РАЗДЕЛ X. НАУКИ О ЗЕМЛЕ

Еланцева Л.А., Фоменко С.В., Афанасьев А.Ю.

Определение коэффициента фильтрации горных пород методом пневмоиспытаний на подземном руднике «Айхал»*Белгородский государственный национальный исследовательский университет
(Россия, Белгород)*

doi: 10.18411/lj-04-2021-66

Аннотация

В статье приведена гидрогеомеханическая структура подработанного массива горных пород над отработанным пространством рудника «Айхал», рассмотрена суть применяемого для оценки проницаемости массива горных пород метода пневмоиспытаний, дана методика интерпретации данных пневмоиспытаний.

Ключевые слова: рудник «Айхал», горные породы, пневмоиспытания, коэффициент фильтрации, номограмма

Abstract

The article presents the hydrogeomechanical structure of the underworked rock mass above the worked-out area of the Aikhal mine, considers the essence of the pneumatic testing method used for assess of the permeability of the rock mass, gives a method for interpreting the pneumatic test data.

Key words: mine «Aikhal», rocks, pneumatic tests, filtration coefficient, nomogram

Отработка подкарьерных запасов на руднике «Айхал» осуществляется под защитой предохранительного целика расчетной мощностью 25 м, отстроенного для защиты вентиляционно-закладочного штрека (ВЗШ). Функции предохранительного целика заключаются в защите горных выработок от прорыва обводненных илов со дна отработанного карьера. На дне карьера скопились донные отложения, состоящие из насыщенных водой глыб, щебня, дресвы и глинистых частиц.

Отработка подкарьерных запасов осуществляется слоевой камерно-целиковой системой разработки с твердеющей закладкой и механической отбойкой руды.

В процессе очистных работ формируется искусственный массив из твердеющей закладки, который обладает определенными компрессионными свойствами, что может привести к деформациям предохранительного целика и изменению фильтрационных характеристик массива, т.е. отработка руды может оказать влияние на устойчивость предохранительного целика.

В пределах подработанного массива горных пород рудника «Айхал» выделяют четыре зоны с присущими им характером и степенью деформирования горных пород, а также величинами фильтрационных параметров.

Первая зона (зона сквозных трещин или зона блокового сдвига пород) расположена непосредственно над добычной выработкой и характеризуется развитием в прогибающихся слоях нормально секущих трещин и трещин расслоения, разбивающих массив на крупные блоки и образующих систему каналов. Коэффициент фильтрации пород в зоне уменьшается от 100 до 20 м/сут по мере удаления от выработанного пространства. Внешний относительно выработанного пространства контур первой зоны над выработанным пространством проводят из условия: горизонтальные деформации растяжения на внешней границе зоны сквозных трещин $\varepsilon_k = (3-7) \cdot 10^{-2}$ или коэффициенты фильтрации пород $k = 20$ м/сут.

Вторая зона (зона фильтрующих трещин) отличается тем, что секущие трещины, идущие от верхней и нижней границ изгибающегося слоя, достигают трещин

расслоения и создают фильтрующую среду, которая характеризуется постепенным уменьшением коэффициента фильтрации горных пород от 8 до 1 м/сут по мере удаления от разрабатываемого слоя. Внешнюю относительно выработанного пространства границу зоны проводят из условия $\varepsilon_{кр} = (3-7) \cdot 10^{-3}$ или $k = 1$ м/сут.

Первую и вторую зоны объединяют в единую зону *водопроводящих трещин*.

Третья зона (зона локальных трещин) отличается следующими особенностями: деформации растяжения в зоне, вызванные изгибом слоя, достигают критических значений в волокнах, прилегающих к верхней и нижней поверхности слоя. Чем ближе слой расположен к горным выработкам, тем глубже в нем критические деформации и тем большее число волокон рвется. Одновременно под влиянием касательных напряжений, вызываемых изгибом слоя, в нем проявляются деформации сдвига и зарождаются трещины расслоения. Но поскольку протяженность этих трещин и глубина секущих трещин невелика, то формируется дискретная фильтрующая среда, средний коэффициент фильтрации которой, по сравнению с породами, находящимися в естественном поле напряжений, может увеличиться на порядок и более, однако его абсолютная величина остается низкой, т.е. $k < 1$ м/сут.

Четвертая зона (зона плавного прогиба) характеризуется прогибом пород без разрыва сплошности. Фильтрационные параметры в ее пределах остаются неизменными.

За период 2005-2020 гг. наблюдалось повышение уровня обводненных осыпей на дне карьера в пределах 0,5-2,7 м/год, суммарная мощность обводнённых осыпей достигла 18 м, соответственно увеличились нагрузки на предохранительный целик [2].

При эксплуатации подземных горных выработок рудника «Айхал» возникла актуальная проблема, связанная с отсутствием достоверной информации о состоянии предохранительного целика. Данная проблема в какой-то степени может быть решена в процессе проведения специальных исследований – пневмоиспытаний.

Главной целью проведения опытных пневмоиспытательных исследований по оценке состояния предохранительного целика над ВЗШ является обеспечение бесперебойной и безаварийной работы рудника и своевременное принятие мер по защите горных работ от обводнения.

Для проведения мониторинговых наблюдений на руднике сооружена система из 5 наблюдательных станций, расположенных на ВЗШ, с целью определения проницаемости массива горных пород. По сухим скважинам применяется метод нагнетания воздуха в исследуемый массив – метод пневмоиспытаний. Схема опыта заключается в зарядке емкости сжатым воздухом, подключении ее к скважине и измерении давления воздуха в системе «емкость-скважина». Емкость заряжается от существующего трубопровода сжатого воздуха. Эта схема технически проста и не требует контроля расхода сжатого воздуха в скважине. По темпу падения давления определяют проницаемость массива горных пород.

