

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ВОДОПРИТОКОВ В ГОРНЫЕ ВЫРАБОТКИ ПРИ РАЗРАБОТКЕ РУДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ КОМБИНИРОВАННЫМ ОТКРЫТО-ПОДЗЕМНЫМ СПОСОБОМ

Ю.А.НОРВАТОВ, *д-р геол.-минерал. наук, профессор, norvatov@mail.ru*

М.В.СЕРГУТИН, *аспирант, msergutin@mail.ru*

Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», Санкт-Петербург, Россия

Выполнен анализ условий формирования водопритоков в горные выработки при разработке рудных месторождений комбинированным открыто-подземным способом. Определены характеристики природно-техногенной гидрогеологической структуры, сформированной на Ждановском месторождении медно-никелевых руд. На примере Ждановского месторождения рассмотрена методика прогнозирования водопритоков в подземные горные выработки с использованием численных геофильтрационных моделей.

Ключевые слова: рудные месторождения, карьер, рудник, открыто-подземный способ отработки, зона водопроводящих трещин, подработанная территория, прогноз водопритоков, численное моделирование.

В настоящее время при разработке месторождений комбинированным способом подземные горные работы выполняют преимущественно с применением систем управления кровлей выработок полным ее обрушением. Переход к такой технологии, как правило, приводит к тому, что значительная часть водопритоков в рудники формируется за счет атмосферных осадков. При этом достоверность прогноза определяется надежностью оценки параметров процессов сдвижения породных массивов и интенсивности инфильтрации атмосферных вод на подработанных территориях.

При разработке месторождений открыто-подземным способом в результате развития геомеханических процессов формируется сложная природно-техногенная гидрогеологическая структура, характер которой определяет условия формирования притоков подземных и атмосферных вод в горные выработки.

При отработке месторождений открытым способом водопритоки в карьер формируются в основном за счет вскрываемых водоносных горизонтов, а также атмосферных осадков. При этом на величину водопритока, поступающего в карьер за счет атмосферных осадков, влияет не только площадь карьера, но и геоморфология сопредельной территории. Для примера можно рассмотреть два месторождения, расположенных в Мурманской области: медно-никелевое месторождение Ждановское и фосфоритовое месторождение Коашва. На месторождении Ждановское водоприток в карьер «Центральный» за счет атмосферных вод составляет порядка $500 \text{ м}^3/\text{ч}$ в период весеннего паводка, а на месторождении Коашва, находящемся всего в 250 км от Ждановского, водоприток за счет атмосферных вод достигает $9000 \text{ м}^3/\text{ч}$. Причиной такого различия в притоках атмосферных вод является геоморфология районов расположения этих месторождений. Если карьер «Центральный» находится на относительно равнинной местности и приток атмосферных вод в его выработки определяется ограниченной водосборной площадью, то для карьера Коашва характерна совершенно иная ситуация. Он расположен в долине, куда атмосферные воды поступают с возвышенностей, находящихся на прилегающих к карьере территориях. Соответственно водосборная площадь вокруг Коашвинского карьера в несколько раз больше, чем вокруг Ждановского. Этот пример наглядно показывает влияние геоморфологии района месторождения на суммарный водоприток в горные выработки за счет атмосферных осадков.

