



М. С. Четверик /д. т. н./, Е. А. Бубнова /к. т. н./,  
Е. С. Левченко

Институт геотехнической механики  
им. Н. С. Полякова НАН Украины, г. Днепро,  
Украина

## Особенности водопритоков в глубоких карьерах, пути снижения минерализации вод в водосборниках и использование их в качестве полезного ископаемого

M. S. Chetverik /Dr. Sci. (Tech.),  
Ye. A. Bubnova /Cand. Sci. (Tech.),  
Ye. S. Levchenko

M. S. Polyakov Institut of Geotechnical Mechanics  
under the NAS of Ukraine, Dnipro, Ukraine

### Features of waterflows in deep pits, ways to reduce water mineralization in water collectors and use of them as a mineral deposit

**Цель.** Анализ водопритоков в глубоких карьерах и обоснование направлений снижения минерализации улавливаемых карьерных вод для последующего использования их в качестве полезного ископаемого.

**Методика.** Теоретический анализ формирования водопритоков в глубоких карьерах с использованием аналитических закономерностей установления параметров депрессионной воронки и статистического анализа минерализации подземных вод разных горизонтов.

**Результаты.** Установлены особенности водопритоков в глубоких карьерах с учетом распространения водоносных горизонтов в массиве горных пород и формирования депрессионной воронки. Приведена гипотеза о генезисе подземных вод Кривбасса, обосновывающая их различную минерализацию. Обоснованы направления снижения минерализации накапливаемых в водосборниках вод.

**Научная новизна.** Впервые установлены особенности водопритоков в глубоких карьерах и получена модель формирования минерализации вод в водосборниках.

**Практическая значимость.** Представлены решения по снижению минерализации вод в водосборниках и использованию откачиваемых при разработке месторождений подземных вод в качестве полезного ископаемого, что позволит не только рационально использовать природные ресурсы, но и сократить загрязнение окружающей среды. (Ил. 3. Табл. 1. Библиогр.: 7 назв.).

**Ключевые слова:** открытая разработка, карьер, водоносные горизонты, подземные воды, карьерный водоотлив, минерализация, генезис.

**Актуальность.** Интенсивная добыча полезных ископаемых в мире привела к тому, что на сегодняшний день около 30 % поверхности суши Земли возбуждено горнодобывающими работами и занято под техногенные объекты. Техногенные объекты вытесняют и заменяют природные, нарушен естественный баланс, значительные изменения претерпела окружающая среда (загрязнение атмосферы, водной среды и почвы, разрушение геологической структуры, изменение свойств пород, почв, нарушение гидродинамического и гидрохимического режимов подземных и поверхностных вод, уничтожения флоры и фауны).

Нарушенные и техногенные среды наибольшее влияние оказывают на природные ландшафты, почвы и водную среду. Нарушение ландшафтов и почв имеет локальный характер в пределах

горнодобывающих регионов, а загрязнение водных объектов – национальный, из-за сброса высокоминерализованных карьерных и отстоянных вод шламохранилищ в малые и средние реки бассейна р. Днепр.

Одной из главных проблем в горнодобывающих регионах Украины является поступление в гидрографическую сеть высокоминерализованных вод. Это затрудняет их использование для питьевого водоснабжения, орошения полей в сельском хозяйстве. Таких рек на Украине много: Ингулец, Сиверский Донец, Самара, Днепр и др. Особенно засолены реки Ингулец, Саксагань минерализованными водами горных предприятий Кривбасса.

В тоже время подземные воды, поступающие в карьер, являются попутным полезным ископа-

емым, и в зависимости от свойств и минерализации могли бы использоваться в хозяйственной деятельности.

Одной из особенностей изучения подземных вод является то, что они находятся практически постоянно в переменном состоянии, обусловленном деятельностью как природы, так и человека.

По особенностям распространения подземных вод и их качеству при добыче полезных ископаемых выполнено много исследований. Но для условий глубоких карьеров, где нарушается большое количество водоносных горизонтов с разной минерализацией подземных вод, не установлена взаимосвязь между параметрами глубокого карьера, депрессионной воронкой, параметрами водоносных горизонтов и минерализацией подземных вод. Это не позволяет разработать эффективные технические решения, при применении которых можно было бы использовать минерализованные воды как полезное ископаемое наряду с добычей руды и направлять их по назначению.

