

**И.В. Шадрунова, Н.Н. Орехова, М.Е. Громов,
М.С. Стефунько**

АЛГОРИТМ ИНТЕРАКТИВНОГО ФОРМИРОВАНИЯ КОМПЛЕКСА МЕРОПРИЯТИЙ ДЛЯ ОЧИСТКИ ТЕХНОГЕННЫХ ВОД

При разработке медноколчеданных месторождений на всех этапах технологического процесса образуются сточные воды различные по своему химическому составу и концентрации загрязняющих веществ. Техногенные воды являются одним из наиболее активным отходом горно-перерабатывающего производства и содержат тяжелые металлы в высоких концентрациях, соизмеримые с содержанием в рудах. Проводимые мероприятия очистки не обеспечивают экологических норм для водных объектов рыбохозяйственного назначения. Сточные воды горно-перерабатывающих предприятий недостаточно очищены и загрязняют гидросферу региона. Происходит накопление тяжелых металлов 2-го и 3-го классов опасности и ухудшение состояния водных объектов как среды обитания для живых организмов. В связи с этим научная разработка и совершенствование мероприятий очистки техногенных вод до нормативного качества является актуальной проблемой. Для снижения нагрузки на гидросферу и получения экологического эффекта предлагается использовать алгоритм интерактивного формирования комплекса мероприятий для очистки техногенных вод. Это позволит оптимально организовать процесс очистки сточных вод по существующим технологиям без дополнительных капитальных затрат для конкретного горно-перерабатывающего предприятия с учетом всей специфики технологических процессов. Алгоритм является универсальным и подходит для всех горно-перерабатывающих предприятий.

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

Длительное интенсивное горно-промышленное освоение медноколчеданных месторождений приводит к тому, что ежегодно в природные водные объекты сбрасываются миллионы кубических метров «загрязненных, недостаточно очищенных сточных вод», с высоким содержанием тяжелых металлов 2-го и 3-го класса опасности, превышающих ПДК в десятки раз. 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, карьерные и шахтные воды,

подоотвальные воды, талые и ливневые сточные воды с промплощадок. На действующих горнодобывающих предприятиях производят очистку сточных вод от цветных металлов и корректировку кислотности. Тем не менее, проводимые мероприятий не обеспечивают 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.

Для обеспечения экологически приемлемого качества вод, сбрасываемых

в природные водные объекты, необходим комплексный подход, учитывающий специфику формирования техногенных вод. Прежде всего, речь идет о многокомпонентности вод и вариативностью соотношения компонентов в водах, а также изменчивости качества этих вод во времени. Прослеживается четкая тенденция изменения концентрации тяжелых металлов в сточных водах по сезонам, в связи с климатическими факторами. Учитывая, что для каждого метода извлечения металлов существует область наиболее эффективного применения, можно выбрать наиболее рациональный сценарий проведения комплекса мероприятий очистки.

Для реализации этой задачи создана и подана заявка на патент, программа для ЭВМ «Интерактивный выбор комплекса мероприятий для очистки сточных вод горно-перерабатывающего предприятия».

Программа предназначена для формирования наиболее эффективного комплекса мероприятий для достижения нормативных показателей качества воды на базе существующих способов очистки сточных вод горно-перерабатывающих предприятий от тяжелых металлов. Расчет производится на основе законов сохранения масс воды и масс примесей.

В основе программы лежит два типа операций: смешение потоков и разделение на твердую фазу – извлеченные компоненты и жидкую фазу – очищенную воду. 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. Установлено влияние смешения техногенных вод на показатели извлечения металлов. Смешение техногенных потоков с различной концентрацией элементов приводит к усреднению, что положительно сказывается и на качестве очистки техногенных вод. При этом расчет ведется по каждому компоненту отдельно. Исходными и итоговыми данными при операции смешения являются: Объем техногенных вод Q , м³ и концентрация компонентов C_i , г/м³ в техногенных потоках (рис. 1).