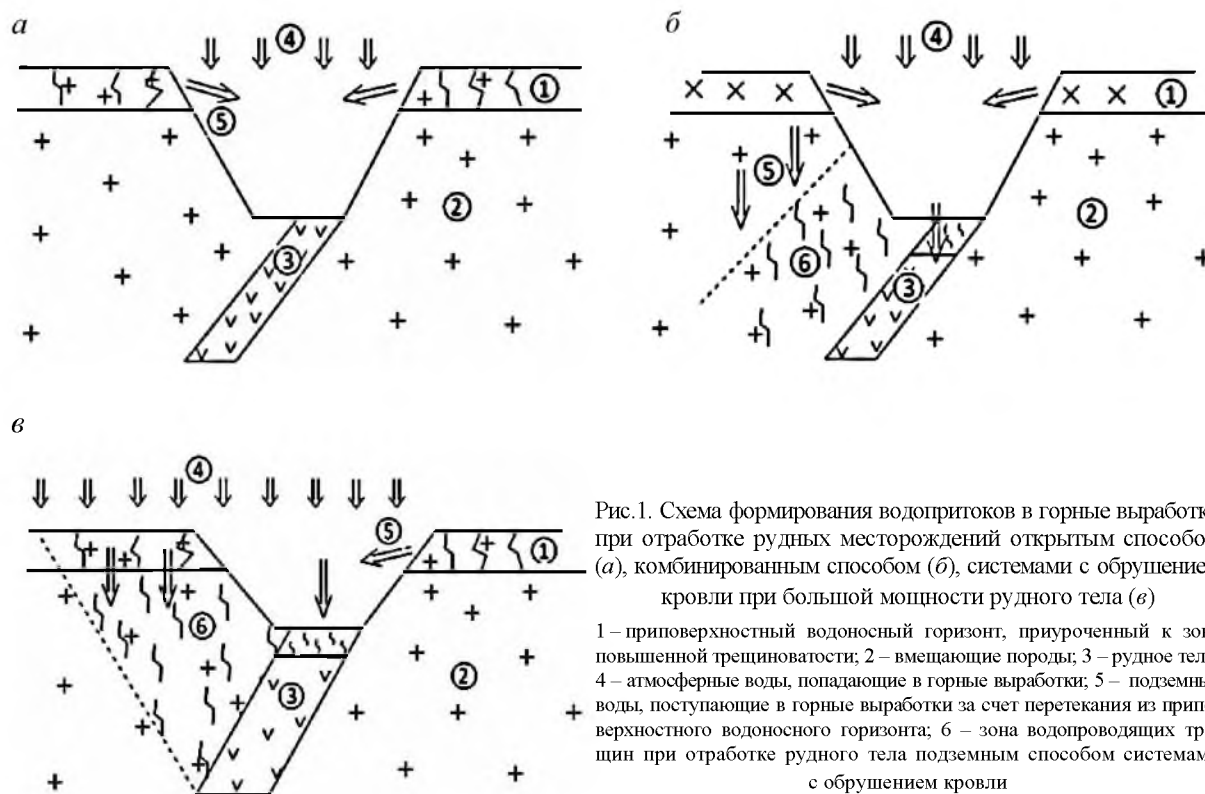


Рис.1. Схема формирования водопритоков в горные выработки при отработке рудных месторождений открытым способом (а), комбинированным способом (б), системами с обрушением кровли при большой мощности рудного тела (в)

1 – приповерхностный водоносный горизонт, приуроченный к зоне повышенной трещиноватости; 2 – вмещающие породы; 3 – рудное тело; 4 – атмосферные воды, попадающие в горные выработки; 5 – подземные воды, поступающие в горные выработки за счет перетекания из приповерхностного водоносного горизонта; 6 – зона водопроводящих трещин при отработке рудного тела подземным способом системами с обрушением кровли

В наиболее распространенном случае, когда месторождение расположено в районе развития скальных пород, основным водоносным горизонтом, принимающим участие в формировании притоков в карьер, будет приповерхностный водоносный горизонт, приуроченный к зоне повышенной трещиноватости скальных пород, затухающей с глубиной*. На разных месторождениях мощность зоны повышенной трещиноватости может изменяться от первых метров до 50-100 м. На рис.1, а представлены типичные для многих рудных месторождений природно-техногенные структуры.

Основным фактором, определяющим приток подземных вод в карьеры на рудных месторождениях, является проводимость приповерхностной зоны повышенной трещиноватости. При прогнозировании водопритоков в карьеры на месторождениях основной задачей гидрогеологических исследований на стадиях разведки и доразведки месторождения будет определение мощности и фильтрационных параметров этой зоны.

Однако задача прогнозирования водопритоков в горные выработки значительно усложняется при погашении карьера и переходе на подземный способ отработки месторождения. В этом случае на месторождении формируется сложная природно-техногенная гидрогеологическая структура, при которой карьер и рудник следует рассматривать как единую гидравлически связанную систему. При этом водоприток в подземные выработки будет складываться из перетекания карьерных вод через оставленный под карьером целик, а также поступления подземных вод из приповерхностного водоносного горизонта в зону водопроводящих трещин (ЗВТ) по подработанной территории (рис.1, б).

* Норватов Ю.А. Изучение и прогноз техногенного режима подземных вод. Л.: Недра, 1988. 261 с.

Norvatov Yu.A. Izuchenie i prognoz tekhnogennogo rezhima podzemnykh vod (The study and prediction of anthropogenic groundwater regime). Leningrad: Nedra, 1988, p.261.

При отработке рудных месторождений с большой мощностью рудного тела (50 м и более) системами с обрушением кровли существует опасность выхода ЗВТ на поверхность и связанных с этим проблем. В этом случае дополнительные водопритоки в подземные горные выработки будут формироваться за счет дренирования приповерхностного горизонта зоной водопроводящих трещин, а также за счет атмосферных осадков, выпадающих на подработанной территории и поступающих через ЗВТ на добычные горизонты рудника (рис. 1, в).

