

## ГИДРОГЕОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ПРИ ОСВОЕНИИ СУЛЬФИДНЫХ МЕДНО-НИКЕЛЕВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ВОРОНЕЖСКОГО КРИСТАЛЛИЧЕСКОГО МАССИВА

В. Л. Бочаров, Л. Н. Строгонова

*Воронежский государственный университет*

Поступила в редакцию 22 октября 2014 г.

**Аннотация:** *интенсивная и продолжительная горнодобывающая деятельность приводит зачастую к необратимым изменениям гидрогеологических условий и гидрогеомиграционной обстановки. После прекращения отработки месторождения и водоотлива наступает постэксплуатационный этап. Закономерности формирования и трансформации геоэкологических условий сульфидных медно-никелевых месторождений на постэксплуатационном этапе определены на основе модели геофильтрационного потока в техногенно нарушенных условиях, хорошо согласующейся с прогнозными расчётами.*

**Ключевые слова:** *Хопёрский мегаблок, сульфидные медно-никелевые месторождения, гидрогеоэкологические условия, ресурсы подземных вод, дренажный водоотлив, постмаининг, геофильтрация, загрязнение гидросферы.*

### HYDROGEOECOLOGICAL RISKS POSTMINING WHEN POSSIBLE DEVELOPMENT NICKEL DEPOSIT IN THE SOUTH-EAST VORONEZH CRYSTALLINE MASSIF

**Abstract:** *intensive and long mining activity leads often to irreversible changes of hydrogeological conditions and a hydrogeomigratory situation. After the termination of working off of a field and water outflow there comes a postoperational stage. Regularities of formation and transformation of geoecological conditions of the sulphidic copper-nickel fields at the stage of a postmining are defined on the basis of model of a geofiltrational stream in technogenic violated conditions, well being coordinated with expected calculations.*

**Keywords:** *Hoporsky megablock, the sulphidic copper-nickel fields, hydrogeoecological conditions, resources of underground waters, drainage water outflow, geofiltration, hydrosphere pollution.*

На территории юго-востока Воронежского кристаллического массива (Хопёрский мегаблок) во второй половине XX века выявлено 5 месторождений и около десятка рудовывялений сульфидных медно-никелевых руд. В последнее время возник вопрос о возможности разработки двух наиболее богатых рудными компонентами месторождений – Еланьского и Елkinsкого, локализованных в Новохопёрском районе Воронежской области. Добыча рудных полезных ископаемых в этом регионе ранее не проводилась, и в этой связи возникают опасения возникновения негативного изменения природного состояния окружающей среды и в первую очередь гидрогеологических условий.

Месторождения еланского никель-платиноносного комплекса – собственно Еланское и Елkinsкое – имеют раннепротерозойский возраст и выявлены в конце 70-х годов прошедшего столетия в процессе проверки бурением гравитационно-магнитных аномалий, тяготеющих к Центральной части Хопёрского мегаблока. В них сосредоточены наиболее значительные концентрации высокопродуктивных медно-никелевых сульфидных руд с кобальтом, платиноидами и золотом [1, 2]. Породная рудовмещающая ассоциация представ-

лена норитами и сопутствующими им более поздними, главным образом, безрудными диоритами. Площадь первого месторождения в плане составляет 4,5 км<sup>2</sup>, второе – в 2 раза больше.

Рудные минералы месторождений представлены типичными для подобного класса месторождений минералами (пирротин, пентландит, халькопирит, пирит, кобальтин). Кроме того, постоянно присутствуют арсенопирит, молибденит, галенит, сфалерит. Количественно преобладают вкрапленные руды (более 85 %), прожилково-вкрапленные имеют ограниченное распространение (10 – 12 %). На долю массивных руд приходится 3 – 5 % общей рудной массы, однако в них концентрируются около половины всех полезных компонентов [1, 2].

По содержанию главных рудообразующих элементов руды являются маломедистыми и в то же время высоконикелистыми с повышенным содержанием кобальта. Широко представлен набор сопутствующих полезных компонентов (золото, серебро, металлы платиновой группы, редкие металлы). Вместе с тем установлено присутствие элементов повышенной токсичности (мышьяк, сурьма, висмут), которые в процессе освоения месторождений могут осложнить эко-

логическую ситуацию в зоне влияния горнодобывающего предприятия.

