

**И.В. Шадрюнова, Н.Н. Орехова, М.Е. Громов, М.С. Стефунько**  
**ФОРМИРОВАНИЕ КОМПЛЕКСА МЕРОПРИЯТИЙ**  
**ОЧИСТКИ ТЕХНОГЕННЫХ ВОД**

Спецификой технологического процесса добычи и переработки колчеданных руд является образование жидких отходов – кислых дебалансных загрязненных вод, являющимися основными поставщиками тяжелых металлов в окружающую среду. Ежегодно в природные водные объекты бассейна реки Урал сбрасываются миллионы кубических метров «загрязненных, недостаточно – очищенных сточных вод» с высоким содержанием тяжелых металлов 2-го и 3-го класса опасности. Происходит ухудшение состояния водных объектов как среды обитания для живых организмов. Проводимые на горно-перерабатывающих предприятиях мероприятия очистки не обеспечивают экологических норм для водных объектов рыбохозяйственного назначения. В связи с этим научная разработка и совершенствование мероприятий очистки техногенных вод до нормативного качества является актуальной проблемой. Для обеспечения экологически приемлемого качества вод, сбрасываемых в природные водные объекты, необходим комплексный подход, учитывающий изменяющиеся во времени условия поступления загрязненных вод, в частности количественный и качественный состав примесей техногенных потоков. Формирование эффективного комплекса мероприятий для достижения нормативных показателей качества воды предусматривает управление техногенными потоками и возможно на базе существующих способов очистки сточных вод от тяжелых металлов.

Ключевые слова: очистка техногенных вод, извлечение тяжелых металлов, очищенные воды, интерактивный выбор, сточные воды, технологическая схема, компонент.

---

Спецификой технологического процесса добычи колчеданных руд является образование жидких отходов – кислых дебалансных загрязненных вод: дренажных и инфильтрационных – в западной литературе называемых acid mine drainage (AMD). Воды являются основными поставщиками тяжелых металлов в окружающую среду. Длительное интенсивное горнопромышленное освоение данных месторождений наносит существенный ущерб гидросфере региона. Экологический ущерб от сброса AMD в поверхностные водотоки бассейна реки Урал оценивается в несколько десятков миллиардов рублей в год. Помимо расходов на возмещение экологического ущерба предприятия несут убытки из-за потери со сбросом части ценных компонентов. Ежегодно в природные

водные объекты бассейна реки Урал сбрасываются миллионы кубических метров «загрязненных, недостаточно – очищенных сточных вод» (табл. 1), с высоким содержанием тяжелых металлов 2-го и 3-го класса опасности, превышающих ПДК в десятки раз (табл. 2).

Влияние антропогенного воздействия сточных вод на малые реки является очень важным элементом при оценке состояния речной системы в целом. В природных водотоках, подверженных антропогенному загрязнению, наряду с низкой водообильностью, континентальным засолением почв, происходит накопление меди, цинка, железа, марганца и других металлов 2-го и 3-го классов опасности и ухудшение состояния водных объектов как среды обитания для живых организмов.

Таблица 1

**Сброс сточных вод горными предприятиями [2]**

Предприятие	2011 г., млн м <sup>3</sup>	2012 г., млн м <sup>3</sup>	2013 г., млн м <sup>3</sup>
ОАО «Учалинский ГОК»	н/д	7,9	6,80
ОАО «Сибайский филиал УГОК»	0,86	0,81	2,60
ООО «Башкирская медь»	0,77	0,59	1,74

Таблица 2

**Показатели превышения норм ПДК тяжелых металлов в сточных водах горных предприятий**

	ОАО «Учалинский ГОК», 2013 г.	ЗАО «Бурибаевский ГОК», 2013 г.	ОАО «Сибайский ГОК», 2009 г.	ОАО «Башкирское шахто-проходческое управление», 2013 г.
Fe	н/д	1320 ПДК	216 ПДК	н/д
Cu	42 ПДК	15500 ПДК	3718 ПДК	159 ПДК
Zn	5 ПДК	1060 ПДК	3230 ПДК	660 ПДК
Mn	137 ПДК	2060 ПДК	680 ПДК	40 ПДК

В связи с этим научная разработка и совершенствование мероприятий очистки техногенных вод до нормативного качества вод рыбохозяйственного назначения является актуальной проблемой, имеющей социальное значение.

