

2. Оцінка енергетичного балансу екосистем м. Києва та його зеленої зони [Текст] / Я.П. Дідух, У.М. Альошкіна // Український фітоценологічний збірник. — Київ, 2007. — Сер. С, вип. 25. — С. 48-56.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. Колесником В.Є.  
Надійшла до друку 27.11.2012*

УДК 622.51:65.016.8

© А.С. Ковров

## **ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ШАХТНЫХ ВОД ЛИКВИДИРУЕМЫХ УГОЛЬНЫХ ШАХТ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА МИНЕРАЛЬНОЙ ВОДЫ**

Выполнена оценка перспектив использования шахтных вод для производства минеральной воды на базе ликвидируемой угольной шахты.

Виконано оцінку перспектив використання шахтних вод для виробництва мінеральної води на базі ліквідованої вугільної шахти.

Evaluation of perspectives of using mine waters for mineral water production on the base of closed coal mines is carried out.

**Вступление.** Предприятия угольной промышленности оказывают наиболее отрицательное воздействие на гидросферу, что связано, прежде всего, с осушением месторождения угля при ведении подготовительных и очистных работ. Результатами этого воздействия являются: истощение запасов подземных вод, в том числе и для питьевого водоснабжения; нарушение подземного питания рек и их загрязнение сбрасываемыми шахтными водами; подтопление в зоне проседания земной поверхности при нарушении массива горных пород; инфильтрация шахтных вод из отстойников и прудов-накопителей; изменение гидрогеологического равновесия; повышение минерализации поверхностных водных объектов; угнетение флоры и фауны водных экосистем. Даже после ликвидации угледобывающего предприятия невозможно избежать негативных экологических последствий. Однако можно их минимизировать, например, путем использования откачиваемых на поверхность шахтных вод для нужд альтернативного производства. Создание таких производств на базе ликвидируемых угольных шахт с комплексным использованием их потенциала является приоритетным направлением программы реструктуризации угольной промышленности Украины.

**Последние достижения.** Вопросы комплексного использования шахтных вод для максимального вовлечения в хозяйственное водоснабжение достаточно широко представлены в работах ДонНТУ, ДонУГИ, ОАО «УкрНТЭК», ВНИИОСуголь. Так, например, анализ химического состава сбрасываемых

шахтных вод, а также требований к качеству воды, необходимой для использования в системах промышленного водоснабжения предприятий, выполненный УкрНТЭК, показывает, что около 80% шахтных вод после их очистки могут быть использованы в качестве источника технического водоснабжения.

**Формулирование целей.** Одним из наиболее вероятных и целесообразных путей использования откачиваемых шахтных вод с невысокой минерализацией (до 2...5 г/л) является их глубокая очистка от взвешенных веществ и минеральных примесей с целью получения минеральной воды. Такое альтернативное водопользование позволяет, с одной стороны, рассмотреть шахтные воды как ресурс, на базе которого можно создать альтернативное производство и получать прибыль, с другой стороны снизить вредное влияние на гидросферу.

*Целью* данной работы является оценка перспектив использования шахтных вод ликвидируемых угольных шахт для производства минеральной воды.

#### **Изложение основного материала исследований.**

*Состав и свойства минеральных вод.* Существует большое разнообразие природных вод, которые считаются минеральными, из-за чего сложно определить, какая вода может действительно называться «минеральной» [1]. Термин «минеральные воды» появился в литературе в начале XVI века. В 1911 году в г. Наугейме (Германия) на совещании бальнеологов было решено считать минеральной такую воду, в которой содержание твердых растворенных веществ составляет более 1 г/дм<sup>3</sup>, или в которой содержатся углекислый газ и другие ценные ингредиенты, или с температурой выше 20°C [2].

Этот критерий общей минерализации (1 г/дм<sup>3</sup>) для минеральных вод не имел научного обоснования и был установлен произвольно, однако на практике он применяется многими странами и сегодня.

В настоящее время под термином «питьевые минеральные воды» понимают, как правило, природные подземные воды, характеризующиеся наличием определённых минеральных солей, газов, органических веществ и других химических соединений, обладающие специфическими химико-физическими и другими свойствами и оказывающие вследствие этого лечебное воздействие при внутреннем или наружном (ванны, ингаляции и т.д.) употреблении.

