

Коммунарковским рудником оформлена лицензия на эту территорию и сейчас проводятся поисковые работы.

Примером успешного применения комплекса геохимических методов на основе ICP-MS может служить Турунтаевская перспективная золото-полиметаллическая площадь. Она находится в Томском районе в зоне погружения структур Кузнецкого Алатау под рыхлые отложения чехла Западно-Сибирской плиты. Территория характеризуется равнинным ландшафтом, осложнённым интенсивной аграрной деятельностью. Колчеданное оруденение представлено крутопадающими зонами кварц-карбонатных метасоматитов с существенно сфалеритовой минерализацией. Руды и породы палеозоя преобразованы в коры выветривания и перекрыты толщей обводненных рыхлых отложений мезозоя и кайнозоя мощностью около 80 м, что существенно затрудняет проведение геохимических работ.

В результате опробования почв, растительности (пырей с убранных пшеничных полей), редких водотоков, а также отбора и анализа водных вытяжек из почв установлено, что Центральный участок, в пределах которого бурением вскрыты рудные тела, сопровождается интегральной геохимической аномалией, проявленной в различных опробуемых средах, размером около 2 км в поперечнике. Кроме Центрального участка на площади выявлено 4 новых аномальных геохимических поля, позволяющих прогнозировать на площади крупное колчеданное золото-полиметаллическое месторождение.

Таким образом, применение масс-спектрометрии для анализа геологических проб существенно расширяет возможности геохимических методов поисков, повышает их эффективность, позволяет выполнить количественную оценку прогнозных ресурсов.

ГЕОХИМИЯ ФТОРА В АЗОТНЫХ ТЕРМАЛЬНЫХ ВОДАХ ЗАБАЙКАЛЬЯ И ПРОВИНЦИИ ЦЗЯНСИ (КИТАЙ)

С.Л. Шварцев^{1,2}, О.Г. Токаренко¹, Е.В. Зиппа¹, Чж. Сунь³

¹ *Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Томск, Россия,
E-mail: zev-92@mail.ru*

² *Томский филиал Института нефтегазовой геологии и геофизики им. А.А. Трофимука СО РАН,
Томск, Россия*

³ *Восточно-Китайский технологический университет, г. Наньчан, Китай,
E-mail: sunzhanxue@aliyun.com*

Аннотация. Рассчитан индекс насыщения азотных термальных вод Забайкалья с флюоритом. С учетом основных определяющих параметров установлены критерии, определяющие равновесие с данным минералом.

Abstract. The calculated saturation index nitrogen thermal waters of the Baikal region with fluorite. Taking into account the main governing parameters are established criteria that determine the equilibrium with this mineral.

Азотные термальные воды, уникальные по своему составу и обладающие весьма высоким содержанием фтора, вызывают интерес у многих исследователей. Особой темой для обсуждений являются источники фтора в термах. Данный вопрос обсуждается с середины прошлого века, но ответы на него до сих пор не получены. Ломоносов И.С. [4] считал источником фтора в термах растворы магматического генезиса (ювенильные воды). В настоящее время подавляющее большинство

исследователей придерживаются теории о вмещающих породах в качестве источников фтора. Разделяя взгляды последних и, исходя из равновесно-неравновесного состояния системы вода-порода, причиной высокого содержания фтора в термах можно считать взаимодействие воды с горными породами, в которых содержатся минералы с аномально высокими концентрациями фтора, например, флюорит [7-9]. Поэтому целью данной работы является, на примере флюорита, обосновать гипотезу о горных породах, как источнике избыточных химических элементов, в частности фтора, в азотных термальных водах.

Данные по химическому составу и описание основных гидрогеохимических особенностей были подробно изложены в работах [6, 7]. В настоящей работе приведем лишь общую характеристику азотных термальных вод Забайкалья.

Азотные термальные воды Забайкалья характеризуются низкой общей минерализацией, которая в отдельных случаях превышает 1 г/л, в среднем величина общей минерализации составляет около 0,46 г/л (таблица 1). По химическому составу, в соответствии с С.А. Щукаревым, исследуемые воды подразделяют на пять типов. Термальные воды с величиной общей минерализации до 0,6 г/л в основном относятся гидрокарбонатному натриевому, гидрокарбонатно-фторидному натриевому (уникальный переходный тип), сульфатно-гидрокарбонатному натриевому и реже гидрокарбонатно-сульфатному натриевому. Воды с более высокой минерализацией (более 0,6 г/л) являются сульфатного натриевого типа.

