

ЛИПОВСКАЯ РАВНОВЕСНО-НЕРАВНОВЕСНАЯ
ГИДРОГЕОХИМИЧЕСКАЯ СИСТЕМА НА СРЕДНЕМ УРАЛЕ

© 2013 г. Л. С. Табаксблат, Н. А. Бизяев

Уральский государственный горный университет
620144, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30
E-mail: bizyaevn@mail.ru

Поступила в редакцию 06.06.2013 г.

Работы, интерпретирующие обширный геохимический спектр природных вод Урала, в том числе разнообразных месторождений региона, немногочисленны. Новая парадигма о стадийности формирования состава вод при взаимодействии в системе вода–горная порода, предложенная С.Л. Шварцевым, позволила рассмотреть геохимические процессы в Липовской геотехногенной системе в стадии трансформации. Выявлено, что современный состав вод Липовской техногенной гидрогеохимической системы – это результат определенных стадий взаимодействия воды с горными породами, создавших наблюдаемое ныне равновесно-неравновесное состояние системы и определивших ее эволюцию.

Ключевые слова: гидрогеохимия, гидрогеохимическая система, моделирование, формы миграции, равновесно-неравновесная система.

В настоящее время весьма актуально изучение взаимоотношений в системе “вода–порода” для гидрогеохимических исследований в природных водах. Однако процессы взаимодействия воды и кристаллических пород на уральских объектах сейчас абсолютно не упоминаются как в программах мониторинга, так и при изучении гидрогеохимии вод.

Процессы формирования природно-техногенных гидрогеохимических систем, происходящие под воздействием различных природных и техногенных факторов, представляют интерес в научных и в практических аспектах. Эти процессы, как правило, нарушают экологическое состояние геологической и, в той или иной степени, всей окружающей среды.

Липовская, теперь уже геотехногенная (природно-антропогенная) система в Режевском районе Свердловской области, представлена отработанным месторождением силикатного никеля, переориентированным в 1990 г., после завершения отработки, как месторождение питьевых подземных вод. Главные черты гидрогеохимии этого объекта, преимущественно в техногенезе, рассмотрены в [10].

Геологический блок месторождения силикатного никеля связан с небольшими пластообразными телами серпентинитов, залегающих среди амфиболитов, гнейсов и мраморов мурзинской свиты, предположительно позднепротерозойско-кембрийского возраста. Породы инъецированы дайками аплитов и пегматитов, перекрыты отложениями мезо-кайнозоя, образуют брахисинклиналь, зажатую между Мурзинским, Адуйским и Соколовским массивами гранитов. Коренная основа гео-

техногенной системы, возникшей на месте отработанного рудного месторождения, содержит минералы: кварц, ортоклаз, микроклин, олигоклаз, биотит, пироксен, оливин, кальцит. Мезозойская латеритная рудовмещающая кора выветривания – это кора площадно-карстового типа, представлена также серпентинитом $Mg_6[Si_4O_{10}](OH)_8$, непутитом $(Ni,Mg)_6[Si_4O_{10}](OH)_8$, гетитом (лимонитом) $Fe_2O_3 \cdot nH_2O$, каолинитом $Al_4[Si_4O_{10}](OH)_8$, магнезитом $MgCO_3$, халцедоном, небольшим количеством пирита и миллерита NiS . Все они включены в базу данных для моделирования. Единственный на площади водоносный горизонт преимущественно трещинного и пластово-трещинного классов, приурочен к палеозойскому фундаменту, корам выветривания и рыхлым песчано-глинистым породам мезозоя–кайнозоя [6]. Источник химических компонентов основного (матричного) состава вод – атмосферные осадки, горные породы, частью – почвы. В сложившихся ныне гидрогеологических условиях происходит быстрое проникновение атмосферных осадков в глубины разреза, на которых исключено испарение. Это благоприятствует формированию пресных вод и их распространению практически по всему разрезу литогенной основы.

Обогащение природных вод наблюдаемым спектром химических элементов началось еще на атмогенной и биогенной стадиях формирования и продолжается ныне на литогенной стадии в системе “вода–порода”. Как и в региональном аспекте на территории Среднего Урала [2, 6 и др.] вынос солей преобладает над привносом, что определило промытость водовмещающих комплексов по все-

му разрезу. Состав подземных вод в огромной мере определяется малым временем взаимодействия воды с породами.