При такой схеме отработки месторождений возможны дополнительные проблемы, связанные с подработкой поверхностных водотоков и последующим резким увеличением водопритоков в подземные горные выработки. Такую ситуацию следует считать аварийной, и при планировании горных работ следует предусматривать инженерные мероприятия по ее предотвращению*.

В последнее время подобные проблемы являются актуальными в связи с тем, что многие предприятия по завершении открытых горных работ перешли или планируют переход на подземный способ отработки, что влечет за собой определенные сложности при прогнозировании водопритоков в рудники. Подобная ситуация сложилась на Ждановском месторождении медно-никелевых руд, расположенном в Печенгском районе Мурманской области.

Ждановское месторождение медно-никелевых руд было открыто в 1946 г. и активно разрабатывалось в прошлом столетии. Месторождение представлено семью основными рудными телами: Западное, Юго-Западное, Центральное, Северное, Восточное, Юго-Восточное и Южное. До 2010 г. добыча руды велась открытым способом на карьерах «Центральный», «Западный» и «Южный». Начиная с 1980 г. под карьерами «Центральный» и «Западный» проводились подземные горные работы рудником «Северный-Глубокий». Таким образом, на месторождении проявились сложные условия формирования водопритоков в открытые и подземные выработки.

Существенная роль атмосферных осадков в общем объеме воды, поступающей в горные выработки месторождения, предопределила необходимость отдельного рассмотрения и сопоставления режима формирования водопритоков в карьеры и в рудник в период зимней межени и в теплый период года.

Для анализа условий формирования меженных притоков подземных вод в карьеры и в рудник «Северный-Глубокий» были использованы данные о среднемесячной производительности водоотливов с 1984 по 2010 г. (рис. 2). Из рис. 2 видно, что снижение производительности карьерных водоотливов приводит к практически эквивалентному повышению водопритоков в рудник. Это свидетельствует о перетекании подземных вод из карьеров в рудник. Следует отметить, что в период с 2004 по 2011 г. роль перетекания явно повышалась в связи с интенсивным развитием подземных горных работ.

По результатам анализа данных о производительности водоотливов были построены схемы водного баланса системы карьер – рудник на зимнюю межень и на теплый период года (рис. 3). При этом интенсивность поступления атмосферных вод (приток в карьер) оценивалась как разница между суммарными производительностями водоотливов в теплый период года и в период зимней межени.

* Норватов Ю.А. Численное моделирование геофильтрации при планировании мероприятий по обеспечению эффективности и безопасности горных работ / Ю.А.Норватов, И.Б.Петрова // Проблемы геодинамической безопасности / ВНИМИ. СПб, 1997. С.35-38.

Norvatov Yu.A., Petrova I.B. Chislennoe modelirovanie geofil'tratsii pri planirovanii meropriyatiy po obespecheniyu effektivnosti i bezopasnosti gornykh rabot (*Numerical simulation geofiltration for planning measures to ensure effectiveness and safety of mining operations*). Problemy geodinamicheskoi bezopasnosti. VNIMI. St Petersburg, 1997, p.35-38.

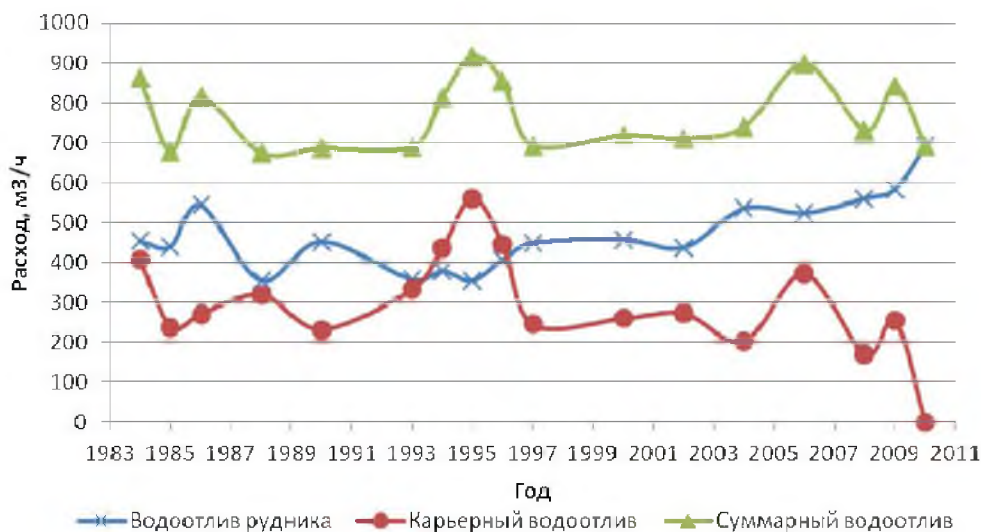


Рис.2. Графики изменения среднемесячной производительности водоотливов в период зимней межени