Второй тип операций – это извлечение компонента из воды в осадок (рис. 2). Исходными данными также являются расход воды Q , м³/ч и концентрация компонентов C_i , мг/дм³ в техногенных потоках. Операциями разделения являются традиционные на горно-перерабатывающих предприятиях технологические процессы очистки: отстаивание 45 мин, нейтрализация

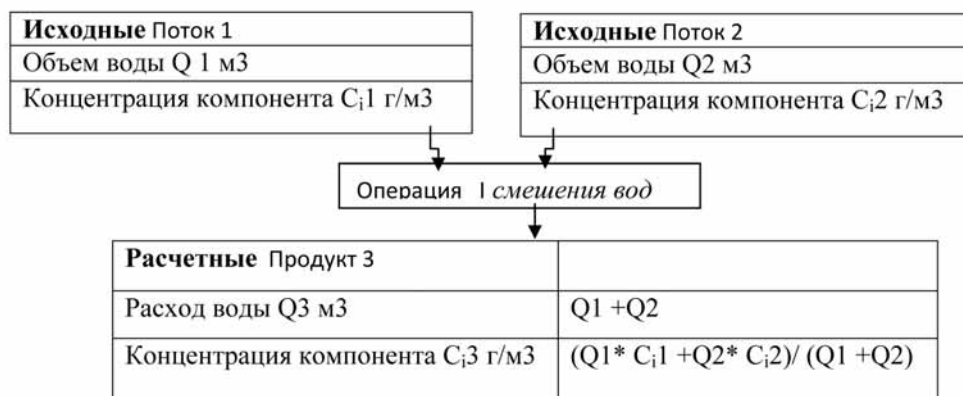


Рис. 1. Операция смешения вод

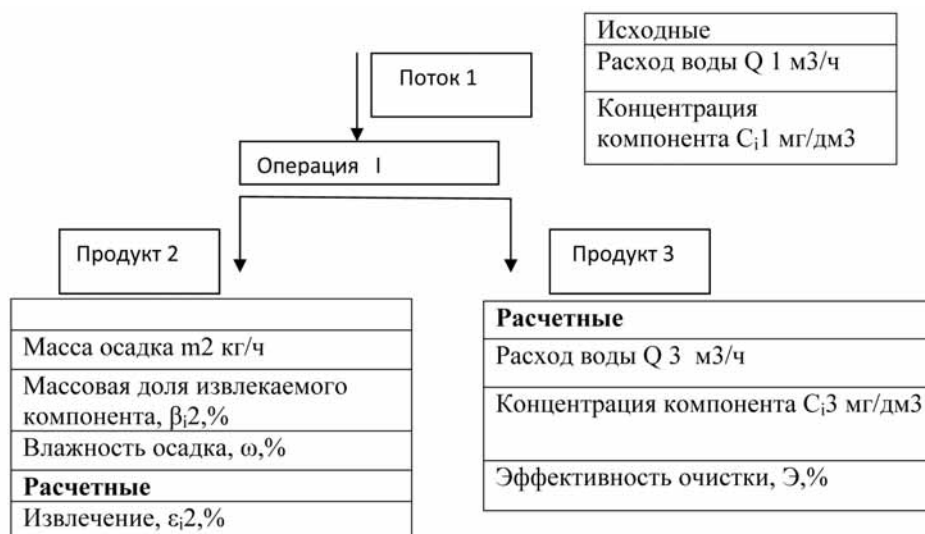


Рис. 2. Операция извлечения ценного компонента из техногенных вод в осадок

осаждение, сорбция на КФГМ (фильтрование через керамический гранулированный материал), гальванокоагуляция 4–6 мин и 15–17 мин. Продуктами являются извлеченные компоненты и очищенные воды.

Алгоритм расчета операции разделения

1. Вычислим массу каждого компонента, кг

$$m = \frac{C}{Q \cdot 1000}$$

2. Рассчитываем массу каждого компонента в осадке m_{2i}, кг

$$m_{2i} = \frac{\varepsilon \cdot m(\text{исх.})}{100}$$

Показатель извлечения металлов для каждой операции очистки техногенных вод взяты на основе эмпирических исследований.

3. Рассчитываем объем воды в жидкой фазе

$$Q_3 = \frac{Q_1 - (m_2 \cdot \omega) / (100 - \omega)}{1000}$$

Показатель влажности осадка ω, % задается технологией

Рассчитываем концентрация компонентов в жидкой фазе

$$C = \frac{Q_1 \cdot C_1 \cdot 1000 - \beta_2 \cdot m_2 \cdot 10}{Q_3 \cdot 1000}$$