Фактический материал по природным водам на территории природно-антропогенной системы подробно представлен на рис. 1.

Породы, вмещающие подземные воды, неоднородны генетически и по составу: массивы мраморизованных и чистых известняков и мраморов, гранитные массивы, зоны контактов ультраосновных пород (серпентинизированных дунитов) с мраморами, породы коры выветривания. Котловины карьерных озер сложены ультраосновными и кислыми породами, котловина лишь одного озера сложена карбонатными породами; имеются карстовые западины с характерным выполнением.

Кусты водозаборных скважин (изначально созданные для водопонижения) привели к тому, что депрессия уровня в них создала усиленный приток вод к водозаборам и изменила направление их движения, приблизив к вертикальному в центральных частях локальных депрессионных воронок. В результате нарушилось естественное направление движения подземных вод, и в зоне влияния эксплуатационных водозаборов оно стало противоположным их общему уклону. За время существования депрессионной воронки в зоне ее влияния произошел перехват потоков подземных вод, ранее движущихся по естественному уклону. Частичное использование кустов водопонижительных скважин в качестве водозаборных привело к выполаживанию депрессионной воронки и затоплению карьерных выработок озерами.

После остановки горных работ начались самопроизвольные процессы, связавшие технические и природные компоненты в единую систему. Природными компонентами остаются: литооснова, водоносный горизонт и экосистема, а техническими составляющими: кусты водозаборных скважин, заброшенные скважины, автодороги и фрагментарно разбросанные остатки технической инфраструктуры, техногенные образования – карьеры, отвалы и земли, нарушенные при строительстве подъездных автодорог.

Проект рекультивации не был реализован, а попытки и рекомендации экологической реабилитации не нашли поддержки. Следствием стала деградация качества подземных вод, активизация склоновых процессов, а также преобразование прилегающих земель и водных объектов. Со временем активизировались процессы эрозии, абразии, вымывания химических элементов из карстовых заполнений.

Анализ равновесий вод Липовской системы с минералами позволяет отметить: насыщение вод по отношению к кальциту определяется по произведению растворимости его ионов в соответствии с реакцией: $\text{CaCO}_3 \leftrightarrow \text{Ca}^{2+} + \text{CO}_3^{2-}$, константа которой для температуры 25°C равна $10^{-8.34}$ [5]. Показательна не-

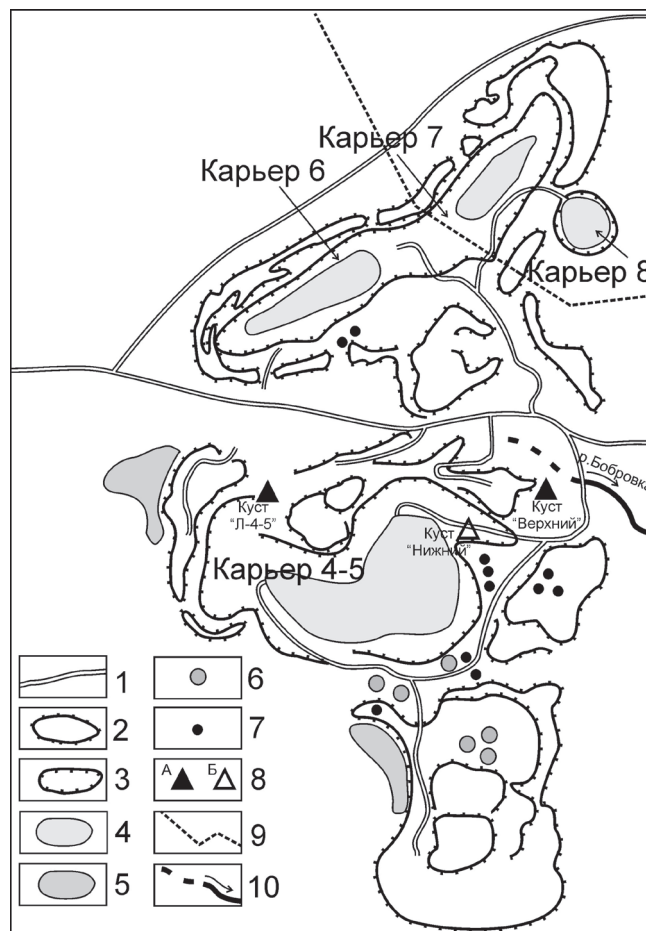


Рис. 1. Ситуационный план Липовской геотехногенной системы.