В Украине питьевые воды бутылочного разлива регламентируются ДСТУ 878-93 «Води мінеральні питні. Технічні умови» и ДСТУ 42.10-02-96 «Води мінеральні лікувальні. Технічні умови» [3, 4].

В зависимости от концентрации солей, природные минеральные воды делят на:

- столовые (иногда – пресные), минеральные воды, пригодные для ежедневного применения без каких-либо показаний с солесодержанием не более 1 г/л;
- слабоминерализованные - 1-2 г/л (относят и к столовым, и лечебно-столовым);

- лечебно-столовые (солончатые) – с солесодержанием от 1 до 10 г/л.

Достоинством лечебно-столовых минеральных вод является их многофункциональность: их можно употреблять как столовый напиток или систематически - для лечения по назначению врача.

*Физико-химический состав шахтных вод.* Шахтные воды имеют сложный состав, основные компоненты которого можно подразделить на следующие группы:

- взвешенные вещества и механические примеси, состоящие преимущественно из мелких частиц угля и породы;
- минеральные вещества, представленные в основном хлоридами и сульфатами различных металлов;
- тяжелые металлы, присутствующие в шахтных водах вследствие выщелачивания из горных пород и представленные в виде солей;
- органические примеси (нефтепродукты, фенолы);
- бактерии.

В качестве *объекта исследования* выбраны шахтные воды угледобывающих предприятий ГХК «Селидовуголь» и ПАО «ДТЭК Павлоградуголь». В табл. 1 приведены фактические среднегодовые концентрации основных загрязняющих веществ в шахтных водах. Из данных таблицы видно, что после глубокой очистки и спецподготовки возможно их использование для приготовления минеральной воды. Основными химическими ингредиентами шахтных вод являются сульфаты и хлориды, составляющие 50-70% от общего количества сухого остатка. Содержание сульфатов в шахтных водах колеблется в пределах 384-1732 мг/дм<sup>3</sup>, хлоридов – 367-14800 мг/дм<sup>3</sup>.

В табл. 2 приведен химический состав наиболее широко представленных в Украине лечебно-профилактических минеральных вод, которые реализуются через торговую сеть, а также используются в лечебно-профилактических заведениях. Данные воды отличаются диапазоном минерализации 300-12000 мг/дм<sup>3</sup>, что и определяет направление их использования. Высокие концентрации хлоридов (500-1900 мг/дм<sup>3</sup>) содержатся в минеральных водах «Джерела Царичанки», «Миргородская», «Ессентуки №4», «Поляна квасова», а максимальные концентрации сульфатов (100-1200 мг/дм<sup>3</sup>) присутствуют в водах «Золотой колодец», «Новоазовская», «Нарзан», «Миргородская».

Таблица 1

Фактические среднегодовые концентрации загрязняющих веществ в шахтных водах шахт ГХК «Селидовуголь» и ПАО «ДТЭК Павлоградуголь»

Наименование предприятия	Содержание основных загрязняющих веществ, мг/дм <sup>3</sup>				
	Взвеш. в-ва	Хлориды	Сульфаты	Железо	Сухой остаток
Шахты ГХК «Селидовуголь»:					
Шахта «Украина»	20	467	1732	3,62	3426
Шахта «Россия»	15,5	367	1678	н/д	3230
Шахта «№ 1-3 Новогородовская»	7,5	554	1395	н/д	3460
Шахта №2 «Новогородовская»	12,5	401	1378	н/д	4225

Шахты ПАО «ДТЭК Павлоградуголь»:					
Ш. «Западно-Донбасская»	80	14800	408	0,1	24948
Ш. «Павлоградская»	211	1500	384	0,3	2330
Ш. «Терновская»	156	3600	400	0,11	4700

