–0,4	0,4–0,3	0,3–0,1	
Показатель устойчивости	1,0	1,0–0,5	0,5–0,4	0,4–0,2	0,2–0,1	0
Характер деформаций пород кровли в подготовительных выработках	Вне зон карстовых нарушений деформаций нет	Редкие случаи куполения	Отслоение плит 0,5–1,0 м², куполение	Небольшие вывалы до 1,0–1,5 м	Отслоение и вывалы больших блоков до 1,5–2,0 м	Полное обрушение в виде сыпучей массы

$$I_{ГД} = \bar{K}_{сл} \bar{K}_h K_\alpha / K_m \bar{\sigma}_т ,$$

где $\bar{K}_{сл}$ – относительное расслоение пород непосредственной кровли, $\bar{K}_{сл} = K_i / K_0$; K_i и K_0 удельное расслоение пород изучаемого и центрального участков; $\bar{K}_h$ – относительный напор воды; K_α – коэффициент, учитывающий ориентировку выработок; K_m – относительная мощность пород ордовика; $\bar{\sigma}_т$ – относительная прочность толщи пород кровли с учетом трещиноватости, $\bar{\sigma}_т = \sigma_{тi} / \sigma_{т0}$.

Учитывая, что для центрального участка шахтного поля (вне границ Безенбергского уступа) можно принять K_m = I ($H = m_K$), $\bar{\sigma}_т$ I (породы практически нетрещиноваты), $K_{сл}$ I, K_α I и K_h = I, то минимальное значение $I_{ГД}$ = I (кровля при этом является устойчивой). По мере продвижения выработок на северо-запад будут расти значения коэффициентов $K_{сл}$, K_α и, возможно, K_h (при отставании дренирования), а значения K_m и $\bar{\sigma}_т$ будут уменьшаться, что и приведет к росту интенсивности горного давления, а следовательно, к уменьшению устойчивости пород кровли. На базе лабораторных исследований и шахтных наблюдений проведена типизация кровель (см. таблицу). Оценивая влияние отдельных факторов на степень устойчивости, следует отметить, что в данном случае показатели K_m, $\bar{\sigma}_т$ и $K_{сл}$ характеризуют состояние горных пород и практически не могут быть улучшены. Поэтому по-

вышение степени устойчивости выработок может быть достигнуто за счет изменения K_α и K_n, а также в результате уменьшения пролетов выработок и изменения характера и густоты крепления.

Прогнозирование устойчивости кровли здесь выполнено по методу эвристического моделирования, так как была подобрана гипотетическая функция связи между наиболее важными критериями геологической обстановки и поведением пород в кровле. Однако такой прогноз не является окончательным из-за ряда условностей. Дальнейшие исследования были направлены на использование установленных закономерностей изменения состояния ордовикских пород под влиянием прошедших здесь процессов в додевонское время с учетом их литологии в разных частях разреза. При детальном изучении удалось выделить два слоя более плотных глинистых известняков, которые затрудняли проникновение процессов доломитизации и выветривания в нижележащую толщу. Первый экранирующий слой относится к итферскому горизонту, а второй к шундоровскому. Изучение изменения содержания MgO по разрезу показало, что в пределах распространения плотных глинистых известняков шундоровского горизонта доломитизация практически не достигла пород кукерского горизонта. Степень выветрелости этих пород в пределах итферского горизонта гораздо меньше, чем в зоне его отсутствия. Здесь она зависит от мощности самих кукерских известняков.

Таким образом, исходя из полноты разреза карбонатной толщи в пределах Везенбергского уступа, можно выделить три зоны разного физического состояния пород ордовика.

Первая зона занимает южную часть Везенбергского уступа и доходит на север до линии размыва пород шундоровского горизонта, в основании которого залегают плотные глинистые известняки, препятствующие проникновению в итферский и кукерский горизонты обогащенных растворов. Эта граница соответствует 17-метровой остаточной мощности толщи ордовика. В связи с этим породы кровли горных выработок в пределах этой зоны характеризуются низкой доломитизацией (характерной для месторождения вне границ Везенбергского уступа), постоянной плотностью и прочностью, наличием монолитной карбонатной плиты в основании непосредственной кровли мощностью более I отсутствием явно выраженной тенденции увеличения интенсивности трещиноватости. Здесь могут встречаться локальные зоны более глубокого раз где породы имеют физическое состояние, характерное для более северных районов месторождения.