Массовая доля извлекаемого компонента, β₂, %

$$\beta_2 = \frac{m_{2i}}{M_{\text{прод}}} \cdot 100\%$$

M_{прод.} – общая масса осадка

4. Оцениваем эффективность очистки Э, % по каждому компоненту

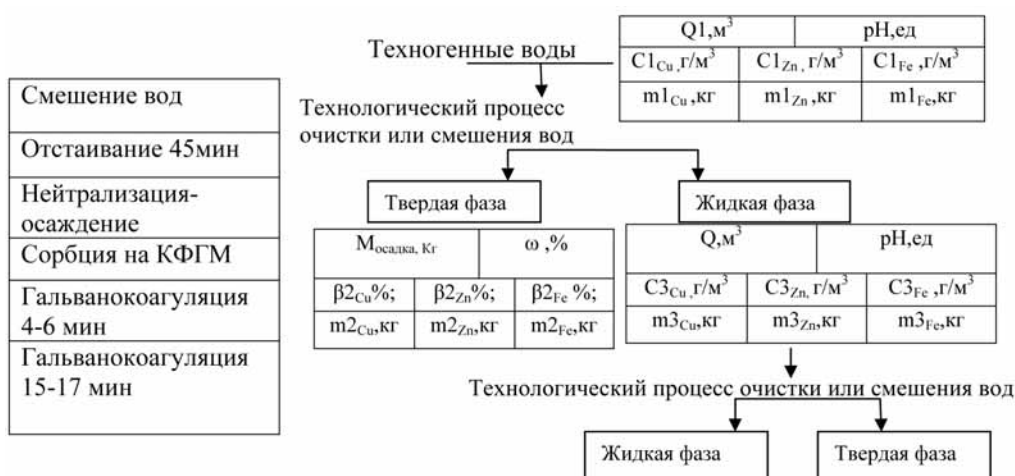
$$\varepsilon = \frac{(C_{i1} - C_{i3})}{C_{i1}} \cdot 100\%$$

Или выход каждого металла γ, %

$$\gamma = \frac{m_{2i}}{m_{1i}} \cdot 100\%$$

После расчета каждой операции сравниваем концентрацию компонентов в жидкой фазе с нормами ПДК, при неудовлетворительном результате добавляем следующие операции.

Идея заключается в комбинировании в произвольном порядке техноло-



$M_{\text{прод}}$, кг –масса осадка; ω , % -влажность осадка; β_{Cu} %–массовая доля металла; C_{Cu} , г/м³ –концентрация металла; m_{Cu} , кг –масса металла; pH , ед. –водородный показатель техногенных вод; V , м³–объем техногенных вод.

Рис. 3. Алгоритм интерактивного формирования комплекса мероприятий для очистки техногенных вод

гических процессов, без проведения экспериментов на практике для подбора оптимальной последовательности процессов очистки и смешения

вод, которое обеспечит наилучшие показатели эффективности очистки вод. Определяющим критерием является концентрация компонентов.

Рис. 4. Скриншот 1. Экран выбора последовательности операций

Формально задача выбора сценария сводится к выбору состава мероприятий, обеспечивающих заданное качество воды, то есть с концентрацией тяжелых металлов ниже ПДК рыбохозяйственного назначения. Принцип программы основан на разделении твердых и жидких фаз, что дает возможность расчета не только техногенных потоков между собой, но и смешения твердых и жидких отходов, что способствует взаимному обогащению и улучшению показателей извлечения. При этом возможно на каком-либо этапе получение дополнительного товарного продукта, используя метод гальванокоагуляции с гальванопарой «железо-углерод» для селективного выделения меди и цинка. В связи с этим данная программа может использоваться не только с целью расчета эффективности очистки вод, но и с целью расчета для извлечения ценных компонентов (рис. 3).

Основные функции программы:

- расчет твердой и жидкой фазы техногенного потока;
- расчет твердой и жидкой фазы после технологических процессов очистки или смешения;
- расчет смешения техногенных потоков на любых этапах;

- возможность добавления новых технологических процессов;
- возможность смены очередности технологических процессов;
- возможность добавления компонентов в расчет;
- возможность расчета смешения твердых отходов с техногенными водами;
- возможность смешения 3 и более потоков.

Алгоритм интерактивного формирования комплекса мероприятий для очистки техногенных вод является универсальным и подходит для всех горно-перерабатывающих предприятий.