При разработке медноколчеданных месторождений на всех этапах технологического процесса образуются сточные воды различные по своему химическому составу и концентрации загрязняющих веществ:

- Сточные воды обогатительных фабрик входят в систему оборотного водоснабжения через хвостохранилища. Химические элементы в хвостохранилищах присутствуют в высоких концентрациях и геохимически подвижной форме. Экологический ущерб связан с инфильтрацией в подземные и поверхностные водотоки.

- Карьерные и шахтные воды характеризуются широким диапазоном рН среды, и загрязнены взвешенными минеральными, глинистыми и пылевидными частицами, тяжелыми металлами.

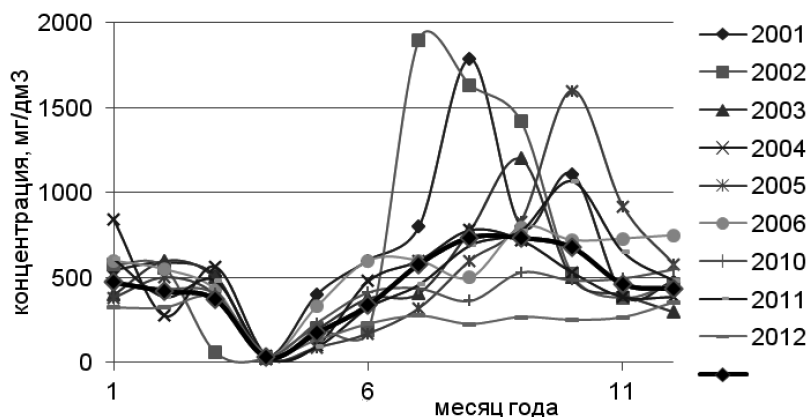
- Подоотвальные воды, образующиеся при инфильтрации атмосфер-

ных осадков через тело отвалов, с высоким содержанием тяжелых металлов представляют наибольшую экологическую опасность.

- Атмосферные осадки. Талые и ливневые сточные воды с промплощадок отличаются высокой степенью загрязненности тяжелых металлов.

Общая минерализация техногенных вод на медно-колчеданных месторождениях Южного Урала доходит до 64 г/дм<sup>3</sup>; рН среды варьирует от нейтральной до очень кислой (до 1,75) с высокими концентрациями микроэлементов халькофильной группы. Воды являются поликомпонентными, с различным соотношением металлов в водах. Характеризуются нестабильностью качества этих вод во времени. Прослеживается четкая тенденция изменения концентрации тяжелых металлов в сточных водах по сезонам, в связи с климатическими факторами (рисунок).

На сегодняшний день разработано множество методов очистки сточных вод, обеспечивающих необходимые нормативные показатели, однако внедрение на горно-перерабатывающее



**Сезонные изменения концентрации цинка в подотвальных водах Учалинского ГОК**

предприятие в большинстве случаев является невозможно реализовать с технической или экономической точки зрения. На действующих горнодобывающих предприятиях производят очистку сточных вод от цветных металлов и корректировку кислотности. При отведении рудничных и подотвальных вод горных предприятий основной практикой является их смешение рудничных и подотвальных потоков и аккумуляция в открытых накопительях с последующей подачей на очистные сооружения. Используются методы осаждения, сорбции, ионной флотации, фильтрации, коагуляции и другие. Несмотря на достаточно высокий процент очистки от тяжелых металлов, проводимые мероприятия не обеспечивают полной очистки сточных вод поступающих в гидросферу до существующих экологических норм для водных объектов рыбохозяйственного назначения.

Существующие технологические схемы статичны и не предусматривают изменяющиеся условия поступления загрязненных вод, в частности количественный и качественный состав примесей техногенных потоков.

На основании вышесказанного можно заключить следующее: для обеспечения экологически приемлемого

качества вод, сбрасываемых в природные водные объекты, необходим комплексный подход, учитывающий специфику техногенных вод.