1 – автодороги, 2 – отвалы, 3 – карьерные выемки, 4 – карьерные озера, 5 – приотвальные озера, 6 – трансакумулятивные озера, 7 – автоморфные озера, 8 – кусты водозаборных скважин эксплуатируемые (А) и выведенный из работы (Б), 9 – водораздел поверхностных вод, 10 – исток р. Бобровка.

насыщенность вод к этому минералу, что объясняется весьма низкой минерализацией вод и низкой активностью иона Ca^{2+} . Насыщение вод относительно кальцита не достигается на всех глубинах опробования подземных вод в скважинах и в придонных слоях техногенных озер. Следовательно, из-за недостижимости произведений растворимости (ПР) в этой системе не образуется карбонатный геохимический барьер, на котором кальцит выпадал бы из раствора. Очевидно также, что и для сульфата кальция (ангидрита, гипса) здесь ПР также не достигается, и твердый осадок соответствующего состава не выпадает. Доминирующим в воде становится ион Na^+ , для которого в этой геохимической обстановке нет контролирующей реакции, и состав вод соответствует соотношению $\text{rHCO}_3^- > \text{rCa}^{2+} > \text{rMg}^{2+}$, то есть I (“содовому”) типу (r – эквивалентные количества ионов).

Таблица 1. Степень насыщения вод к некоторым минералам (индексы неравновесности)

Минерал	Гетит FeO(OH)	Брусит Mg(OH) ₂	Кальцит CaCO ₃	Доломит CaMg(CO ₃) ₂	Магнезит MgCO ₃	Сидерит FeCO ₃	Ангидрит CaSO ₄	Гипс CaSO ₄ ·2H ₂ O	Кремнезем (SiO ₂) _n	Диопсид Ca ₂ Mg[Si ₂ O ₆]
вход водовода	18.82	-1.93	-0.86	0.51	4.33	-2.63	4.67	2.23	-3.90	-5.84
выход водоканала	17.63	-1.48	0.41				4.82	2.38		-4.39
куст "Верхний"			-0.59				4.3	1.86		
куст Л4-5							4.65	2.21		
скважина 1	18.04	-1.49					4.55	2.11		-4.1
скважина 3	20.11	-2.02					4.52	2.07		-6.64
скважина 6	17	-1.35					4.22	1.78		-3.65
скважина 7	17.68	-1.57					4.11	1.67		-4.21
скважина К-4-5	14.24		1.37			-4.18	4.99	2.55		
Поверхностные воды										
верховое болото			-0.9		4.83	-3.62	3.47	1.03	-3.90	0.46
озеро карьера 4-5	16.01	-1.23	-0.26	1.61			4.24	1.8		
озеро карьера 6	17.24		-0.06			-2.78	4.8	2.36		
озеро карьера 7	16.91		-0.54		3.9	-3.09	4.18	1.74		
озеро карьера 8	19.12	-2.24	-0.96	-0.01		-1.52	4.8	2.36		-6.36
озеро на отвалах	16.3		0.62			-2.91	4.95	2.51		
река Бобровка			-0.07				4.54	2.1		
река Липовка	14.68		0.79			-4.23	5.28	2.84		

На эвапоритовых участках и по капиллярной кайме на берегах техногенных озер выпотевание водорастворимых солей содержит карбонаты и сульфаты. Отмечаются и отчетливые следы аутигенного минералообразования; последние, однако, не дают оснований утверждать, что вода в своей эволюции достигла равновесия, в частности, с кальцитом и доломитом (табл. 1). Из карбонатных минералов (табл. 1) в наибольшей мере воды насыщены относительно сидерита, который, учитывая состав вод (поверхностных и подземных), вероятно, в первую очередь был образован в этих условиях. Более насыщены к сидериту поверхностные воды (табл. 1).