Вторая зона занимает территорию, заключенную между 17-метровой изолинией мощности ордовикских пород и линией размыва нижней части итферского горизонта (9-метровая изолиния мощности пород ордовика). Для карбонатных пород кровли в пределах этой зоны установлено закономерное увеличение степени доломитизации, рост прочности в I,5 раза по сравнению с первой зоной, увеличение региональной трещиноватости и расслоения, уменьшение мощности первой монолитной плиты в кровле выработок до 0,3-0,5 Расчет пролетов показывает что на его ра мере существование этой монолитной плиты [2].

Третья зона занимает северную часть Везенбергского уступа, в пределах которой происходил размыв пород кукерского горизонта. Южная граница этой зоны проходит по почве плотных глинистых известняков итферского горизонта (9-метровая изолиния мощности неразмытых пород ордовика). Разрез ордовика здесь представлен породами кукерского горизонта, мощность которых меняется от 0 до 9 м. На этой территории в результате интенсивного выветривания породы кровли приобрели новое физическое состояние, которое характеризуется уменьшением доломитизации почти до фоновой для месторождения, ростом интенсивности трещиноватости до полной интеграции и перехода пород в квазисыпучую среду (ложную кровлю) к северной границе зоны, падением прочности пород, увеличением числа расслоений, уменьшением толщины первого слоя над выработками до 10-30 см.

Для карбонатной толщи в районе Везенбергского уступа характерно слабое проявление карстовых процессов, что по всей вероятности объясняется рассредоточением потока агрессивных вод по более густой сети трещин.

При более детальном исследовании кровли в пределах каждой зоны были выделены подзоны, характеризующиеся определенным физическим состоянием пород ордовика, и проведено районирование северной части Ленинградского месторождения по прогнозной устойчивости кровли горных выработок, которое было использовано для переоценки условий его эксплуатации [2].

Выводы

1. Установлены закономерности возникновения и развития процесса выдавливания на Кашпирском месторождении горючих сланцев и предложен основной критерий его оценки и прогноза, на базе которого проведена типизация почв выработок и разработаны мероприятия по ограничению интенсивности деформаций.

2. Выявлены и оценены изменения физического состояния пород кровли на Ленинградском месторождении горючих сланцев в результате формирования Везенбергского уступа, что позволило провести типизацию кровель и районирование шахтного поля по степени устойчивости непосредственной кровли, а также рекомендовать пересмотр проектных решений эксплуатации некоторых участков месторождения.

3. Геологический подход к оценке и прогнозу геологических явлений на базе анализа истории геологического развития территорий месторождений дает весьма обнадеживающие результаты при изучении особенностей эксплуатации сланцевых залежей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Иванов И.П., Дубарь Г.П., Чемоданова В.М. Инженерно-геологические условия северной поля шахты „Ленинградская". – Горючие сланцы. Инф. серия 1, № 9, Таллин, изд. ЭстНИИНТИ, 1981.

2. Иванов И.П., Дубарь Г.П. районирование северной части поля шахты „Ленинградская". Горючие слан Инф. серия 1, 6. Таллин, изд. ЭстНИИНТИ, 1982.

3. Иванов И.П., Арнаутов А.И. Исследования закономерностей процесса пучения в горных выработках Кашпирского месторождения. – В кн.: Исследования, прогноз и контроль проявления горного давления. Тезисы выступлений на Всесоюзн. научно-техн. конф. изд. ЛГИ, 1982.

4. Иванов И.П., Дубарь Г.П., Чемоданова В.М. Прогноз устойчивости кровли горных выработок в северных районах Ленинградского месторождения горючих сланцев. Там же.

5. Иванов И.П. Условия деформирования слоистого массива. – Вестник ЛГУ, 1973, 24.

6. Левин А.С. Геологические факторы, влияющие на условия эксплуатации Ленинградского месторождения горючих сланцев. – В кн.: Тезисы докладов геолого-маркшейдерской конференции. Кохтла-Ярве, изд. треста „Эстонсланец", 1971.

7. Смирнов Б.В. Теоретические основы и методы прогнозирования горно-геологических условий добычи полезных ископаемых по геолого-разведочным данным. М., Недра, 1976.

8. Сыроватко М.В. Инженерно-гидрогеологическая классификация угольных месторождений. – Тр. лаб. геологии угля АН СССР, 1956, вып. 5.

9. Фисенко Г.Л. Предельные состояния горных пород вокруг выработок. М., Недра, 1976.