**Цель.** Анализ водопритоков в глубоких карьерах и обоснование направлений снижения минерализации улавливаемых карьерных вод для последующего использования их в качестве полезного ископаемого.

**Результаты.** Для того чтобы разрабатывать технические решения, позволяющие не только снизить минерализацию подземных вод, поступающих в карьер, но и использовать подземную воду и минеральные соли, содержащиеся в ней, как полезное ископаемое, необходимо рассмотреть особенности водопритоков подземных вод в глубокий карьер (рис. 1).

Нижеизложенные положения о водопритоках в глубокий карьер рассмотрены применительно к условиям карьеров Кривбасса. Но они имеют место и для многих других глубоких карьеров.

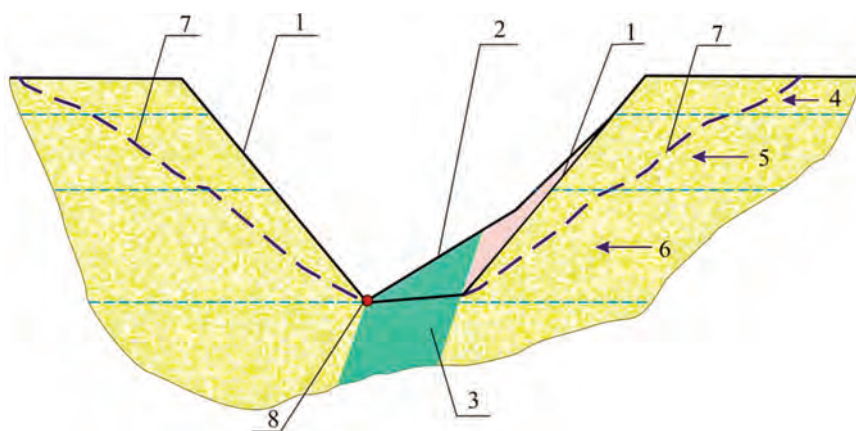
Обводненность глубоких карьеров в условиях Кривбасса происходит из-за поступления вод четвертичных отложений, полускальных и разрушенных пород и пород кристаллического массива. Предположим, что в глубокий карьер, его водосборник поступают воды из водоносных горизонтов соответственно четвертичных отложений, полускальных и разрушенных пород и пород кристаллического массива. Все они смешиваются в водосборнике. Образовавшаяся депрессионная воронка наибольшие параметры имеет в четвертичных отложениях, меньшие – в полускальных и разрушенных породах, и наименьшие – в кристаллических.

Для того чтобы установить целесообразность и возможность раздельного аккумулирования подземных вод с разной степенью минерализации, необходимо установить, в каком соотношении по водоносным горизонтам извлекаются подземные воды. Для этого воспользуемся некоторыми допущениями. Представим, что депрессионная воронка вокруг карьера имеет вид окружности.

Допустим, что известно среднее содержание солей в водах, поступивших в водосборник карьера. Тогда объем воды, поступившей в водосборник из водоносных горизонтов, может быть определен так:

$$\begin{aligned} V_u &= 2h_u \cdot H_u \cdot (\text{ctg}\varphi - \text{ctg}\gamma) \cdot P_u, \\ V_n &= 2h_n \cdot H_n \cdot (\text{ctg}\varphi - \text{ctg}\gamma) \cdot P_n, \\ V_k &= 2h_k \cdot H_k \cdot (\text{ctg}\varphi - \text{ctg}\gamma) \cdot P_k, \end{aligned} \quad (1)$$

где  $h_u, h_n, h_k$  – мощность водоносных горизонтов соответственно в четвертичных, полускальных и кристаллических породах, м;  $H_u, H_n, H_k$  – высота расположения водоносного горизонта от дна карьера, м;  $\varphi$  – результирующий угол депрессионной воронки, град.;  $\gamma$  – угол откоса борта ка-