Расчеты для выявления потенциальных форм нахождения элементов в растворе и индекса насыщения вероятных минеральных фаз в низкотемпературных водах выполнены при помощи программного комплекса HydroGeo [4]. Расчеты показали, что Fe при низких величинах pH полностью доминирует в окисленной трехвалентной форме, а сульфатные комплексы Fe весьма фрагментарны ($\text{Fe}(\text{SO}_4)_2^-$ и FeSO_4^+); что касается Cu и Ni, то они обнаружены часто в виде аквазированных нейтральных сульфатных комплексов $\text{CuSO}_4^0(\text{aq.})$ и $\text{NiSO}_4^0(\text{aq.})$. Zn выявлен в форме ZnOH^+ и проблематичного отрицательно заряженного комплекса $\text{Zn}(\text{SO}_4)_2^{2-}$.

В поверхностных водах практически все железо присутствует в виде гидроксидных разнозаряженных комплексов $\text{Fe}(\text{OH})_2^+$, $\text{Fe}(\text{OH})_4^-$, в гораздо меньшей мере – в форме нейтральных акваионов $\text{Fe}(\text{OH})_3^0(\text{aq.})$.

В целом, на объектах Липовской системы господствуют щелочные барьеры, на которых часть металлов выводится из миграционного цикла, так как непрерывно сорбируется гидроксидами. Аквазированные нейтральные сульфатные комплексы Cu и Zn – $\text{MeSO}_4^0(\text{aq.})$ и положительно заряженный CuHSO_3^+ продолжают сохраняться, но в весьма малых ($\leq 0.00\text{н\%}$) количествах. Разбавление техногенных вод фоновыми (реки, ручьи, скважины) способствует активному выпадению гидроксидов Fe и Al, а Cu и Fe проявлены большей частью как положительно заряженные MeSO_4^0 и/или нейтральные аквазированные ионы $\text{MeSO}_4^0(\text{aq.})$. В ситуации смешения "разубоженных" подземных вод с поверхностными резко снизилась концентрация металлов, основную долю мигрирующей в воде матрицы приняли на себя макрокомпоненты вод в форме свободных ионов (от 0.н–н до н·10%).

Развитие взглядов и результаты исследований с позиции геологической эволюции системы водопорода [7–9] свидетельствуют, что процессы миграции и связанные с ними вариации содержаний химических элементов и их соединений в водах контролируются характером равновесий. Расчет равновесий вод Липовской системы с минералами осуществлялся по методике Томского политехнического университета [3, 4] с помощью вышеупомянуто-

