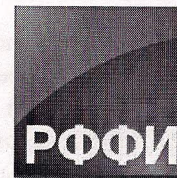


МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
«ЮЖНЫЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Институт наук о Земле

Российский фонд фундаментальных исследований

Ростовское региональное отделение Русского географического общества



«Экологические проблемы. Взгляд в будущее»

Сборник трудов

VIII Международной научно-практической конференции

(БП и СОТ «Витязь» – БП и СОТ «Лиманчик»,
8–11 сентября 2017 г.)

Под редакцией профессора Ю. А. Федорова

Посвящается Году экологии в Российской Федерации

*Посвящается 70-летию юбилею Ростовского областного отделения
Русского географического общества*

Ростов-на-Дону – Таганрог
2017

УДК [504+574](063)
ББК 20.1я43
Э40

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, грант № 17-05-20426

Редакционная коллегия:

А. Н. Кузнецов, П. Фатталь, В. Т. Богучарсков, С. А. Бузмаков, Д. Н. Гарькуша,
С. А. Добролюбов, И. В. Доценко, А. А. Зимовец, В. Н. Зырянов, К. Кабанн,
Н. С. Касимов, В. Б. Коробов, А. П. Лисицын, П. М. Лурье, Т. М. Минкина,
А. В. Михайленко, О. В. Назаренко, В. А. Савицкий, К. В. Чистяков, В. П. Шевченко

Э40 **Экологические проблемы. Взгляд в будущее** : сб. трудов
VIII Международной научно-практической конференции (БП и СОТ
«Витязь» – БП и СОТ «Лиманчик», 8–11 сентября 2017 г.) / Южный
федеральный университет ; под ред. Ю. А. Федорова. – Ростов-на-
Дону ; Таганрог : Издательство Южного федерального университета,
2017. – 552 с.

ISBN 978-5-9275-2470-9

В настоящем издании представлены работы, посвященные изучению современного состояния и развития водных и наземных природных и природно-техногенных комплексов в условиях хозяйственной деятельности человека. Важное место среди них занимают исследования биогеохимических особенностей миграции, аккумуляции и трансформации органических и неорганических поллютантов в поверхностных и подземных водах, донных отложениях, почвах и живых организмах. Особое внимание уделено социально-экономическим аспектам экологии, а также вопросам экологического воспитания и образования. Наряду с работами известных ученых, в сборнике традиционно широко представлены научные исследования студентов и аспирантов.

Сборник трудов конференции рассчитан на ученых, преподавателей, аспирантов, магистрантов и бакалавров, специализирующихся в различных областях науки, связанных с экологией, охраной окружающей среды и природопользованием.

Труды конференции публикуются в авторской редакции.

УДК [504+574](063)
ББК 20.1я43

ISBN 978-5-9275-2470-9

© Южный федеральный университет, 2017

MINISTRY OF EDUCATION AND SCIENCE
OF THE RUSSIAN FEDERATION
Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education
“SOUTHERN FEDERAL UNIVERSITY”

Institute of Earth Sciences

Russian Foundation for Basic Research

Rostov Regional Branch of the Russian Geographical Society



“Ecological Problems. A Look into the Future”

Proceedings
of the VIII International Scientific and Practical Conference

(recreation center “Vityaz” – recreation center “Limanchik”,
8–11 September 2017)

Edited by Professor Yu. A. Fedorov

Dedicated to the Year of Ecology in the Russian Federation

*Dedicated to the 70th anniversary of the Rostov Regional Branch
of the Russian Geographical Society*

Rostov-on-Don – Taganrog
2017

Значения индекса экологической опасности позволяют говорить о высокой токсичности проб ДО, отобранных в феврале 2016 г. В то же время, стоит отметить, что ситуация коренным образом изменилась после прохождения тайфуна «Лайонрок». Осенью содержание металлов в ДО существенно снизилось по сравнению с данными зимней съемки, тем не менее, о полном очищении залива речи не идет.