**Рис. 1. Водопритоки в карьер с водоносных горизонтов:**

- 1 – граничный контур карьера; 2 – рабочий борт карьера на период времени  $t$ ; 3 – рудное тело; 4, 5, 6 – водоносные горизонты соответственно в четвертичных отложениях, в полускальных и разрушенных породах, в породах кристаллического массива; 7 – контур депрессионной воронки на период времени  $t$ ; 8 – водосборник

рьяра, град.;  $P_u, P_n, P_k$  – периметры депрессионной воронки соответственно в четвертичных, полускальных и кристаллических породах, м.

$$\begin{aligned} P_u &= 2\pi \cdot H_u \cdot ctg\phi, \\ P_n &= 2\pi \cdot H_n \cdot ctg\phi, \\ P_k &= 2\pi \cdot H_k \cdot ctg\phi. \end{aligned} \quad (2)$$

Тогда объемы воды, которые содержались в водоносных горизонтах, можно представить так:

$$\begin{aligned} V_u &= 2h_u \cdot H_u \cdot (ctg\phi - ctg\gamma) \cdot 2\pi \cdot H_u \cdot ctg\phi, \\ V_n &= 2h_n \cdot H_n \cdot (ctg\phi - ctg\gamma) \cdot 2\pi \cdot H_n \cdot ctg\phi, \\ V_k &= 2h_k \cdot H_k \cdot (ctg\phi - ctg\gamma) \cdot 2\pi \cdot H_k \cdot ctg\phi. \end{aligned} \quad (3)$$

Зависимость среднего содержания минеральных солей в подземных водах, накапливающихся в водосборнике карьера, от минерализации подземных вод в кристаллическом массиве можно определить по выражению

$$m_{cp} = \frac{V_u \cdot m_u + V_n \cdot m_n + V_k \cdot m_k}{V_u + V_n + V_k} \quad (4)$$

где  $m_{cp}$  – среднее содержание солей в водосборнике карьера, г/дм<sup>3</sup>;  $m_u, m_n, m_k$  – содержание минеральных солей в водах соответственно четвертичных отложений, полускальных и разрушенных пород и пород кристаллического массива, г/дм<sup>3</sup>.

Здесь рассматривается только та часть объема пород соответственно четвертичных отложений, полускальных и разрушенных пород и пород кристаллического массива, поры которой заполнены водой.

Первоначально, используя выражения (1)–(3), определяем объемы обезвоженных пород соответственно четвертичных отложений, полускальных и кристаллического массива. Затем используем их соотношения, приняв объем пород кристаллического массива за единицу.

Поскольку в повышении минерализации вод в водосборнике карьера основную роль играют высокоминерализованные воды пород кристаллического массива, то изменение среднего содержания солей рассмотрено при их поступлении в водосборник карьера (рис. 2).

На рис. 2 приведена зависимость среднего содержания минеральных солей в водах, накопленных в водосборнике, исходя из того, что при глубинах карьера 400–500 м минерализация пород не высокая по сравнению с кристаллическим массивом на глубинах 900–1000 м (что характерно при подземной добыче руд). Тем не менее, при минерализации подземных вод четвертичных отложений 2 г/дм<sup>3</sup>, среднее содержание минеральных солей в водах водосборника увеличивается до 7–8 г/дм<sup>3</sup>. Это еще обусловлено тем, что из четвертичных отложений поступает в карьер наибольший объем воды. Он в 8,3 раза больше,

чем из кристаллических пород. Это свидетельствует о том, что воды четвертичных отложений необходимо аккумулировать отдельно. Это положение не зависит от конкретного месторождения, а характерно для всех глубоких карьеров.