Таблица 2

Химический состав некоторых минеральных вод, мг/дм<sup>3</sup>

Наименование и тип минеральной воды	А Н И О Н Ы:			К А Т И О Н Ы:			Общая минерализация
	НСО <sup>3-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Сl <sup>-</sup>	Na <sup>+</sup> +K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	
«Карпатська Джерельна», природная столовая гидрокарбонатная кальциевая вода	100-450	<100	<50	<50	50-200	<50	300-800
«Джерела Царичанки», гидрокарбонатно-хлоридно-натриевая вода	200-400	<100	500-800	400-700	<25	<25	1000-2000
«Золотой колодец», минеральная природная вода	300-600	500-1200	120-320	125-375	160-350	50-150	1000-2500
«Новоазовская», Хлоридно-гидрокарбонатнонатриевая вода	300-600	100-300	300-500	300-700	<50	<50	1300-1800
«Нарзан», гидрокарбонатная натриевая вода	1500-2000	300-500	100-150	Na <sup>+</sup> 130-200	300-400	80-120	2,0-3,0
«Миргородская», минеральная природная хлоридная натриевая вода	300-400	200-350	1600	900-1200	50	25	2500-3500
«Боржоми», природная лечебно-столовая, гидрокарбонатная натриевая вода	3500-5000	<10	250-500	только Na <sup>+</sup> 1000-2000	20-150	20-150	5000 - 7500
«Ессентуки №4», минеральная лечебно-столовая вода	3600-4500	<25	1500-1900	2500-2900	<150	<75	8000-10000
«Поляна квасова» природная лечебно-столовая, гидрокарбонатная натриевая, борная вода	4500-8000	<25	300-600	1500-3000	70-150	<50	6500-12000

*Технология очистки шахтной воды до стандартов питьевого качества.*  
Сопоставляя данные табл. 1 и 2, можно сделать вывод, что шахтные воды после

соответствующей очистки вполне пригодны для производства минеральных вод определенного химического состава, а ликвидированная шахта может стать объектом разработки и использования нового природного ресурса. При этом необходимо частично решить наиболее актуальную экологическую проблему деминерализации шахтных вод и обосновать целесообразность технологии водоподготовки.

Обобщенную схему очистки и специальной подготовки шахтной воды можно представить в виде следующих этапов:

- предварительная обработка и очистка от взвешенных веществ с использованием существующих на промплощадке шахты поверхностных отстойников шахтных вод;
- доведение качества воды до безопасного состояния, и ее дальнейшее промышленное использование в технологических процессах;
- доведение качества воды до безопасного состояния для биоценоза (в случае сброса в гидрографическую сеть) с использованием реагентной очистки и обеззараживания;
- доведение качества воды до требований и стандартов питьевого назначения с использованием методов глубокой очистки и обеззараживания;
- направленное формирование химического состава очищенной воды и придание ей особенных, в том числе и лечебно-профилактических свойств посредством добавления или извлечения химических компонентов [5].

Наряду с основными методами и технологиями очистки вода может подвергаться серебрению, ультрафиолетовой обработке, озонированию, омагничиванию и другим видам обработки.

На рис.1 представлена схема очистки и водоподготовки шахтных вод для изготовления и промышленного разлива минеральной воды. Все аппараты очистки, обеззараживания и водоподготовки шахтных вод размещаются в здании поверхностного технологического комплекса шахты. В предлагаемой схеме задействованы поверхностные отстойники шахтных вод, в которых осуществляется первичная очистка от механических примесей.

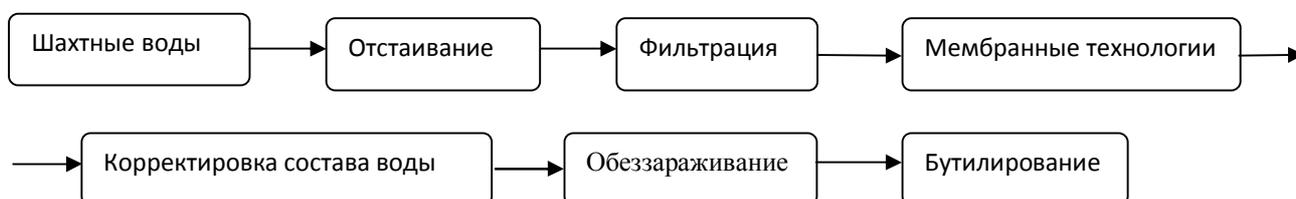


Рис.1. Схема технологического процесса получения минеральной воды из шахтных вод

Предварительная очистка исходной воды от взвесей необходима для обеспечения эффективной и надежной работы всей технологической аппаратуры. Содержание взвешенных веществ в опресняемой воде должно отвечать нормам, принятым для питьевой воды (1,5 мг/л). Такой уровень осветления достигается коагуляцией взвесей (сульфатом алюминия  $Al_2(SO_4)_3$  или другими реагентами) с последующим осаждением и фильтрацией. Наиболее эконо-

мичными являются скорые песчаные фильтры тонкой очистки, которые полностью очищают воду от взвесей, а также от некоторых органических и неорганических соединений.