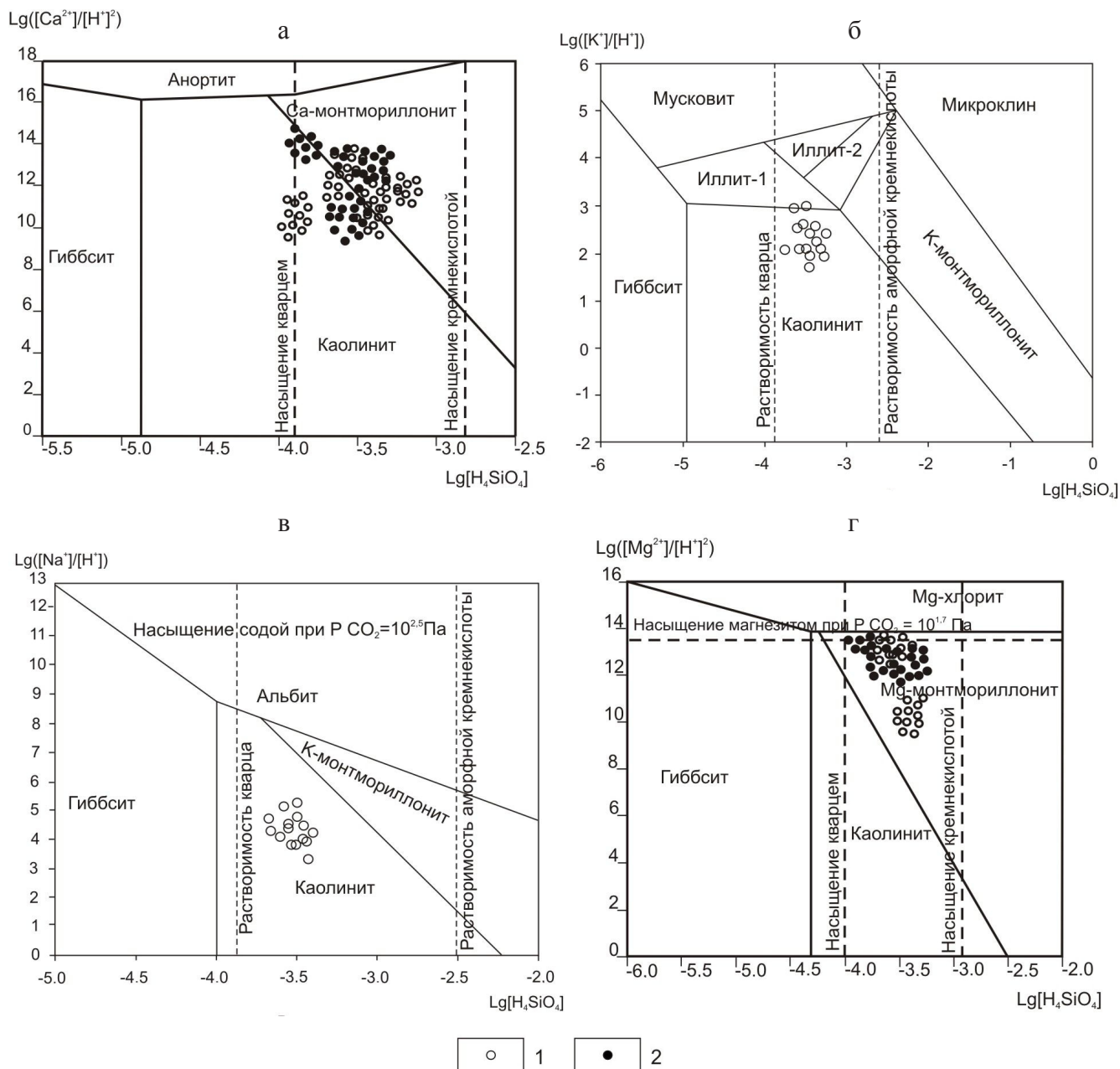


Рис. 2. Диаграммы равновесия в системе вода–алюмосиликаты при стандартных условиях, с нанесением данных по составу вод Липовской геотехногенной системы.

а – система $\text{HCl-H}_2\text{O-Al}_2\text{O}_3\text{-CaO-CO}_2\text{-SiO}_2$, б – система $\text{HCl-H}_2\text{O-Al}_2\text{O}_3\text{-K}_2\text{O-CO}_2\text{-SiO}_2$, в – система $\text{HCl-H}_2\text{O-Al}_2\text{O}_3\text{-Na}_2\text{O-CO}_2\text{-SiO}_2$, г – система $\text{HCl-H}_2\text{O-Al}_2\text{O}_3\text{-MgO-CO}_2\text{-SiO}_2$. 1 – подземные воды, 2 – поверхностные воды.

го программного комплекса “HydroGeo”. Основные результаты расчетов показаны в табл. 1, и на диаграммах (рис. 2.) Степень насыщения определялась в результате вычисления значения индекса (параметра) недонасыщенности, представляющего разность десятичных логарифмов термодинамических констант равновесия и произведений активностей (“квотантов”) для реакций растворения используемых минералов. Положительные значения параметра недонасыщенности свидетельствуют о недона-

сыщенности вод относительно минералов, отрицательные – о перенасыщенности, близкие к нулю – о состоянии равновесия. Результаты опробования и аналитических исследований свидетельствуют, что равновесия вод в геологическом блоке литогенной основы относительно алюмосиликатных минералов имеют сложный характер. На рис. 2 представлены системы равновесий при 25°C и $P = 1$ атм с нанесением ряда алюмосиликатов и разных по составу природных вод Липовских объектов.

Диаграммы равновесий в системе “вода–алюмосиликаты” с нанесением на них данных о составе изучаемых вод (рис. 2а–г) и данные табл. 1 позволяют заключить, что все природные воды Липовской системы недонасыщены по отношению к первичным алюмосиликатам, попадающим в поля диаграмм, то есть альбита, мусковита, анортита, микроклина. Недонасыщенность отмечена и относительно вторичных силикатных минералов: гиббсита, талька, Na-, K-монтмориллонита, иллита, Mg-хлорита, аморфного кремнезема. Отметим также недонасыщенность воды относительно основных карбонатов, сульфатов, флюорита и гидроксидов железа. Многие из этих минералов являются породообразующими в данной среде, и, следовательно, в той или иной мере служат источником обогащения вод на протяжении всего времени их пребывания и циркуляции в системе. Однако их присутствие в новейших осадках, возникших уже в процессе разработки месторождения и ее прекращения, в донных осадках карьерных озер и водозаборных скважинах маловероятно.