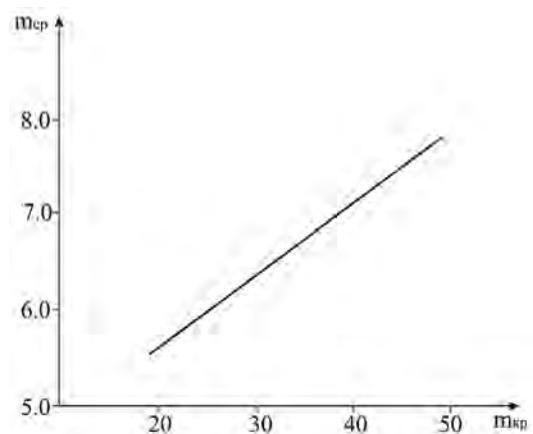
В породах криворожской серии с глубиной происходит замещение пресных вод солоноватыми и солеными, имеющими высокую минерализацию – до 150 г/дм<sup>3</sup> [3–4]. Выделяют: верхнюю зону, в основном, представленную слабоминерализованными сульфатными подземными водами; среднюю зону сульфатно-хлоридных вод с повышенной минерализацией; зону нижних хлоридных высокоминерализованных вод. Изменчивость минерализации вод, отобранных в шахтах Кривбасса, зависит от глубины залегания, литологического состава пород [5].

Об изменчивости минерализации подземных вод можно судить из представленного на рис. 3 графика.

Кроме того, существует временная зависимость минерализации. Например, при проведении основных проходческих работ на шахте «Родина» с опережающим дренированием рудных отложений на горизонте 1165 м в разные годы минерализация подземных вод составляла: 140 г/дм<sup>3</sup> (1986–88 гг.) и 62 г/дм<sup>3</sup> (1991 г.). Такая закономерность характерна и для других шахт Криворожского бассейна [5].

С нашей точки зрения, это происходит потому, что на глубоких горизонтах нет пополнения подземных вод высокой минерализации. Подземные воды высокой минерализации в процессе их извлечения на земную поверхность в недрах разбавляются водами четвертичных отложений. Таким образом, теряются и пресные воды, и высокоминерализованные.

Анализ состава водовмещающих пород и химического состава солей вод высокой минерализации



**Рис. 2. Зависимость среднего содержания солей в общем объеме подземных вод в водосборнике в зависимости от минерализации подземных вод в кристаллическом массиве**

Таблица 1

Химический состав Криворожских рассолов и морской воды [5]

Химические элементы	Содержание в подземных водах Криворожского бассейна		Содержание в морской воде	
	г/дм <sup>3</sup>	%	г/дм <sup>3</sup>	%
Катионы				
Na + K	25,2	32,5	11,5	32,6
Mg	2,21	2,72	1,29	3,7
Ca	1,71	2,2	0,408	1,2
Анионы				
Cl	45,9	59,5	19,35	54,8
SO <sub>4</sub>	2,0	2,9	2,7	7,6
Br	0,136	0,18	0,066	0,002
J	0,67 · 10 <sup>-3</sup>	3,9 · 10 <sup>-3</sup>	5 · 10 <sup>-5</sup>	1,2 · 10 <sup>-4</sup>
Σ	77,156	100	35,314	100

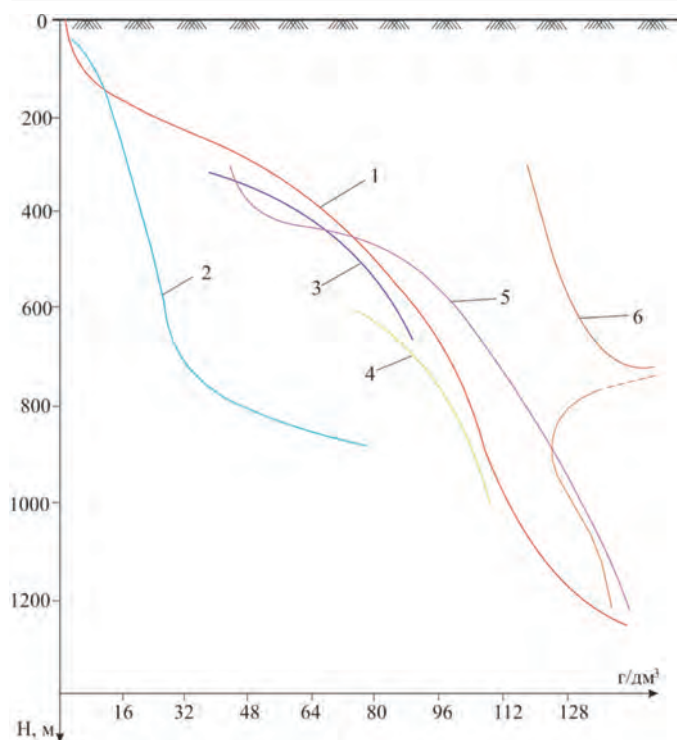


Рис. 3. Минерализация подземных вод в породах различного литологического состава в зависимости от глубины их залегания, содержание в породах:

- 1 – среднее; 2 – сланцы; 3 – роговики;
- 4 – джеспилиты; 5 – рудные тела; 6 – руды маргитовые

зации показывает, что последние являются «чужеродными» по отношению к водовмещающим породам. По данным содержания брома и величине хлорбромного коэффициента можно заключить, что соленые воды Криворожья не могли образоваться в результате накопления подземными водами солей из пород, так как это сказалось бы на содержании брома и величине хлорбромного коэффициента. Этот коэффициент для соленых вод Криворожья имеет значения, характерные для вод морского генезиса. То же самое можно сказать и о величине отношения эквивалентных содержаний хлора и магния. В минерализованных водах Криворожья установлено наличие хлоридов кальция и магния, образование которых увязывается с метаморфизацией вод морского генезиса вследствие обменных реакций между глинистыми континентальными породами и морской водой (табл. 1)

Исходя из данных работы [5], произошедшее преобразование состава вод в процессе обменных реакций между глинистым веществом и водой отражено и в величине отношения натрия к хлору. Содержания микрокомпонентов металлов в соленых водах Криворожья ниже по сравнению с водами коры выветривания данной территории. Это объясняется слабым переходом металлов из пород в воду вследствие унаследования высокой

минерализации воды и восстановительных условий среды в зоне метаморфизованных морских вод. Исходя из этого, возникает вопрос: каким образом морские воды оказались на глубоких горизонтах Кривбасса? Это имеет большое значение для решения вопроса использования и утилизации карьерных вод. Если нет пополнения этих вод с такой же минерализацией под землей, то их извлечение на поверхность приводит не только к загрязнению окружающей среды, но и истощению запасов подземных вод высокой минерализации, содержащих весьма ценные химические компоненты.

Рассмотрим вопрос о генезисе подземных вод глубоких горизонтов Кривбасса.

**Гипотеза о миграции рассолов из Днепровско-Донецкой впадины в Кривбасс.** Очень глубоко этот вопрос изучен в докторской диссертации В. И. Соболева, где рассмотрена история геохимического происхождения подземных хлоридных вод и рассолов Кривбасса. Он развил представления об их генезисе. Его выводы следующие:

«Совокупность полученных результатов комплексного исследования природы подземных рассолов Кривбасса удовлетворительно согласуются лишь с одной из известных в литературе гипотез их происхождения – с миграцией их из Днепровско-Донецкой впадины в геологически недавнее, по-видимому, в четвертичное время. Основной компонент химического состава подземных рассолов Кривбасса – это хлоридные ионы – формируются за счет внешнего источника – палеозойских галогенных формаций этого смежного с Украинским кристаллическим щитом седиментационного бассейна.

Движение подземных рассолов из Днепровско-Донецкой впадины в пределы южной части

Украинского кристаллического щита, включая Кривбасс, является следствием геологически длительных, разных по скорости (иногда и по знаку) тектонических движений этих регионов».

Важным в этих исследованиях является то, что убедительно доказан возраст рассолов Кривбасса – четвертичный возраст.

Однако изложенная теория имеет недостатки. Они заключаются в том, что сформированный Средне-Приднепровский мегаблок в Украинском кристаллическом щите, возможно, несколько приподнят относительно Днепровско-Донецкой впадины. Поэтому нет убедительных доказательств о миграции этих рассолов в Криворожский регион.

Существует точка зрения, что Криворожские рассолы образовались в результате процессов метаморфизма. Однако убедительные доказательства о возрасте Криворожских рассолов, относящиеся к позднему эоцену, ее отвергают.