Формирование эффективного комплекса мероприятий для достижения нормативных показателей качества воды возможно на базе существующих способов очистки сточных вод от тяжелых металлов. Анализ обширной информации о методах извлечения металлов из растворов, очистки вод и характеристиках вод позволяет говорить о том, что для каждого метода извлечения металлов существует область наиболее эффективного применения. Основным критерием выбора способа очистки должна являться концентрация металлов в потоке. Кроме того, технологическая схема очистки сточных вод должна предусматривать управление техногенными потоками.

Регулировать соотношение металлов возможно благодаря смешиванию техногенных вод, а также смешиванию жидких и твердых отходов:

- смешение потоков, различных по концентрации компонентов приводит к усреднению качества вод;
- смешение твердых и жидких отходов способствует взаимному обогащению и улучшению показателей извлечения ценных компонентов.

Для формирования комплекса мероприятий очистки техногенных вод создана и подана заявка на патент программы для ЭВМ «Интерактивный выбор комплекса мероприятий для очистки сточных вод горно-перерабатывающего предприятия».

Идея заключается в комбинировании в произвольном порядке технологических процессов без проведения экспериментов на практике для подбора оптимальной последовательности процессов очистки и смешения вод, которое обеспечит наилучшие показатели эффективности очистки вод. Исходными данными являются расход воды  $Q$ , м<sup>3</sup>/ч и концентрация компонентов  $C_i$ , мг/дм<sup>3</sup> в техногенных потоках. Продуктами являются извлеченные компоненты и очищенные воды. Расчет производится на основе законов сохранения масс воды и масс примесей по каждому компоненту отдельно. В основе программы лежит два типа операций: смешение потоков и разделение твердую фазу – извлеченные компоненты и жидкую фазу – очищенную воду. Операциями разделения являются традиционные на горно-перерабатывающих предприятиях технологические процессы очистки.

Формально задача выбора сценария сводится к выбору состава мероприятий, обеспечивающих заданное качество воды, то есть с концентрацией тяжелых металлов ниже ПДК. Главным положительным моментом является расчет возможности смешения вод на любых этапах, что позволяет регулировать соотношение металлов в потоке и способствует рациональному и эффективному извлечению металлов. При этом можно смешивать 3 и более потоков. Принцип программы основан на разделении твердых и жидких фаз, это дает возможность расчета не только техногенных потоков между собой, но и смешения твердых и жидких отходов, что положительно сказыва-

ется на показателях извлечения. При этом на какой-либо стадии возможно получение дополнительного товарного продукта. Поэтому данная программа может использоваться не только с целью расчета эффективности очистки вод, но и с целью расчета для извлечения ценных компонентов. Алгоритм интерактивного формирования комплекса мероприятий для очистки техногенных вод является универсальным и подходит для всех горно-перерабатывающих предприятий.

### **Заключение**

Месторождения медноколчеданных руд являются потенциальным источником загрязнения гидросферы химическими элементами. В настоящий момент существующие технологии не обеспечивают очистку вод до требуемого экологическими стандартами качества, а внедрение новых является технически невыполнимо или экономически нецелесообразно. Установленная специфика формирования техногенных вод: различие концентрации и соотношения компонентов в различных потоках, сезонная изменчивость качественно-количественных показателей, требует учета при разработке технологических схем очистки сточных вод.

Для снижения нагрузки на гидросферу от недостаточно очищенных сточных вод и получения экологического эффекта необходимо использовать комплексный подход формирования мероприятий очистки сточных вод.

Разработанная компьютерная программа позволяет рассчитать путем последовательной реализации этапов, эффективность очистки при комбинировании в произвольном порядке технологических процессов и сформировать рациональную технологическую схему очистки сточных вод для конкретного горно-перерабатывающего предприятия.

1. Белан Л.Н. Об экологической опасности колчеданных месторождений // Вестник ОГУ. – 2006. – № 4. Апрель. – С. 115–120

2. Зелинская Е.В. Эколого-экономические аспекты комплексного использования подземных рассолов // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2003. – № 8. – С. 236–239.

3. Государственный доклад о состоянии природных ресурсов и окружающей среды республики Башкортостан. Министерство природопользования и экологии республики Башкортостан. 2011, 2012, 2013.

4. Орехова Н.Н. Рациональное использование водных ресурсов. – Магнитогорск: МГТУ, 2004. – 105 с.

5. Смирнова Т.П. Роль химико-биологических факторов в формировании экологического состояния малых рек в зоне влияния горно-обогатительных комбинатов. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата химических наук. – Казань, 2009.