Список литературы

1. Ващенко М.А., Жадан П.М., Альмяшова Т.Н., Ковалева А.Л., Слинько Е.Н. Оценка уровня загрязнения донных осадков Амурского залива (Японское море) и их потенциальной токсичности // Биология моря. 2010. Т. 36, №5. С. 354-361.
2. Израэль Ю.А. Цыбань А.В. Антропогенная экология. - Л.: Гидрометеиздат, 1989. 519 с.
3. Качество морских вод по гидрохимическим показателям. Ежегодник 2010. / Под ред. Коршенко А.Н. - Обнинск: Артифлекс, 2011. 196 с.
4. Мишуков В.Ф., Калинин В.В., Плотинов В.В., Войццкий А.В. Влияние дамбинга загрязненных грунтов на экологическое состояние прибрежных вод г. Владивостока // Известия ТИНРО. 2009. Т. 159. С. 243-256.
5. Раков В.А. Распространение и экология устричных рифов северной части Амурского залива // Экологический вестник. 2010. № 4. С. 21-30.
6. Емелин П.О. Значение факторов среды для морского бентосного населения // Проблемы экологии морского шельфа. Материалы Всероссийской научной молодежной конференции-школы. - Владивосток: Издательский дом ДВФУ, 2010. С. 33-40.
7. Христофорова Н.К. Современное состояние залива Петра Великого Японского моря. - Владивосток: Издательский дом ДВФУ, 2012. 440 с.
8. РД 52.18.685-2006 «Методические указания. Определение массовой доли металлов в пробах почв и донных отложениях. Методика выполнения измерений методом атомно-абсорбционной спектрофотометрии. - М.: Росгидромет, 2007. 40 с.
9. РД 52.10.556-95 Методические указания. Определение загрязняющих веществ в пробах морских донных отложений и взвеси. - М.: Росгидромет, 1996. 50 с.
10. ПНД Ф 16.1.2.2.3.17-98 Методика выполнения измерений массовой доли (валового содержания) мышьяка и сурьмы в твердых сыпучих материалах атомно-абсорбционным методом с предварительной генерацией гидридов. - М.: Гос. комитет РФ по охр. ОС, 2004. 25 с.
11. Clarkson M.O., Kasemann S.A., Wood R.A. Ocean acidification and the Permo-Triassic mass extinction // Science. 2015. Vol. 348, № 6231. P. 229-232.
12. Hall J., Diaz R. J., Gruber N., Wilhelmsson D. Managing ocean environments in a changing climate: sustainability and economic perspectives. - Boston, London, New York, Oxford, San Diego, San Francisco, Sydney: Elsevier, 2013. 349 p.
13. Macdonald D.D., Carr R.S., Calder F.D. Development and evaluation of sediment quality guidelines for Florida coastal waters // Springer US: Ecotoxicology 1996. № 5. P. 253-278.

ПРОГНОЗНАЯ ОЦЕНКА СОСТАВА ДРЕНАЖНЫХ ВОД ПРИ РАЗРАБОТКЕ СУЛЬФИДНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ СЕВЕРО-ВОСТОКА РОССИИ

Лубкова Т.Н., Яблонская Д.А., Шестакова Т.В., Пчелинцева Н.Ф., Николаева И.Ю.
ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова», Москва
tanya_lubkova@mail.ru

PREDICTION OF DRAINAGE WATER COMPOSITION UNDER MINING OF SULPHIDE DEPOSITS (THE NORTHEAST OF RUSSIA)

Lubkova T. N., Yablonskaya D. A., Shestakova T.V., Pchelintseva N. F., Nikolaeva I.Y.
Lomonosov Moscow State University, Moscow

Аннотация. В работе приведены прогнозные оценки состава дренажных вод в районах меднопорфировых и золотосеребряных объектов Северо-Востока России. Показано, что сульфидсодержащие породы, вмещающие медные штокверки, имеют более высокий потенциал формирования кислотного стока. В целом дренажные воды длительное время будут сохранять околонейтральные и слабощелочные значения pH и могут характеризоваться сверхнормативными содержаниями элементов, подвижных в данных условиях (Al, Cu, Mo, Mn, V, W, а также As, Sb).

Ключевые слова: кислотный дренаж, статические и кинетические тесты, состав дренажных вод

Abstract. Prediction of drainage water composition was completed applied to copper porphyry and gold-silver deposits (the Northeast of Russia). It was determined that sulphidic rocks included copper stockworks have the higher acid potential. In general, for a long time the drainage water will be characterized by a nearly neutral and alkaline pH range and high, exceeding the environmental detection limits, contents of elements mobile under these conditions (Al, Cu, Mo, Mn, V, W, and As, Sb).