Новохопёрский район Воронежской области, входящий в восточную гидрогеологическую зону, характеризуется достаточно высокой обеспеченностью прогнозными эксплуатационными ресурсами подземных вод. Здесь используется ежегодно 13,5 тыс. м<sup>3</sup>/сут, при этом на единицу населения приходится 270 дм<sup>3</sup>/сут воды в сутки. По этому показателю Новохопёрский район уступает только городскому округу г. Борисоглебск и то незначительно – 20 дм<sup>3</sup>/сут. В целях водоснабжения населения используется, главным образом, верхний, неоген-четвертичный водоносный комплекс (11,1 тыс. м<sup>3</sup>/сут). В значительно меньших объёмах эксплуатируются меловой (2,2 тыс. м<sup>3</sup>/сут) и девонский (0,3 тыс. м<sup>3</sup>/сут) водоносные комплексы [3, 4]. Гидрогеологические исследования последних лет показали, что район располагает достаточно надёжной резервной базой увеличения водопотребления за счёт освоения более глубоких водоносных горизонтов [5–7]. Наиболее высоким качеством отличаются средне- и верхнедевонские подземные воды, к сожалению ещё недостаточно освоенные в Прихопёрье. Меловые воды, имеющие региональный природный источник высоких концентраций карбонатов кальция и магния, в отдельных случаях характеризуются повышенной жёсткостью.

В пределах Елkinsкого месторождения одна из поисковых скважин, пробуренная в 80-х годах прошлого столетия, на глубинах 260 – 280 м в зоне трещиноватости рудосносных норитов вскрыла водоносный горизонт минеральных хлоридно-натриевых вод с бромом. Общая концентрация солей в воде достигает 18 г/дм<sup>3</sup>, удельный дебит скважины не превышает 0,1 дм<sup>3</sup>/с [8, 9]. Это обстоятельство крайне важно учесть с тем, чтобы в процессе разработки обезопасить все эксплуатируемые водоносные горизонты от загрязнения солёными водами.

Многолетняя горнодобывающая и горнообогательная деятельность, предполагаемая на месторождениях никеля, развитие инфраструктуры, как и в других горнорудных районах, действующих или прекративших своё существование предприятий, сопровождается принципиальными, а в отдельных случаях и необратимыми изменениями природного состояния геологической среды [10, 11].

Дренажный водоотлив, глубина которого в десятки и сотни раз может превышать масштабы естественной дренируемости, приводит к образованию обширных депрессионных воронок и формированию техногенной зоны аэрации большой мощности, в результате изменяется направление движения подземных вод и их расходы, условия взаимосвязи с поверхностным стоком.

После прекращения отработки и водоотлива начинается постэксплуатационный этап – постмайнинг, при этом происходит затопление горных выработок: изменяется гидродинамическая и гидрохимическая обстановка, складывавшаяся в течение десятилетий эксплуатации месторождения. Закрытие рудников не означает, что когда-нибудь самопроизвольно произойдёт восстановление естественных условий территории. Более того, получает развитие ряд негативных

процессов, таких как подтопление, в том числе и ранее освоенных прилегающих территорий; загрязнение подземных вод; формирование очагов сосредоточенной разгрузки солёных вод; скрытое загрязнение поверхностных вод и другие негативные явления.

Закономерности формирования гидрогеологических условий и их трансформации на этапе отработки и в результате возможного затопления никелевых рудников на Еланском и Елkinsком месторождениях определены на основе модели геофильтрационного потока в области гидродинамического влияния отработываемых и ликвидируемых рудников, разработанной Л. С. Рыбниковой и П. А. Рыбниковым [11]. Схематизация условий формирования потока подземных вод основывается на учёте особенностей техногенеза горнопромышленной территории, что обеспечивает адекватность модели природным и природно-техногенным условиям [12, 13].