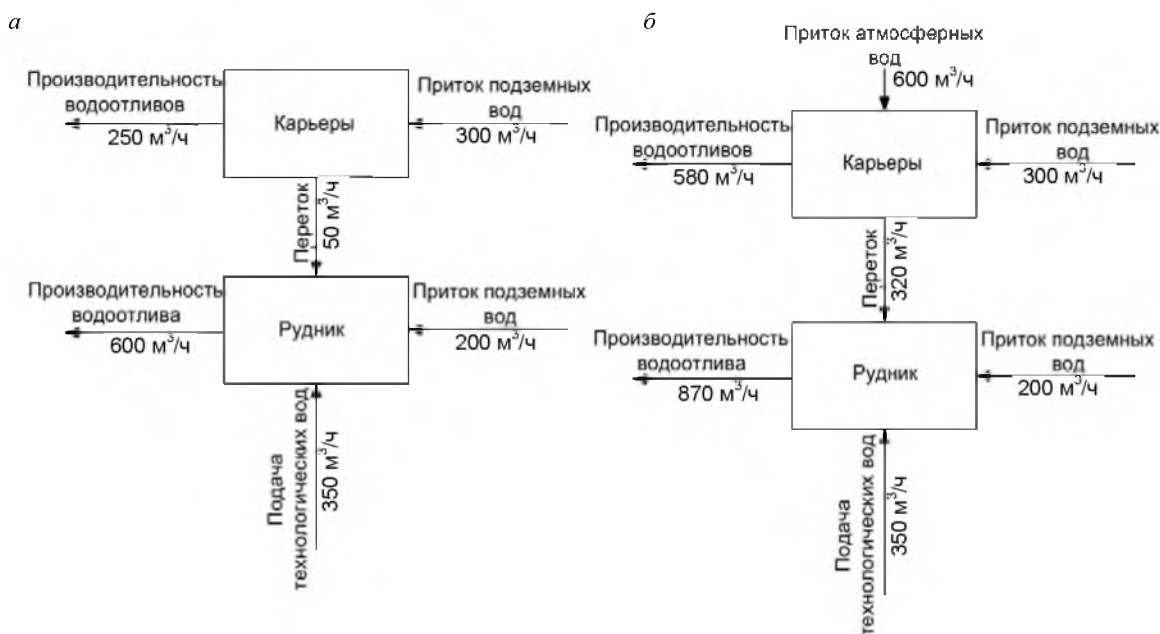


Рис.3. Схема водного баланса на 2009 г.: а – зимняя межень; б – теплый период

По результатам гидрогеологической съемки в подземных выработках получена информация о характере и количестве водопроявлений, выявлены основные зоны, приуроченные к тектоническим нарушениям, по которым водоприток поступает в горные выработки. Эта информация наряду с характеристиками приповерхностного водоносного горизонта (проводимость $50 \text{ м}^2/\text{сут}$, интенсивность инфильтрационного питания $2 \cdot 10^{-4} \text{ м}/\text{сут}$) и данными о притоках подземных вод в выработки использована при построении численной геофильтрационной модели месторождения.

Сложившаяся на месторождении гидрогеологическая ситуация осложнена тем, что Юго-Восточное рудное тело находится в непосредственной близости от водохранилища «Селиакка-Ярви», что определяет опасность его подработки при ведении подземных горных работ системами с обрушением кровли. В связи с этим были установлены границы охранного целика по углам сдвижения $\beta = 50^\circ$ и $\delta = 75^\circ$, определенным для слоистой толщи

пород. Отстроенный целик охватывает восточную часть Юго-Восточного рудного тела с незначительными запасами.

По результатам ранее выполненных гидрогеологических работ и проведенных натурных наблюдений составлена численная геофильтрационная модель Ждановского месторождения. Основной целью численного моделирования являлась оценка водопритоков в проектируемые горные выработки.

Модель создавалась на основе программы MODFLOW и охватывала территорию площадью 50 км², ограниченную долинами рек Селиаккайоки, Быстрая, Пильгуйоки и Хауки, а также озерами Селиакка-Ярви, Арвалдемломполо и Хаукилампи; эти объекты задавались на модели граничным условием I рода (постоянный напор). С учетом особенностей геологического строения и техногенной структуры месторождения, в разрезе модель представлена 15 слоями, мощности которых изменяются от 30 до 100 м. Оценка гидрогеологических характеристик модели проводилась в два этапа.