Keywords: acid rock drainage (ARD), static and kinetic tests, drainage water composition

Введение. В сульфидных месторождениях сосредоточены основные запасы металлов для металлургической промышленности. Процессы взаимодействия сульфидов с агентами выветривания в зоне окисления месторождений изучены достаточно детально [3]. Известно, что они приводят к формированию природных вод с низкими значениями pH, повышенными концентрациями сульфат-иона и металлов. Аналогичные по механизмам, но значительно ускоренные процессы протекают при складировании отходов горнорудного производства на дневной поверхности. Активизация окисления сульфидсодержащих геологических материалов приводит к появлению кислых высокометалльных дренажных вод [5, 6 и др.]. Развитие процессов формирования кислотного стока, в свою очередь, обуславливает трансформацию состава природных вод и деградацию экосистемы в целом.

Прогноз изменений химического состава природных вод при разработке месторождений, таким образом, должен базироваться на анализе текущего (фоновый) состояния водных объектов и оценках потенциала кислотообразования и выщелачивания металлов (ПКВМ) из

сульфидсодержащих пород. Традиционно [5, 6 и др.] такие оценки могут быть получены по данным проведения статических и кинетических тестов, направленных на определение кислотно-основного потенциала геологических материалов, а также скоростей кислотообразования и выщелачивания из них токсичных элементов (имитация выветривания сульфидсодержащих отходов).

В данной работе приводятся результаты оценки ПКВМ для прогноза состава дренажных вод при освоении ряда перспективных рудных объектов, расположенных в Чукотском автономном округе (ЧАО, Северо-Восток России). В рамках работы исследованы вмещающие породы золотосеребряных рудопоявлений Водораздельной и Верхне-Кричальской перспективных площадей и меднопорфировых месторождений Баимской площади, включающей одноименную золото-меднорудную зону.

Объекты исследования. Лицензионные площади входят в состав Билибинского и Чаунского районов ЧАО РФ, принадлежат к районам Крайнего Севера и экономически слабо освоены. Территории относятся к континентальной области субарктического пояса в зоне сплошного распространения многолетнемерзлых пород. Рельеф - резко расчлененное альпийское среднегорье (Водораздельная площадь) и низкогорье (Баимская и Верхне-Кричальская площади), ландшафты - горно-тундровые, лесотундровые и горно-таежные ландшафтов соответственно. Территории характеризуются разветвленной гидросетью, основными источниками питания водотоков являются талые воды, атмосферные осадки и воды деятельного слоя.

Гидрогеохимические особенности вод определяются составом оруденения, условиями залегания и размерами рудных тел, которые дренируются водотоками. Кислые воды, контактирующие с пиритизированными породами, характеризуются высокими концентрациями рудных и сопутствующих элементов [1, 2]. Разработка месторождений приведет к активизации процессов окисления, что в свою очередь может повлечь за собой распространение влияния кислых дренажных вод на водотоки, не затронутые процессами оруденения.

Фактический материал. Оценка ПКВМ для прогноза трансформации состава природных вод базируется на данных исследований образцов керна вмещающих пород из скважин разведочного бурения. Отбор образцов представительных типов вмещающих пород, в соответствии с методическими рекомендациями [6], производился с учетом анализа геологических данных (перечень образцов приведен в таблице). Для исследованных пород характерны обширные гидротермальные преобразования с образованием пропилитизированных, аргиллизированных, серицитизированных и кварц-кальциевых метасоматитов. Главными сульфидными минералами являются пирит и халькопирит, а также борнит и молибденит (Баимская площадь), арсенопирит, антимонит (Верхне-Кричальская площадь), блеклые руды.

Методика исследований. Исследования образцов проводились для оценки возможности генерации кислоты вмещающими породами, скоростей окисления сульфидсодержащих материалов и выщелачивания из них токсичных элементов.

Потенциал формирования кислотного стока оценивался по результатам определения кислотно-основного баланса (Acid Base Accounting - ABA-тест) [5, 6]. В рамках ABA-теста проводили: 1) измерение pH пасты образцов, 2) анализ содержания форм серы и углерода (ИК-спектроскопия, анализатор LECO), 3) определение кислотопродуцирующего и нейтрализующего потенциалов (КП и НП), 4) расчет коэффициента потенциала нейтрализации (КПН). По результатам расчета КПН, равного отношению НП к КП была проведена классификация пород по склонности к генерации кислотного стока (PAG - потенциально

кислотопродуцирующие, Uncertain - с неопределенной способностью к генерации кислоты, Non-AG - неагидропродуцирующие породы).

В комплексе с ABA-тестом методами потенциометрии, кондуктометрии, объемного титрования, ИСП-МС/ИСП-АЭС проводилось определение основных параметров пород в водных вытяжках в статическом режиме, что позволило оценить состав дренажных вод и подвижность токсичных элементов на начальном этапе складирования геологических материалов.