Мембранные технологии, такие как ультрафильтрация, микрофильтрация, обратный осмос, являются наиболее эффективными методами очистки воды, поэтому они получили широкое практическое применение. Себестоимость очистки 1 м<sup>3</sup> воды подобными методами составляет 0,04-0,05\$ США. Мембранные методы имеют ряд преимуществ:

- низкая энергоемкость способа, по сравнению с известными методами деминерализации, поскольку вода не претерпевает фазовых превращений (испарения или замораживания);

- высокая эффективность способа, благодаря высокой (96%) селективности мембран, особенно полиамидных, устойчивых к гидролизу в широком диапазоне рН от 4 до 11;

- отсутствие (благодаря низкой температуре процесса, разделения смесей, близкой к температуре окружающей среды) следов разложения или полимеризации компонентов, содержащихся в смесях;

- полная бактерицидная обработка воды, благодаря малости диаметра пор мембран, не пропускающих бактерии;

- простота технологической схемы, легко поддающаяся автоматизации, малая площадь, занимаемая установками;

- технически простой контроль качества очищенной воды (например, по ее удаленной электропроводности);

- низкие эксплуатационные затраты.

Хотя капитальные затраты на реализацию способа обратного осмоса относительно велики, однако в перспективе имеют тенденцию к снижению благодаря действию следующих факторов. Во-первых, поскольку мембранные технологии получают все большее развитие в мировой практике не только для очистки воды, но также для достижения других целей в химической, электронной, фармацевтической, пищевой и других отраслях промышленности, то неизбежно прогрессирующее развитие техники способа, что позволяет прогнозировать совершенствование и удешевление его конструктивных элементов, в том числе производства пока еще дорогостоящих мембран. Во-вторых, как известно, с увеличением производительности обратноосмотических установок капитальные затраты также существенно снижаются. Это означает, что на практике необходимо стремиться к сооружению не индивидуальных (по отдельным шахтам) деминерализационных установок, а «кустовых», т.е. для групп (от двух до четырех шахт). В-третьих, в процессе работы низкие эксплуатационные расходы при использовании метода обратного осмоса способствует быстрой окупаемости установки [6].

Для очистки от органических веществ можно применять методы глубокой физико-химической очистки с использованием высокоэффективных адсорбентов или биофильтры. Данный этап является селективным и может применяться как альтернатива относительно дорогостоящим технологиям

мембранной очистки в зависимости от наличия органического загрязнения воды и направления дальнейшего водопользования.

В условиях ликвидированной шахты, работающей в режиме постоянного водоотлива, с течением времени уровень загрязненности откачиваемых на поверхность шахтных вод будет снижаться в результате минимизации техногенного загрязнения водоносных горизонтов. Предположительно, химический состав воды станет аналогичным естественному фону, а органическое и бактериальное загрязнение будет сведено к минимуму. Тогда, наиболее значимыми этапами технологии обработки шахтной воды будут механическая очистка от взвесей и обеззараживание при сохранении уникального ионного состава вод. Однако при необходимости корректировки ионного состава до необходимых стандартов качества питьевой воды потребуются применение дорогостоящих физико-химических методов, например умягчения, обратного осмоса, ионного обмена и др., что приведет к увеличению себестоимости водоочистки и по экономическим соображениям будет нецелесообразно. Поэтому, в схеме, представленной на рис. 1, корректировка состава воды должна быть сведена к минимуму.