Распределение фильтрационных и ёмкостных свойств массива горных пород, условия питания подземных вод в пределах рудников в нарушенных условиях зависят не только от геоморфологических и геологических факторов, но и от способа отработки полезного ископаемого, который определяет напряжённо-деформированное состояние массива [14]. При отработке с обрушением выработанного пространства происходит деформирование массива горных пород вследствие нарушения его естественного равновесия. В зонах обрушения развивается техногенная трещиноватость, что приводит к формированию фильтрационной зональности массива горных пород: росту проницаемости, увеличению трещинной пористости и площадного питания (таблица 1). Масштаб и интенсивность подтопления ( $H^* - H$ ) зависят от размеров нарушенной горными работами территории ( $L_2$ ), интенсивности питания, поступающего в её пределы после прекращения водоотлива ( $w_2^*$ ), фильтрационно-сопротивления участка водного потока ( $L_3$ ).

$$H^* - H = \frac{W_2^* - W_2}{T_3} (L_2 - L_3), \quad (1)$$

Расход потока подземных вод, поступающего от водораздела и шахтного поля к дрене, по сравнению с естественными условиями значительно возрастает

$$q_p^* - q_p = (W_2^* - W_2) L_2, \quad (2)$$

Геофильтрационная схематизация условий трансформации потока подземных вод в области влияния отработываемого рудника должна осуществляться с учётом того, что его пространственная структура, граничные условия и параметры рудного тела имеют принципиальные отличия в естественных условиях, на этапе отработки и после её завершения.

Загрязнение поверхностных водотоков подземными водами в районе отработанного рудника может иметь существенное значение, если подъём уровня последних по сравнению с естественными условиями после прекращения водоотлива приведёт к возникновению зоны повышенного питания в пределах существовавшего горного отвода.

Эти результаты хорошо сопоставляются с прогнозными расчётами, выполненными на численной математической модели, и свидетельствуют о том, что рассмотренная гидродинамическая модель может

Таблица 1

## Геотриационные параметры массива горных пород в области влияния рудников [11]

№ зоны	Наименование зоны	Характер трещиноватости	Процесс формирования трещиноватости	Параметры		
				$k_f$ , м/сут	$n$ , д. ед.	$w$ , мм/год
1	Зона обрушения	Сквозные каналы и крупные трещины разрыва	Появление новых, расширение естественных трещин	$> m \cdot 10^3$	$> p \cdot 10^{-1}$	
2	Зона трещин	Трещины разрыва и расслоения	Увеличение раскрытия трещин; соединение взаимно перпендикулярных систем трещин	$> m \cdot 10^{-1}$	$p \cdot 10^{-1}$ $p \cdot 10^{-2}$	100–500
3	Зона плавных сдвижений	Наведённая трещиноватость	Раскрытие отдельных трещин	$\geq m$	$\geq p \cdot 10^{-3}$	
4	Зона с ненарушенными условиями	Региональная трещиноватость; тектонические нарушения и контакты пород	Выветривание, разуплотнение; тектоника	$\geq m \cdot 10^{-1}$ $m$	$\approx p \cdot 10^{-4}$ $\approx p \cdot 10^{-3}$	15- 60

Примечание:  $k_f$  – коэффициент фильтрации;  $n$  – пористость (трещиноватость);  $w$  – инфильтрационное питание;  $m, p$  – порядковые значения (от 1 до 9).

использоваться для решения основных гидрогеоэкологических проблем на постэксплуатационном этапе: оценки подтопления территории и масштабов латентного загрязнения гидросферы в пределах горнопромышленной территории.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Чернышов, Н. М. Еланский тип сульфидных медно-никелевых месторождений и геолого-генетическая модель их формирования (Центральная Россия) / Н. М. Чернышов // Геология рудных месторождений. – 1995. – Т. 37. – № 3. – С. 220 – 236.
2. Чернышов, Н. М. Сульфидные платиноидно-медно-никелевые месторождения Еланского типа (Геология, закономерности размещения, минералого-геохимические особенности руд, геолого-генетическая модель формирования) / Н. М. Чернышов // Вестник Воронеж. гос. ун-та. Сер.: Геология. – 1998. – № 5. – С. 120 – 151.
3. Бочаров, В. Л. Подземные воды Воронежской области: ресурсы, качество, возможность расширения сферы использования / В. Л. Бочаров // Экологическая геология: научно-практические медицинские и правовые аспекты: матер. Междунар. науч.-практ. конф. – Воронеж: Изд-во Воронеж. гос. ун-та. – 2009. – С. 67 – 70.
4. Бочаров, В. Л. Проблемы изучения и использования ресурсов подземных питьевых вод Воронежской области / В. Л. Бочаров, Л. Н. Строгонова, Е. С. Овчинникова // Вестник Воронеж. гос. ун-та. Сер.: Геология. – 2010. – № 1. – С. 243 – 251.
5. Смирнова, А. Я. Экология подземных вод бассейна Верхнего Дона / А. Я. Смирнова, А. И. Бородин. – Воронеж: Изд-во Воронеж. гос. ун-та. – 2003. – 180 с.
6. Летин, А. Л. Геоэкологическая оценка ресурсного потенциала подземных вод юга Воронежской области / А. Л. Летин // Вестник Воронеж. гос. ун-та. Сер.: Геология. – 2008. – № 2. – С. 86 – 89.