**Гипотеза о формировании рассолов в результате образования в четвертичный период Мандрыковского моря.** Предлагаемая нами гипотеза основана на исследованиях профессора И. М. Барга [6] и несколько дополняет гипотезу В. И. Соболева.

В позднем эоцене ( $P_2^3$ ) произошла существенная морская трансгрессия. Морскими водами был полностью покрыт Украинский кристаллический щит. Образовалась прямая гидрологическая связь между Днепровско-Донецким, Северо-Причерноморским и Крымским морями. Со стороны Кавказа на эту территорию распространились воды Средиземного моря. Это привело к смешиванию фауны теплой и холодной провинций. Мандрыковское море было нормально-морским, тепловодным (до  $20^\circ\text{C}$ ). Глубина воды составляла от нескольких до 50 метров. Климат – субтропический.

Можно полагать, что воды Мандрыковского моря заполнили геологические нарушения Украинского кристаллического щита. Возможно, что такие рассолы находятся и в других регионах, кроме Криворожского.

### Выводы

1. Установлена зависимость среднего содержания минеральных солей в водах, накопленных в водосборнике карьера исходя из того, что при глубинах карьеров 400–500 м минерализация пород не высокая по сравнению с кристаллическим массивом на глубинах 900–1000 м (что характерно при подземной добыче руд). При минерализации подземных вод четвертичных отложений  $2\text{ г/дм}^3$ , она увеличивается при смешивании с водами кристаллического массива до  $7\text{--}8\text{ г/дм}^3$ . Относительно невысокая итоговая минерализация мешанных вод в водосборнике обуславливается тем, что из четвертичных отложений поступает

в карьер объем воды в 8,3 раза больше, чем из кристаллических пород. Это свидетельствует о том, что воды четвертичных отложений необходимо аккумулировать отдельно, возможно, на верхних горизонтах и использовать после очистки как пресные.

2. На глубоких горизонтах шахт и карьеров нет пополнения подземных вод высокой минерализации. Подземные воды высокой минерализации в процессе их извлечения на земную поверхность в недрах разбавляются водами четвертичных отложений. Таким образом, теряются и пресные воды, и высокоминерализованные с полезными компонентами.

3. Рассолы Криворожского бассейна произошли в результате образования в четвертичный период на большой европейской территории Мандрыковского моря. В позднем эоцене ( $P_2^3$ ) произошла существенная морская трансгрессия. Морскими водами был полностью покрыт Украинский кристаллический щит. Образовалась прямая гидрологическая связь между Днепровско-Донецким, Северо-Причерноморским и Крымским морями. Со стороны Кавказа на эту территорию распространились воды Средиземного моря. Это привело к смешиванию фауны теплой и холодной провинций.

4. Возможность использования подземных вод, поступающих в карьер, в качестве полезного ископаемого может быть обеспечена при раздельном аккумулировании вод различных водоносных горизонтов. Воды верхних водоносных горизонтов могут использоваться как пресные, а нижних – как минеральные либо для извлечения из них содержащихся ценных компонентов.

### Библиографический список / References

1. Левченко Е. С. Опреснение карьерных и рудничных вод в условиях Кривбасса / Е. С. Левченко // Геотехническая механика: межвед. сб. научн. трудов. – ИГТМ НАН Украины. – Днепропетровск, 2017. – Вып. 132. – С. 210–219.

Levchenko, K. S. (2017). Water desalination in quarries and mines of Krivbass. *Geo-Technical Mechanics*, vol. 132, pp. 220–228.

2. Bubnova Ye. A. Technology of Technogenic Deposits Development Improving / Ye. A. Bubnova, Ye. V. Babiy, Ye. S. Levchenko // Геотехническая механика: межвед. сб. научн. трудов; ИГТМ НАН Украины. – Днепропетровск, 2016. – Вып. 130. – С. 137–143.

Bubnova, Ye. A. Babiy, Ye. V. and Levchenko, Ye. S. (2016). Technology of Technogenic Deposits Development Improving. *Geo-Technical Mechanics*, vol. 130, pp. 137–143.