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.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Государственный доклад о состоянии природных ресурсов и окружающей среды республики Башкортостан. Министерство природопользования и экологии республики Башкортостан. 2011, 2012, 2013.
2. Смирнова Т.П. Роль химико-биологических факторов в формировании экологического состояния малых рек в зоне влияния горно-обогатительных комбинатов. Автореф. дисс. на соискание уч. ст. кандидата химических наук. – Казань, 2009.
3. Орехова Н.Н. Рациональное использование водных ресурсов. – Магнитогорск: МГТУ, 2004. – 105 с.
4. Шадрунова И.В., Орехова Н.Н. Извлечение цветных металлов из гидроминеральных ресурсов: теория и практика. Монография. – Магнитогорск, 2009. – 180 с.
5. Белан Л.Н. Об экологической опасности колчеданных месторождений // Вестник ОГУ. – 2006. – № 4, апрель. – С. 115–120.
6. Зелинская Е.В., Киселева М.А., Шевцов А.С., Базылева А.В., Бычкова Г.М., Лисс Н.Ю. Анализ мероприятий по снижению содержания взвешенных веществ в сточных водах дражных полигонов при переработке алмазосодержащих песков // Горный информационно-аналитический бюллетень. ОВ15. – 2009. – С. 237–246.
7. Медяник Н.Л. Количественная оценка активности собирателей для флотационного извлечения катионов цветных металлов из техногенных рудничных вод // Горный информационно-аналитический бюллетень. ОВ14. – 2009. – С. 210–214. **ГИАЭ**

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Шадрунова Ирина Владимировна – доктор технических наук, профессор, чл. корр. РАН, заведующая отделом, ИПКОН РАН, e-mail: shadrunova_@mail.ru,
Орехова Наталья Николаевна – кандидат технических наук, доцент, e-mail: nn_orehova@mail.ru,
Магнитогорский государственный технический университет им Г.И. Носова,
Громов Михаил Евгеньевич – ведущий инженер, ИПКОН РАН, e-mail: mg@ipkonran.ru,
Стефунько Мария Сергеевна – ведущий инженер, ИПКОН РАН, e-mail: maria-stefunko@yandex.ru.

UDC 004.021

ALGORITHM OF INTERACTIVE FORMATION A COMPLEX OF MEASURES FOR CLEANING INDUSTRIAL WASTE WATERS

Shadrunova I.V.¹, Doctor of Technical Sciences, Professor, Corresponding Member of Russian Academy of Natural Sciences, Head of Department, e-mail: shadrunova_@mail.ru,
Orekhova N.N., Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor, e-mail: n_orehova@mail.ru,
Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosov, 455000, Magnitogorsk, Russia,
Gromov M.E.¹, Leading Engineer, e-mail: mg@ipkonran.ru,
Stefunko M.S.¹, Leading Engineer, e-mail: maria-stefunko@yandex.ru,
¹ Institute of Problems of Comprehensive Exploitation of Mineral Resources of Russian Academy of Sciences, 111020, Moscow, Russia.

In the development of chalcopyrite deposits at all stages of the process waste water produced different in their chemical composition and concentration of pollutants. Man-made water are one of the most active mining waste-processing plant and contain heavy metals in high concentrations commensurate with the content of the ores. Providing cleaning activities do not provide environmental standards for water bodies for fishery purposes. Wastewater mining and processing enterprises is not enough cleaned and contaminate the hydrosphere region. Heavy metals occurs 1 st and 2nd classes of danger and degradation of water bodies as a living environment for living organisms. In this regard, scientific development and improvement activities cleaning industrial waste waters to the standard of quality is an important issue. To reduce the load on the hydrosphere and obtaining environmental effects of the proposed algorithm to use interactive form a package of measures to clean up industrial waste waters. This will allow optimally organize the process of wastewater treatment on existing technologies without additional capital expenditure for a particular mining and processing enterprise, taking into account all the specific processes. The algorithm is versatile and suitable for all mining and processing enterprises

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

REFERENCES

1. Gosudarstvennyy doklad o sostoyanii prirodnkh resursov i okruzhayushchey sredy respubliki Bashkortostan. Ministerstvo prirodopol'zovaniya i ekologii respubliki Bashkortostan (National Report on the State of Natural Resources and Environment of the Republic of Bashkortostan. Ministry of Nature and Environment of the Republic of Bashkortostan), 2011, 2012, 2013.
2. Smirnova T.P. Rol' khimiko-biologicheskikh faktorov v formirovaniy ekologicheskogo sostoyaniya mal'kh 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.
3. Orekhova N.N. Ratsional'noe ispol'zovanie vodnykh resursov (Rational use of water resources), Magnitogorsk, MGTU, 2004, 105 p.
4. Shadrunova 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.
5. Belan L.N. Vestnik Orenburgskogo gosudarstvennogo universiteta. 2006, no 4, апрель, pp. 115–120
6. Zelinskaya E.V., Kiseleva M.A., Shevtsov A.S., Bazyleva A.V., Bychkova G.M., Liss N.Yu. Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'. Special issue 15. 2009, pp. 237–246.
7. Medyanik N.L. Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'. Special issue 14. 2009, pp. 210–214.