Таблица 1

Средний химический состав азотных термальных вод Забайкалья, мг/л [7]

Номер	Количество родников (90)	Химический тип вод	T, °C	M	pH	Ca ²⁺	F ⁻
1	23	HCO ₃ -Na	46.2	425	9.1	5.6	17
2	4	HCO ₃ -F-Na	51.6	378	9.3	7.3	32
3	10	HCO ₃ -SO ₄ -Na	43.8	356	9.1	3.0	11
4	23	SO ₄ -HCO ₃ -Na	49.0	420	8.6	7.7	10
5	30	SO ₄ -Na	48.5	627	8.3	20.0	9

По величине pH все азотные термальные воды относятся к слабощелочным и щелочным. Среднее значение величины pH варьируется в интервале от 7.9 до 10.1 единиц pH, где максимальное значение pH отмечено в источнике Солнечный.

Как было показано ранее [6], зависимость между pH и соленостью терм являются сложной, но общая тенденция заключается в том, что с ростом минерализации pH вод несколько уменьшается, что позволяет сказать о нетипичном характере данной зависимости для подавляющей части пресных и соленых вод.

Рассматриваемые термы также характеризуются преобладанием натрий-иона над ионами кальция, магния и калия, содержание которых, как правило, очень низкие. Низкие концентрации Ca²⁺ и Mg²⁺ в термах связаны с выпадением карбонатов и вторичных силикатов.

Азотные термальные воды Забайкалья богаты фтором. Так, например, в азотных термальных водах Забайкалья содержание фтора достигает 46,8 мг/л, источник Солнечный, где по химическому составу воды относятся к переходному гидрокарбонатно-фторидному натриевому типу.

Помимо азотных термальных вод Забайкалья, экстремальные содержания фтора отмечены в азотных термах в провинции Цзянси, юго-восточный Китай

[10,11]. Аналогично азотным термам Забайкалья, здесь термы являются маломинерализованными с слабощелочным рН. По химическому составу воды являются гидрокарбонатными натриевыми (табл. 2).

Таблица 2

Химический состав некоторых источников азотных термальных вод провинции Цзянси, Юго-Восточный Китай [10,11]

T, °C	M	pH	K ⁺ +Na ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	F ⁻
71	239.50	8.60	110.1	1.72	0.5	185.56	14.4	5.0	15
65	219.47	8.78	96.0	2.71	0.7	173.85	13.0	5.2	15
65	236.42	8.62	110.0	1.88	0	185.56	11.4	5.4	15
69	209.95	8.61	88.7	2.10	0.2	174.00	13.0	5.0	14

Азотные термы Забайкалья и провинции Цзянси отнюдь не являются единичными примерами аномального содержания фтора. Аналогичная картина прослеживается в азотных термальных водах различных регионов.

Ответ на вопрос об источнике фтора в азотных термальных водах вытекает из эволюции системы вода-порода в условиях ее равновесно-неравновесного состояния. В процессе непрерывного растворения одних минералов и осаждения других в природном растворе происходит постоянное изменение соотношения между химическими элементами относительно растворяемых минералов. Так, содержание Ca²⁺, которое связано с вторичными карбонатами, в растворе не растут. В свою очередь F⁻ в растворе накапливается до тех пор, пока раствор не достигнет равновесия с флюоритом.

Рассмотрим пример. В соответствии с [5] константа растворения флюорита при 50 °C равна

$$[Ca^{2+}] \cdot [F^-]^2 = 10^{-10.9} \quad (1)$$

Как было показано ранее [7], при снижении активности Ca²⁺, активность F⁻ возрастает. В условиях равновесно-неравновесного состояния системы с течением времени содержания Ca в растворе уменьшаются, а F растут. При этом, чем больше F содержат растворяемые водой минералы, тем быстрее он будет накапливаться в растворе, но после установления равновесия с минералами, F не будет накапливаться в растворе, а будет связываться вторичными образуемыми водой минералами.

Из выше сказанного следует, что избыточное содержание фтора в азотных термах косвенно отражает время эволюции системы вода-порода: чем оно больше, тем содержание его в термах выше, но это правило действует только в неравновесных условиях [7].

Теперь необходимо пояснить, при каких условиях происходит насыщение терм флюоритом. Для этой цели, в соответствии с известными методиками [1] и с использованием программного продукта HydroGeo [2] рассчитано равновесие термальных вод с флюоритом. Свободная энергия образования и растворенных химических элементов взяты из работы [1]. Для выяснения степени равновесности терм использовали индекс насыщения (SI – saturation index), который равен (2). Расчеты проводились для температур 25 °C и 100 °C.

$$SI = \lg Q/K, \quad (2)$$

где Q – квотант реакции; K – константа реакции.

На основании полученных результатов были построены диаграммы зависимостей значений индекса насыщения с флюоритом от основных

определяющих параметров (рис.1): общей минерализации (а), рН (б), F⁻ (в), температуры (г) и содержаний Ca²⁺ (д).