Результаты ABA-теста были дополнены экспериментальным определением потенциала генерации кислоты (Net Acid Generation - NAG-тест) путем ускорения полного окисления сульфидов сильным окислителем (перекисью водорода). По результатам статических тестов были выбраны образцы геологических материалов для кинетических тестов по имитации выветривания в лабораторных условиях. Тестирование проводилось с использованием «влажных ячеек» (Humidity Cell Test) в соответствии со стандартом ASTM D5744-13, протокол В [4], либо в упрощенном виде путем последовательного экстрагирования водой.

Результаты исследований и обсуждение. Результаты статических тестов по оценке потенциала кислотообразования исследуемых вмещающих пород приведены в таблице.

Таблица. Потенциал кислотообразования вмещающих пород

Объект	Породы	pH _{пасты}	S _{сульфид} , %	C _{карб.} , %	КП		КПН= НП/КП
					кг CaCO ₃ /т		
Баимская площадь (n=23)	Монцодиориты (n=8)	7.4-8.8	6.77	0.26	211	29	0.14
	Диориты (n=8)	6.8-8.4	5.54	0.48	173	38	0.22
	Андезиты (n=4)	8.3-9.3	11.3	0.81	352	72	0.21
	Туфоалевролиты (n=3)	3.6-5.4	23.8	0.09	743	15	0.02
Верхне- Кричальская площадь (n=20)	Андезиты (n=6)	8.3-8.7	1.23	1.69	38	148	3.85
	Дацииты (n=10)	7.6-9.0	2.89	1.32	90	122	1.35
	Брекчии (n=4)	7.8-8.9	2.33	0.93	73	92	1.26
Водораздельная площадь (n=44)	Андезиты (n=16)	7.8-9.2	2.16	0.83	76	79	1.03
	Дацииты (n=8)	8.1-9.1	2.35	1.10	76	102	1.34
	Диориты (n=4)	8.5-9.0	1.45	0.81	45	82	1.82
	Брекчии (n=16)	7.7-9.1	2.36	1.00	79	89	1.13

Полученные данные свидетельствуют о высоком потенциале кислотообразования геологических материалов Баимской площади. Содержание сульфидной серы (S_{сульфид}) во вмещающих медные штокверки породах в среднем превышает 5-10% (максимально - в туфоалевролитах в зоне пиритовой оторочки рудных тел, до 32.8%). Невысокие содержания карбонатов в исследованных типах пород - 0.1-0.8% в расчете на углерод (C_{карб}) - обуславливают низкие значения НП и, соответственно, высокую склонность к генерации кислоты (значения КПН<1, все образцы классифицированы как относящиеся к категории PAG, рис.). Наиболее склонны к формированию кислотного стока туфоалевролиты, фактически сразу после их размещения на дневной поверхности будет наблюдаться кислый дренаж (pH пасты образцов 3.6-5.4). Прогноз кислотообразования подтверждается анализом фильтратов, согласно которому дренажные воды будут характеризоваться повышенной минерализацией (до 1 г/л и более), сульфатным кальциево-магниевым составом, кислыми pH (от 3.3 до 4.8) и

сверхнормативными содержаниями металлов, в 10-100 и более раз превышающих ПДК (Cu, Mo, Zn, Fe, Mn, Al и др.).

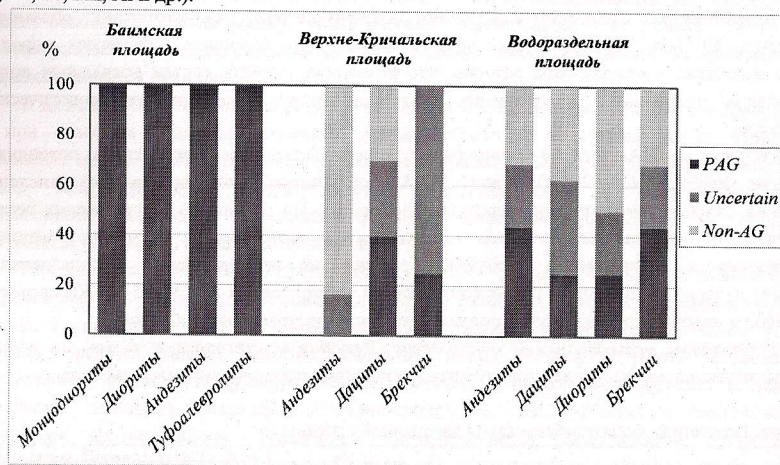


Рисунок. Процентное содержание образцов различных категорий по склонности к кислотообразованию в исследованной выборке пород

Монцодиориты, диориты и андезиты на текущий момент демонстрируют отсутствие признаков кислотообразования (pH пасты в диапазоне 6.8-9.3), однако со временем следует ожидать формирование кислых дренажных вод. Экспериментально определенные значения потенциала генерации кислоты (NAG-тест), хотя и ниже расчетных данных (153-250 и 186-394 кг CaCO₃/т соответственно), также значительно превышают НП.