В первую очередь решалась задача по имитации естественного режима подземных вод. При этом фильтрационные параметры слоев и интенсивность инфильтрационного питания приповерхностного водоносного горизонта изменялись таким образом, чтобы полученные на модели уровни подземных вод соответствовали их естественному положению. На втором этапе имитировался техногенный режим подземных вод (решение эпигнозной задачи). При этом контролем достоверности определенных ранее фильтрационных параметров является интенсивность притоков подземных вод в существующие горные выработки. На этом этапе на модели учитывалось положение горных выработок и зон сдвижения, а также были воспроизведены тектонические зоны повышенной проницаемости.

Созданная и откалиброванная таким образом численная модель использовалась для решения прогнозной задачи. В соответствии с данными об углах сдвижения, от планируемых к отработке горизонтов рудных тел отстраивалась зона сдвижения горных пород, в пределах которой принимался повышенный коэффициент фильтрации техногенно-нарушенного массива. На внешних границах зоны сдвижения задавались условия разгрузки подземных потоков с использованием модуля «дрена» (аналогично заданию условий высачивания на бортах карьеров). На участке разработки Юго-Восточного рудного тела зоны сдвижения приняты с учетом оставления целиков около озера Селиакка-Ярви и отводного канала р.Быстрой.

Прогнозирование притоков подземных вод проводилось в соответствии с планами отработки месторождения до отметки минус 440 м. По результатам численного моделирования были получены прогнозные притоки подземных вод в рудник, а также аналитически определен приток атмосферных вод, формируемый по площади подработанной территории (см.таблицу).

Прогнозные водопритоки в рудник «Северный-Глубокий» при развитии горных работ до горизонта минус 440 м с оставлением целиков для охраны водохранилища и отводного канала

Составляющая суммарного водопритока в рудник	Притоки по периодам года, м ³ /ч		
	Зимняя межень	Теплый период (май-октябрь)	Весенний паводок (май)
Подземные воды	1200	1200	1200
Атмосферные воды	–	600	1250
Инфильтрация по подработанной территории	–	100	150
Технологические воды	500-600	500-600	500-600
Суммарный приток	1700-1800	2400-2500	3100-3200

Разработанная методика прогнозирования водопритоков в горные выработки использована также при оценке гидрогеологических условий разработки золото-медного месторождения Нурказган (центральный район Казахстана). Субвертикальное рудное тело мощностью до 700 м, залегающее под погашенным карьером, планируют отработать системой с самовыпуском руды. Площадь территории, в пределах которой возможны существенные деформации земной поверхности и активная аккумуляция атмосферных осадков, достигает 2 км².

С использованием численной геофильтрационной модели выполнен анализ техногенного режима, сформированного в период эксплуатации карьера, установлена проводимость приповерхностного водоносного горизонта (5 м²/сут), интенсивность инфильтрационного питания подземных вод (5·10⁻⁴ м/сут). При прогнозе водопритоков в проектируемые подземные выработки установлено, что приток подземных вод будет составлять 200-250 м³/ч, а максимальный приток атмосферных вод может достигать 3000-5000 м³/ч (при норме атмосферных осадков 30 мм/сут, типичной для районов с ливневым характером дождей).

Таким образом, система водоотлива на рудниках, на которых планируется отработка полезного ископаемого открыто-подземным способом с системой с полным обрушением кровли рудных тел, должна обеспечивать безопасность горных работ с учетом максимальных водопритоков, зачастую формируемых преимущественно за счет атмосферных вод.

PREDICTION OF WATER INFLOWS INTO MINE WORKINGS IN THE PROCESS OF COMBINED OPEN-UNDERGROUND ORE MINING OPERATIONS

Yu.A.NORVATOV, *Dr. of Geological and Mineral Sciences, Professor, norvatov@mail.ru*

M.V.SERGUTIN, *Postgraduate student, msergutin@mail.ru*

National Mineral Resources University (Mining University), St Petersburg, Russia

An analysis of formation conditions of water inflows into mine workings during combined open-underground development of ore deposits was carried out. Characteristics of both natural and man-made hydro-geological structures in a copper-nickel ores «Zhdanov» deposit were identified. A method of prediction of water inflows into underground mine workings using numerical simulations was studied under complex hydrogeological conditions of «Zhdanov» deposit.

Key words: ore deposits, quarry, mine, an open-underground mining method, water in fractured zones, underworked area, prediction of water flows, numerical modeling.