Следует отметить нетипичный для других минералов характер пути насыщения вод флюоритом, а именно, равновесие азотных терм с флюоритом достигается быстрее в условиях более низких температур, нежели высоких. Для насыщения флюоритом в термах должен накопиться фтор в количестве 5-15 мг/л, кальций в количестве 1-2 мг/л. При этом величина общей минерализации и рН варьируют в интервале 0,2-0,35 г/л и 9,25-9,75, соответственно. В остальных случаях термы находятся либо в около равновесном (недонасыщенном) состоянии, либо в состоянии перенасыщения.

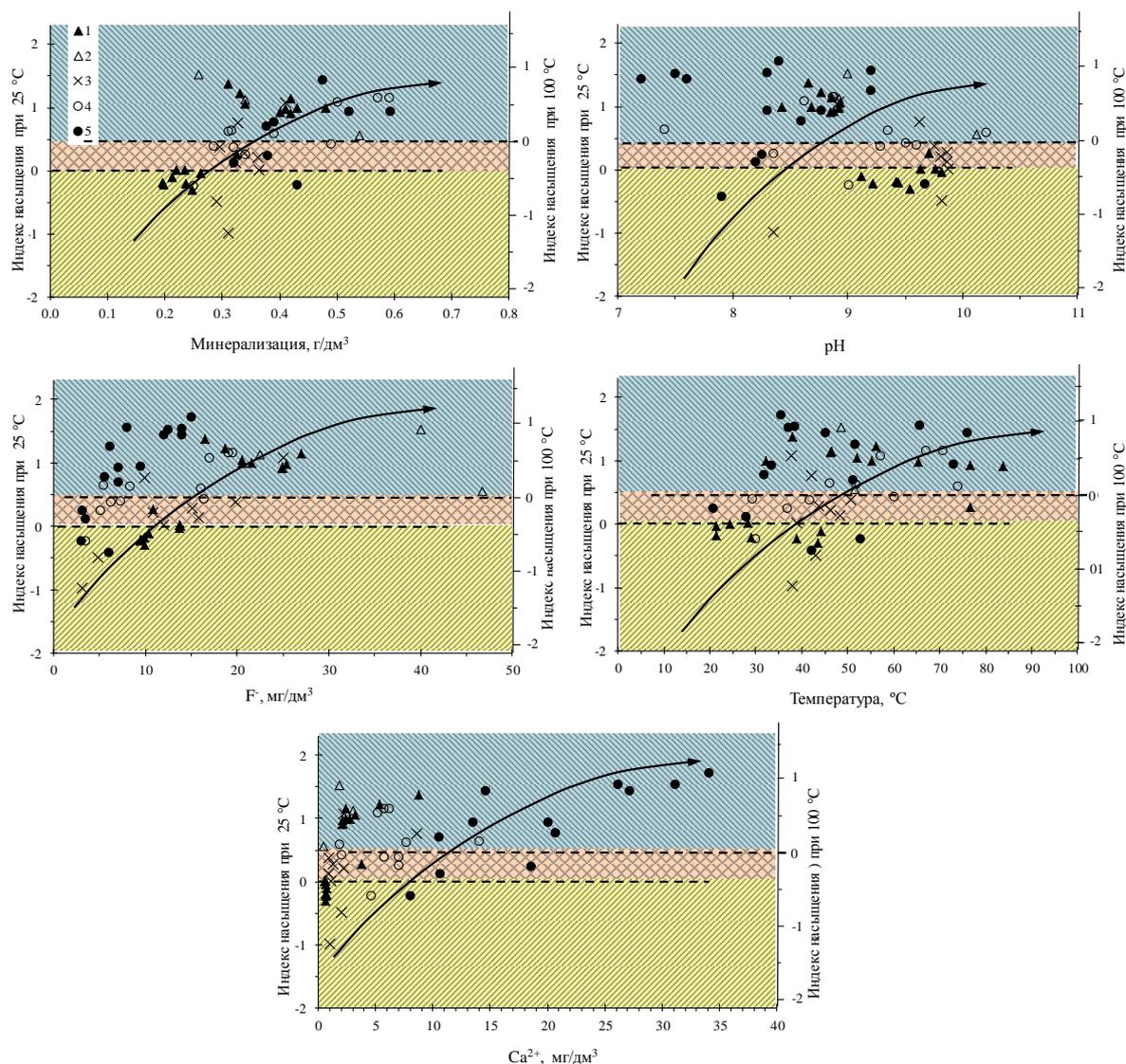


Рис.1 Зависимость значений индекса насыщения азотных терм с флюоритом от общей минерализации (а), рН (б), F⁻ (в), температуры (г) и содержаний Ca²⁺ (д).
Химические типы терм: 1 – HCO₃-Na; 2 – HCO₃-F-Na; 3 – HCO₃-SO₄-Na; 4 – SO₄-HCO₃-Na; 5 – SO₄-Na

Таким образом, азотные термальные воды Забайкалья непрерывно взаимодействуют с горными породами, образуя при этом уникальную равновесно-неравновесную систему. В процессе этого взаимодействия эволюция системы

происходит в условиях низкой концентрации кальция и высокой концентрации фтора, источником которого служат вмещающие горные породы.