Дренажные воды, по данным как статических, так и кинетических тестов (35 недель), будут сохранять околонеутральные значения pH (6.6-7.8), гидрокарбонатно-сульфатный состав. При этом концентрации Cu, Mo, Mn, реже Al могут превышать ПДК, что определяет опасность нейтрального дренажа.

Потенциал генерации кислоты вмещающими породами в районах золотосеребряных рудопроявлений значительно ниже (табл., рис.), что обусловлено более низкой сульфидностью (в среднем 1.2-2.9% сульфидной серы) при относительно высоких содержаниях нейтрализующих кислоту карбонатов (0.8-1.7% в расчете на углерод). Около 30-50% пород не склонны к генерации кислотного стока (категория Non-AG), при этом доля потенциально кислотопродуцирующих пород (PAG) варьирует в диапазоне 25-40%.

При отсутствии значительной активизации процессов окисления сульфидов буферизирующая емкость пород будет обеспечивать сохранение нейтральных и слабощелочных значений pH (7.5-8.9) и гидрокарбонатный (сульфатно-гидрокарбонатный) состав дренажных вод, что в свою очередь будет препятствовать выносу большинства токсичных элементов. Исключение составляют элементы, подвижные в околонеутральной - щелочной среде, которая создается в условиях гидролиза карбонатов и натрий-содержащих силикатов (Al, Cu, Mo, Mn, V, W, а также As, Sb при условии присутствия арсенопирита, антимонита и блеклых руд). Следует отметить, что содержания указанных элементов в фильтрах со временем, как правило, имеют тенденцию к убыванию, которая сохраняется в долгосрочном периоде.

Заключение. В результате исследований ПКВМ сульфидсодержащих пород в районах меднопорфировых и золотосеребряных месторождений и проявлений Северо-Востока РФ получены прогнозные оценки состава дренажных вод. Установлено, что вмещающие медные штокверки породы характеризуются высоким потенциалом кислотообразования, при этом складирование материалов из зон пиритовых оторочек рудных тел может обуславливать формирование кислых высокометалльных дренажных вод уже в краткосрочном периоде. В целом дренажные воды длительное время будут сохранять околонеутральные значения pH, что обуславливает более низкий потенциал выщелачивания основных металлов. Вероятность генерации кислоты породами в районах золотосеребряных рудопроявлений, в связи с их значительно более низкой сульфидностью и высокой буферизирующей емкостью, заметно ниже. Дренажные воды в условиях гидролиза натрий-содержащих силикатов и карбонатов будут характеризоваться нейтральными и слабощелочными pH и сверхнормативными содержаниями ряда элементов, подвижных в данных условиях (Al, Cu, Mo, Mn, V, W, а также As, Sb).

Список литературы

1. Лубкова Т.Н., Яблонская Д.А., Шестакова Т.В., Липатникова О.А. Состав и формы нахождения элементов в поверхностных водах Находкинского рудного поля, Чукотка // Матер. II Всерос. научн. конф. с межд. уч. "Геологическая эволюция взаимодействия воды с горными породами", 2015, с. 481-484
2. Лубкова Т.Н., Яблонская Д.А., Шестакова Т.В., Пухов В.В. Геохимические особенности состава поверхностных вод Находкинского медно-порфирового рудного поля, Чукотка // Вода: химия и экология, 2013, № 12, с. 29-34
3. Смирнов С.С. Зона окисления сульфидных месторождений. Москва, Изд-во АН СССР, 1951, 334 с.
4. ASTM D5744 – 13. Standard Test Method for Laboratory Weathering of Solid Materials Using a Humidity Cell. Copyright by ASTM International, United States. 2013, 23 p.
5. Lottermoser B.G. Mine Wastes. Characterization, Treatment and Environmental Impacts, 3rd ed. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2010, 400 pp.
6. MEND Report 1.20.1. Prediction Manual for Drainage Chemistry from Sulphidic Geologic Materials, 2009, http://www.fs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/stelprdb5336546.pdf