6. Шадрунова И.В., Орехова Н.Н. Извлечение цветных металлов из гидроминеральных ресурсов: теория и практика. Монография. – Магнитогорск, 2009. – 180 с.

7. Шадрунова И.В., Орехова Н.Н., Медяник Н.Л. Ресурсосберегающие технологии переработки техногенных вод горных предприятий // Чистая вода: проблемы и решения. – 2011. – № 1–2. – С. 71–77. **ТАБ**

### КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Шадрунова Ирина Владимировна – доктор технических наук, профессор, заведующая отделом, e-mail: shadrunova\_@mail.ru, ИПКОН РАН,

Орехова Наталья Николаевна – кандидат технических наук, доцент, e-mail: nn\_orehova@mail.ru, МГТУ им. Носова,

Громов Михаил Евгеньевич – ведущий инженер, e-mail: mg@ipkonran.ru, ИПКОН РАН,

Стефунько Мария Сергеевна – ведущий инженер, e-mail: maria-stefunko@yandex.ru, ИПКОН РАН.

UDC 504.062

### FORMATION OF A COMPLEX OF MEASURES CLEANING INDUSTRIAL WASTE

Shadrunova I.V.<sup>1</sup>, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of Department, e-mail: shadrunova\_@mail.ru, Orekhova N.N., Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor, e-mail: nn\_orehova@mail.ru, Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosov, 455000, Magnitogorsk, Russia,

Gromov M.E.<sup>1</sup>, Leading Engineer, e-mail: mg@ipkonran.ru,

Stefunko M.S.<sup>1</sup>, Leading Engineer, e-mail: maria-stefunko@yandex.ru,

<sup>1</sup> Institute of Problems of Comprehensive Exploitation of Mineral Resources of Russian Academy of Sciences, 111020, Moscow, Russia.

*The specifics of the process of extraction and processing pyrite ores is the formation of liquid waste – unbalanced acidic waste water, is a major supplier of heavy metals in the environment. Every year in natural water bodies Ural River Basin dumped millions of cubic meters of "pollution, not enough – treated wastewater" with a high content of heavy metals of the 2nd and 3rd class of danger. There is deterioration of water bodies as a habitat for living organisms. Conducted on mining and processing enterprises cleaning activities do not provide environmental standards for water bodies for fishery purposes. In this regard, scientific development and improvement activities cleaning industrial waste waters to the standard of quality is an important issue. To ensure environmentally acceptable quality water discharged into natural water bodies, requires an integrated approach that takes into account the time-varying conditions of admission of polluted water, in particular qualitative and quantitative composition of impurities technological flows. Formation of an effective set of measures to achieve the standard indicators of water quality management provides technological flows and possibly on the basis of existing methods of sewage treatment from heavy metals.*

*Key words: cleaning industrial waste waters, the extraction of heavy metals, purified water, an interactive selection, wastewater, process flow diagram, the component.*

### REFERENCES

1. Belan L.N. Vestnik OGU. 2006, no 4. Апрель, pp. 115–120

2. Zelinskaya E.V. Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten'. 2003, no 8, pp. 236–239.

3. Gosudarstvennyi doklad o sostoyanii prirodnnykh resursov i okruzhayushchei sredy respubliky Bashkortostan (National Report on the State of Natural Resources and Environment of the Republic of Bashkortostan). Ministerstvo prirodopol'zovaniya i ekologii respubliky Bashkortostan. 2011, 2012, 2013.

4. Orekhova N.N. *Ratsional'noe ispol'zovanie vodnykh resursov* (Rational use of water resources), Magnitogorsk, MGTU, 2004, 105 p.

5. Smirnova T.P. *Rol' khimiko-biologicheskikh faktorov v formirovaniy ekologicheskogo sostoyaniya malyykh rek v zone vliyaniya gorno-obogatitel'nykh kombinatov* (The role of chemical and biological factors in the formation of the ecological state of small rivers in the zone of influence of mining works), Candidate's thesis, Kazan, 2009.

6. Shadrinova I.V., Orekhova N.N. *Izvlechenie tsvetnykh metallov iz gidromineral'nykh resursov: teoriya i praktika*. Monografiya (Removing the non-ferrous metals from hydro resources: Theory and Practice. Monograph), Magnitogorsk, 2009, 180 p.