Работа выполнена в рамках гранта РФФИ 15-55-53122 ГФЕН_a

Литература

1. Алексеев В.А., Рыженко Б.Н., Шварцев С.Л., Зверев В.П., Букаты М.Б., Мироненко М.В., Чарыкова М.В., Чудаев О.В. Геологическая эволюция и самоорганизация системы вода-порода. Т.1. Система вода-порода в земной коре: взаимодействие, кинетика, равновесие, моделирование. – Новосибирск: изд-во СО РАН, 2005. – 244 с.
2. Букаты М.Б. Разработка программного обеспечения для решения гидрогеологических задач // Известия ТПУ. – 305(6). – 2002. – С. 348–365.
3. Замана Л.В. Фтор в азотных термах Баунтовской группы (Северное Забайкалье) // Геология и геофизика. – 41(11). – С. 1575–1581.
4. Ломоносов И.С. Геохимия и формирование современных гидротерм Байкальской рифтовой зоны. – Новосибирск: изд-во «Наука», 1974. – 168 с.
5. Наумов Г.Б., Рыженко Б.Н., Ходаковский И.Л. Справочник термодинамических величин для геологов. – М.: Атомиздат, 1971. – 240 с.
6. Плюсин А.М., Замана Л.В., Шварцев С.Л., Токаренко О.Г., Чернявский М.К. Геохимические особенности состава азотных терм Байкальской рифтовой зоны // Геология и геофизика. – 2013. – №5. – С.647–664.
7. Шварцев С.Л., Замана Л.В., Плюсин А.М., Токаренко О.Г. Равновесие азотных терм Байкальской рифтовой зоны с минералами водовмещающих пород как основа для выявления механизмов их формирования // Геохимия. – 2015. – № 6. – С.1–14.
8. Шварцев С.Л. Гидрогеохимия зоны гипергенеза. 2-е изд., исправл. и доп. – М.: Недра, 1998. – 366с.
9. Шварцев С.Л. Взаимодействие воды с алюмосиликатными горными породами // Обзор. Геология и геофизика – 1991. – №12 – С.16–50.
10. Gongxin Chen, Guangcai Wang, Sun Zhanxue, Liu Jinhui. The isotopic and chemical characteristics of geothermal fluids from two selected hot spring areas in Jiangxi Province, SE-China // World Geochemical Congress. – 2010. – 6 p.
11. Sun Zhanxue, Gao Bai. Hydrochemistry and direct use of hot springs in Jiangxi Province, SE-China // World Geochemical Congress. – 2010. – 5 p.

ИНТЕНСИВНОСТЬ ВЫЩЕЛАЧИВАНИЯ ЛАНТАНОИДОВ ИЗ РУД МЕСТОРОЖДЕНИЯ ЛЮБОВЬ (ВОСТОЧНОЕ ЗАБАЙКАЛЬЕ) ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ТЕМПЕРАТУРНЫХ РЕЖИМАХ

Е.С. Эпова, О.В. Еремин

*Институт природных ресурсов, экологии и криологии Сибирского отделения Российской академии наук, г. Чита, Россия,
E-mail: apikur1@yandex.ru*

Аннотация. Установлена интенсивность перехода лантаноидов в растворимые формы при воздействии сернокислотного раствора на сульфидсодержащие руды месторождения Любовь. Показано влияние температурного режима и длительности выщелачивания на степень извлечения редкоземельных элементов (РЗЭ). Выявлено благоприятное влияние низких температур на миграцию лантаноидов.

Abstract. The intensity of soluble forms of lanthanides migration has been determined by sulfuric acid solution leaching of sulfide-bearing ores of Lubove deposit. The influence of temperature and leaching duration on the degree of rare earth elements (REE) extraction has been indicated. The beneficial effect of low temperatures on the migration of lanthanides has been determined.

Месторождение Любовь находится в Кыринском районе Забайкальского края около границы с Монголией и расположено в центре Любавинского рудного узла (рис. 1). В пределах Любавинского месторождения выделено шесть участков