Заключительным этапом обработки шахтных вод является обеззараживание с целью устранения бактериального загрязнения. Обеззараживание ультрафиолетовым излучением в настоящее время является передовой технологией дезинфекции промышленных сточных вод. При этом обеспечивается высокая эффективность, низкие капитальные вложения и эксплуатационные расходы, а также безопасность процесса обработки воды. Для обеззараживания воды используется бактерицидное излучение ртутных ламп низкого давления типа ДБ-60, ДРБ-60. При их эксплуатации в водной среде не образуются токсичные продукты, что выгодно отличает данный тип обеззараживания от традиционного хлорирования. Специалистами ГНИПИ «Химтехнология» (г. Северодонецк) разработаны и выпускаются опытные станции и малогабаритные установки типа «Луч-500» и «Луч-1000», которые позволяют эффективно решать проблему дезинфекции шахтных вод. Среднегодовая стоимость обработки 1000 м<sup>3</sup> шахтных вод такими установками обойдется предприятию в 5,6-8,0 грн (1,24-1,77\$ США). Стоимость водопогружной УФ-установки типа «Луч» производительностью 450 м<sup>3</sup>/час составляет 77 тыс.грн., в то время как для строительства хлораторной станции понадобится 140 тыс.грн. без учета ее последующей комплектности дорогостоящим оборудованием (газоанализаторы и газосигнализаторы) и расходными материалами.

После стадии обеззараживания шахтная вода должна пройти окончательную обработку по формированию химического состава. Исходя из целей получения минеральной воды определенного состава, в очищенную воду добавляются определенные минеральные компоненты. В результате вода приобретает специфические свойства, которые позволят использовать ее в лечебно-оздоровительных целях. Заключительным этапом технологического процесса производства минеральной воды является ее бутилирование.

Таким образом, очистка шахтных вод для нужд питьевого водоснабжения, в частности производства минеральной воды, рассматривается не только как вариант природоохранного мероприятия, но и как альтернативное направление хозяйственной деятельности в горнодобывающих регионах. При этом, технических проблем, связанных с использованием дорогих методов деминерализации и корректировки ионного состава воды, можно избежать, если применять вышеописанную технологию для слабоминерализованных подземных вод. По мнению автора, наибольшую экономическую привлекательность будут иметь проекты по реструктуризации и комплексному использованию инфраструктуры поверхностного комплекса действующих и ликвидируемых угольных шахт, в которых предусмотрены системы отдельного водоотлива нормативно чистых (условно пресных) и загрязненных (минерализованных) шахтных вод.

**Выводы.** При осуществлении вышеописанной технологии обработки шахтных вод возможно достигнуть следующих результатов:

- создание альтернативного производства и частичное решение социальной проблемы, связанной с трудоустройством высвобождающихся работников шахты;
- уменьшение или полное прекращение сброса загрязненных шахтных вод в гидрографическую сеть;
- получение прибыли за счет реализации минеральной воды.

#### Список литературы

1. Обіюх Н.М. Правові аспекти використання природних мінеральних вод в Україні / Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України // Серія: Право Збірник наукових праць, 2011. - Вип. 165, ч.1. - .
2. Байцар Р.І., Круглова О.А. Розмежування різновидів мінеральної води у вітчизняних стандартах / Вісник Національного університету "Львівська політехніка", 2008. - №608.
3. ДСТУ 878-93 «Води мінеральні питні. Технічні умови» / Держспоживстандарт України. - 1993. - 90 с.
4. ДСТУ 42.10-02-96 «Води мінеральні лікувальні. Технічні умови» / Держспоживстандарт України. - 1994. - 96 с.
5. Кононенко Н.А. Проблемы и перспективы очистки вод от ксенобиотиков // Матеріали міжнародної науково-практичної конференції "Оцінка екологічного стану навколишнього середовища при реструктуризації вугільної промисловості. Методи захисту довкілля". – Київ, 1999. – С. 113-116.
6. Матлак Е.С., Огородник Е.Л., Саенко Л.И. Анализ проблемы деминерализации шахтных вод и перспективных направлений ее решения / Проблемы екології. - Загальнодержавний науково-технічний журнал.- Донецьк: ДонНТУ. - №1-2,2011.- С. 3-11.

*Рекомендовано до публікації д.т.н. В.Є. Колесником  
Надійшла до редакції 22.10.2012*