7. Shadrinova I.V., Orekhova N.N., Medyanik N.L. *Chistaya voda: problemy i resheniya*. 2011, no 1–2, pp. 71–77.



---

## ОТДЕЛЬНЫЕ СТАТЬИ ГОРНОГО ИНФОРМАЦИОННО-АНАЛИТИЧЕСКОГО БЮЛЛЕТЕНЯ (СПЕЦИАЛЬНЫЙ ВЫПУСК)

### АЭРОЛОГИЧЕСКАЯ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ УГОЛЬНЫХ ШАХТ И РАЗРЕЗОВ

Баловцев Сергей Владимирович<sup>1</sup> – кандидат технических наук, доцент, e-mail: Balovcev@yandex.ru, Лебедев Владимир Сергеевич<sup>2</sup> – доктор геолого-минералогических наук, профессор, e-mail: vslebed@yandex.ru,

Скопинцева Ольга Васильевна<sup>1</sup> – доктор технических наук, доцент, e-mail: skopintseva54@mail.ru, Кондюрин О.И.<sup>2</sup> – кандидат геолого-минералогических наук, доцент, e-mail: skopintseva54@mail.ru, Вертинский А.С.<sup>1</sup> – аспирант, e-mail: vert5@mail.ru,

<sup>1</sup> МГИ НИТУ «МИСиС»,

<sup>2</sup> Российский государственный геологоразведочный университет им. С. Орджоникидзе (МГРИ-РГГРУ).

Рассмотрены горнотехнические, горно-геологические и организационно-технические факторы, влияющие в отдельности на аэрологическую и энергетическую безопасность горных предприятий. Приведен метод оценки и управления аэрологическим риском аварий на выемочных участках угольных шахт, позволяющий прогнозировать последствия принятых организационно-технических решений. Исследованы условия, состав и содержание тяжелых углеводородов, выделяющихся из углей одинаковых марок Кузнецкого и Донецкого угольных бассейнов. Приведены данные по микротрещиноватости углей из высокогазоносных пластов, опасные по взрывам пыли. Дана условная классификация трещин по зиянию и экспериментальные данные по соотношению трещин в угле. Представлены проблемы нелегальной добычи угля, которая негативно влияет на окружающую среду и ведется с грубыми нарушениями правил безопасности; незаконного обогащения и незаконного перемещения угля через таможенную границу.

Ключевые слова: энергетическая стратегия России, экспорт угля, экспортный потенциал угольной отрасли, информационно-аналитическое обеспечение, незаконная добыча угля, контрабанда.

### AEROLOGICAL AND ENERGY SECURITY OF COAL MINES AND COLLIERIES

Balovtsev S.V.<sup>1</sup>, Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor, Lebedev V.S.<sup>2</sup>, Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Professor, e-mail: vslebed@yandex.ru,

Skopintseva O.V.<sup>1</sup>, Doctor of Technical Sciences, Assistant Professor, Condurin O.I.<sup>2</sup>, Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, Professor, Vertinskiy A.S.<sup>1</sup>, Graduate Student, e-mail: vert5@mail.ru,

<sup>1</sup> Mining Institute, National University of Science and Technology «MISIS», 119049, Moscow, Russia.

<sup>2</sup> Russian State Geological Prospecting University named after Sergo Ordzhonikidze (MGRI-RSGPU), Moscow, Russia,

*Reviewed geotechnical, geological and technical factors affecting separately on upper and energy security of mining enterprises. The method of assessment and management of upper risk of accidents on the working areas of coal mines, allowing to predict the consequences of organizational and technical solutions. The investigated conditions, the composition and content of heavy hydrocarbons released from coals of the same types of Donetsk and Kuznetsk coal basins. The data on microcracking of coal from gas-bearing formations, hazardous dust explosions. Given the conditional classification of fractures according to the gaping and experimental data on the ratio of cracks in the coal. The paper presents the problem of illegal mining of coal, which has a negative impact on the environment and is carried out with gross violations of safety regulations; illicit enrichment and illegal movement of coal through the customs border.*

Key words: Russia's energy strategy, coal exports, the export potential of the coal industry, information and analytical support, illegal coal mining, smuggling.