3. Сташук В. А. История, современные проблемы и перспективы развития водного хозяй-

ства Украины / В. А. Сташук // Проблемы и прогресс в водном хозяйстве и мелиорации земель в странах ВЕКЦА: Материалы конференции Сети водохозяйственных организаций Восточной Европы, Кавказа, Центральной Азии. –Ташкент: НИЦ МКВК, 2012. – С. 7–15.

Stashuk, V. A. (2012). History, modern problems and prospects for the development of water management in Ukraine. *Problems and progress in water management and land reclamation in EEC countries: Conference materials Network of water management organizations in Eastern Europe, Caucasus, Central Asia*. Tashkent, Uzbekistan, 2012, pp. 7-15.

4. Бабец Е. К. Анализ существующих технических решений и поиск оптимальных путей утилизации шахтных вод Кривбасса / Е. К. Бабец, Л. П. Рибалко, А. А. Сова // Сучасні технології розробки рудних родовищ. Еколого-економічні наслідки діяльності підприємств ГМК: зб. наук. праць за результатами роботи III Міжнародної науково-технічної конференції. – Кривий Ріг: Вид. Р.А. Козлов, 2015. – 227 с.

Babets, Ye. K., Ribalko, L. P. and Sova, A. A. (2015). Analysis of existing technical solutions and search for optimal ways of utilizing the mine waters of Kryvbas. *Modern technologies of mining of ore deposits. Ecological and economic consequences of activity of GMC enterprises: a collection of scientific works on the results of the III International Scientific and Technical Conference*, Kryviy Rih, Ukraine, 2015, 227 p.

5. Некоторые аспекты улучшения геоэкологической обстановки Криворожского региона (Центральная Украина) [Электронный ресурс] / О. К. Тяпкин, Н. С. Остапенко, И. Н. Подрезенко [и др.]. – Режим доступа: ippe-main@svitonline.com

Tyapkin, O. K., Ostapenko, N. S., Podrezenko, I. N. (2015). Some aspects of improving the geoecological situation in the Krivoy Rog region (Central Ukraine). Available at: ippe-main@svitonline.com

6. Барг І. М. Нариси геологічної історії Дніпропетровщини / І. М. Барг. – Дніпропетровськ: Вісник, 1997. – 150 с.

Barg, I. M. (1997). *Narysy geologichnoy istorii Dnipropetrovshchyny* [Essays on the geological

history of Dnipropetrovsk]. Visnyk, Dnipropetrovsk, Ukraine, 150 p.

7. Проблемы и перспективы использования нарушенных открытыми и подземными разработками геологических сред / А. Ф. Булат, М. С. Четверик, Е. А. Бубнова, Е. С. Левченко // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – 2017. – № 1. – С. 90–97.

Bulat, A. F., Chetverik, M. S., Bubnova, Ye. A. and Levchenko, Ye. S. (2017). Problems and prospects of use of geological environment, which disturbed by mining. *Metallurgical and Mining Industry*, no. 1, pp. 90-97.

**Methodology.** Theoretical analysis of the formation of water inflows in deep quarries with the use of analytical regularities for establishing the parameters of a depression funnel and statistical analysis of the mineralization of groundwater in different horizons.

**Findings.** The features of water inflows in deep quarries are determined taking into account the distribution of aquifers in the rock massif and the formation of a depression funnel. A hypothesis is cited on the genesis of the Kryvbas underground waters, which justifies their different mineralization. The directions of the reduction of mineralization of water accumulated in the water basins are justified.

**Originality.** The features of water inflows in deep quarries have been established for the first time and a model of formation of water salinity in the water basins has been obtained.

**Practical value.** Solutions are presented to reduce the mineralization of waters in the catchment areas and to use the underground waters that are pumped out during the development of deposits as a mineral, which will allow not only rational use of natural resources, but also reduce pollution of the environment.

**Key words:** open development, quarry, aquifers, groundwater, quarry water drainage, mineralization, genesis

**Рекомендована к публикации  
д. т. н. М. С. Четвериком**

**Поступила 20.03.2018**