Опытные работы по нагнетанию воздуха, как правило, проводятся при одной ступени давления. Давление нагнетания не превышает 0,1-0,5 МПа. Продолжительность опыта составляет 1-3 часа. Замеры производят через каждые 5-15 минут.

В процессе опытов необходимо измерять следующие параметры:

- температуру нагнетаемого воздуха и горных пород;
- начальное давление газа в емкости;
- начальное давление газа в системе «емкость–скважина»;
- давление газа в системе «емкость–скважина» через определенные промежутки времени;
- длительность опыта.

По результатам опытов вычисляют коэффициент фильтрации пород по формуле [1]

$$k = 2,48 \frac{V(\bar{P}_{об} - \bar{P}_1)}{\Delta t(P_0^{-2} - P_k^{-2})},$$

где V – суммарный объем баллона и скважины;

Δt – длительность опыта;

$\bar{P}_{об} = \frac{P_{об}}{P_a}$ – начальное давление газа в баллоне;

$\bar{P}_1 = \frac{P_1}{P_a}$ – конечное давление газа в баллоне;

$\bar{P}_0 = \frac{P_0}{P_a}$ – среднее за время Δt давление газа в баллоне;

$\bar{P}_k = \frac{P_k}{P_a}$ – давление на контуре разгрузки.

За период исследований 2006-2020 гг. проницаемость предохранительного целика над ВЗШ существенно изменилась: коэффициент фильтрации горных пород увеличился до 0,07-0,15 м/сут. Однако предохранительный целик затронут только зоной локальных трещин, так как абсолютные величины проницаемости горных пород предохранительного целика не достигли характерных для зоны фильтрующих трещин минимальных значений $k = 1$ м/сут.

Для рудника «Айхал» с использованием приведенной зависимости для определения коэффициента фильтрации пород построена номограмма, на которой показана последовательность определения коэффициента фильтрации (рисунок 1). По номограмме можно в процессе опытов оперативно определять значения коэффициента фильтрации массива горных пород.

Последовательность определения k : за 40 мин давление в емкости упало на 2 атм при среднем избыточном давлении 3 атм; $k = ?$

1. По левой номограмме находим расход Q , м³/мин (при $t = 40$ мин и $dP = 2$ атм $Q = 0,03$ м³/мин);

2. По правой номограмме находим коэффициент фильтрации k , м/сут (при $Q = 0,03$ м³/мин и $P = 3$ атм $k = 0,005$ м/сут).

Рисунок 1. Номограмма для определения коэффициента фильтрации по результатам пневмоиспытаний на руднике «Айхал»

Результаты проведения специальных пневмоиспытательных исследований подтверждают, что при отработке подкарьерных запасов под водным объектом под защитой предохранительного целика расчетной мощностью 25 м и толщиной уже отработанных и заложенных очистных слоев сохраняются безопасные и благоприятные условия ведения горных работ. Опасность прорыва воды и пульпы в зону ведения горных работ в настоящее время при существующей технологии ведения очистных работ и обеспечении сохранности подкарьерных горных выработок отсутствует.

1. Баренблатт Г.И., Ентов В.М., Рыжик В.М. Теория нестационарной фильтрации жидкости и газа. М., Недра, 1972. С. 288.
2. Колганов В.Ф., Акишев А.Н., Дроздов А.В. Геолого-геологические особенности коренных месторождений алмазов Якутии. Мирный, Якутнипроалмаз, 2013. С. 568.

Иванова Е.Ю.

К вопросу об изученности распределения пищевых группировок зообентоса в полярных областях мирового океана

*Московский государственный областной университет
(Россия, Мытищи)*

doi: 10.18411/lj-04-2021-67

Аннотация

Рассмотрены результаты изученности распределения донной фауны в Северном Ледовитом и Южном океанах. Произведено картирование и описание более 3000 точек находок представителей различных пищевых группировок (детритофаги, сестонофаги, хищники) зообентоса в границах полярных областей Мирового океана. Выявлены доминирующие пищевые группировки и оценена полярная асимметрия в распределении донной фауны по дну полярных областей Северного Ледовитого и Южного океанов.

Ключевые слова: донная фауна, зообентос, детритофаги, сестонофаги, хищники.

Abstract

The results of the study of the distribution of bottom fauna in the Arctic and Southern oceans are considered. The mapping and description of more than 3000 points of finds of representatives of various food groups (deposit feeders, seston feeders, predators) of zoobenthos within the boundaries of the polar regions of the World Ocean was carried out. The dominant food groups were identified and the polar asymmetry in the distribution of bottom fauna over the bottom of the polar regions of the Arctic and Southern Oceans was estimated.

Keywords: bottom fauna, zoobenthos, detritus feeders, seston feeders, predators.

Геоэкологическая зависимость распределения ресурсов пищевых группировок донных беспозвоночных в полярных океанах актуальна с научной и практической точек зрения, поскольку донные морские организмы представляют собой важнейший компонент и трофическое звено биосферы. Они играют огромную роль в круговороте химических веществ в океане, формировании продуктивности его вод, изменении условий морской среды. Районы скопления донных животных указывают на концентрации морских организмов высших трофических уровней. Кроме того, некоторые беспозвоночные сами являются промысловыми видами.