Воронежский государственный университет

Бочаров В. Л., д. г.-м.н., профессор, заведующий кафедрой гидрогеологии, инженерной геологии и геоэкологии  
E-mail: gydrogeol@mail.ru; Тел.: 8 (4732) 208-980

Строгонова Л. Н., кандидат географических наук, доцент кафедры гидрогеологии, инженерной геологии и геоэкологии  
E-mail: gidrogeol@mail.ru; Тел.: 8(4732) 208-980

7. Устименко, Ю. А. Условия локализации ресурсного потенциала верхнемелового карбонатного комплекса на юго-восточном склоне ВКМ / на примере юга Воронежской области / Ю. А. Устименко // Экологическая геология: научно-практические, медицинские и правовые аспекты: матер. Междунар. науч.-практ. конф. – Воронеж: Изд-во Воронеж. гос. ун-та. – 2009. – С. 100 – 102.

8. Смирнова, А. Я. Минеральные воды Воронежской области: (Лечебные и лечебно-столовые) / А. Я. Смирнова, В. Л. Бочаров, В. Ф. Лукьянов. – Воронеж: Изд-во Воронеж. гос. ун-та. – 1995. – 182 с.

9. Бочаров, В. Л. Минеральные воды Дон – Хопёрского междуречья / В. Л. Бочаров, А. Я. Смирнова, О. А. Бабкина // Гидрогеология сегодня и завтра. Наука, образование, практика. – М.: МАКС Пресс. – 2013. – С. 71 – 76.

10. Фельдман, А. Л. Изменение Ресурсов подземных вод в горнодобывающих районах при отработке и ликвидации рудников / А. Л. Фельдман, Л. С. Рыбникова, П. А. Рыбников // Ресурсы подземных вод. Современные проблемы изучения и использования: матер. Междунар. науч.-практ. конф. к 100-летию со дня рождения Б. И. Куделина – М.: МАКС Пресс. – 2010. – С. 200 – 205.

11. Рыбникова, Л. С. Гидрогеологические проблемы постмайнинга на Среднем Урале / Л. С. Рыбникова, П. А. Рыбников // Гидрогеология сегодня и завтра. Наука, образование, практика. – М.: МАКС Пресс. – 2013. – С. 96 – 102.

12. Wolkersdorfer, Christian Water management at abandoned flooded underground mines: fundamentals, tracer tests, modeling, water treatment. – Berlin: Springer. – 2008. – 465 p.

13. Beven, K. Towards integrated environmental models of everywhere: uncertainty, data and modelling as a learning process / K. Beven // Hydrology. Earth System, 2007. – № 11. – P. 466 – 467.

14. Румынин, В. Г. Геомиграционные модели в гидрогеологии / В. Г. Румынин – СПб: Наука. – 2011. – 360 с.

Voronezh State University

Bocharov V. L., doctor of geological and mineralogical sciences, professor, head of the Department of Hydrogeology, Engineering Geology and Geoecology. E-mail: gydrogeol@mail.ru

Strogonova L. N., candidate of geographical sciences, associate professor of the Department of Hydrogeology, Engineering Geology and Geoecology  
E-mail: gydrogeol@mail.ru; Тел.: 8 (4732) 208-980