В системе $\text{HCl-H}_2\text{O-Al}_2\text{O}_3\text{-CaO-CO}_2\text{-SiO}_2$ (рис. 2а) воды Липовских объектов недонасыщены относительно первичных алюмосиликатов и располагаются, главным образом, в поле устойчивости Са-монтмориллонита. Часть вод, в большей мере подземных, расположена в области, тяготеющей к устойчивости, с каолинитом, но немалая часть точек близка к равновесию или равновесна с Са-монтмориллонитом. Связано это с тем, что в щелочных водах повышена растворимость кремнекислоты, а это, в свою очередь, приводит к смещению точек гидрокарбонатного натриевого (“содового”) состава вод в сторону большего насыщения монтмориллонитом (последний постоянно связывает больше кремнекислоты, чем каолинит). Однако достигается и равновесие Са-монтмориллонита с K-монтмориллонитом, частью с каолинитом, на что указывает расположение значительного количества точек в поле этого минерала.

Целесообразно отметить здесь и такую особенность формирования общего ионного (типобразующего) состава вод, как постепенное, с ростом минерализации вод возрастание роли Na, вероятно, в ущерб содержанию Са, между которыми можно отметить обратную зависимость. В процессе формирования состава подземных вод ион Na^+ постоянно преобладает над ионом Ca^{2+} при выщелачивании Na из породообразующей среды. При этом количество Са ограничено и карбонатным геохимическим барьером, приводящим к связыванию Са во вторичные минеральные фазы, прежде всего в кальцит. В системе $\text{HCl-H}_2\text{O-Al}_2\text{O}_3\text{-K}_2\text{O-CO}_2\text{-SiO}_2$ (рис. 2б) тенденция к существованию равновесия с K-монтмориллонитом более отчетлива, но проявлена она исключительно для поверхностных вод. Анализ равновесий вод с калиевыми минера-

лами показал расположение большинства точек в поле устойчивости каолинита и, в гораздо меньшей мере, иллита, к чему приводит заметное снижение содержания H_4SiO_4 . Помимо весьма слабой тенденции к насыщению вод за счет иллита (иллит-2, диаграмма рис.2в), заметно лишь кучное расположение точек вблизи K-монтмориллонита.

Анализ системы $\text{HCl-H}_2\text{O-Al}_2\text{O}_3\text{-Na}_2\text{O-CO}_2\text{-SiO}_2$ (рис. 2в) не выявил связи состава вод не только с первичными алюмосиликатами, но и с глинистыми минералами. В частности, даже с Na-монтмориллонитом равновесие не достигнуто, видно лишь кучное расположение точек опробования поверхностных вод в поле, тяготеющем к линии насыщения раствора кварцем и K-монтмориллонитом.

Наконец, диаграмма рис. 2г, характеризующая равновесно-неравновесное состояние вод с магнєвыми минералами (система $\text{HCl-H}_2\text{O-Al}_2\text{O}_3\text{-CaO-CO}_2\text{-SiO}_2$) показала плотное сосредоточение точек в направлении образования Mg-монтмориллонита. Выявляется зависимость устойчивости системы от активностей в воде кремнекислоты, магния и pH. Практически вся основная масса состава вод находится в устойчивости с Mg-монтмориллонитом, на что заметное влияние оказывают значительные концентрации Mg в катионном составе вод. Распространение ионов Mg^{2+} происходит благодаря выщелачиванию из пород. На диаграмме (рис. 2г) заметен и небольшой сдвиг точек в сторону насыщения с Mg-хлоритом.

Ясно, что в процессах круговорота и контактов с разнообразными по составу породами подземные (в первую очередь) воды Липовской системы заимствовали из них многие химические элементы. По отношению к первичным алюмосиликатам воды сохраняют постоянную неравновесность и последовательно удаляют из них химические элементы. Неизбежно образующиеся при этом вторичные минералы из-за весьма низкой их растворимости почти не участвуют в обогащении ионного состава вод, они, что более заметно, скорее контролируют его (табл. 1). Расчеты индексов насыщения минералов свидетельствуют о том, что воды Липовской геотехнологической системы находятся в равновесии и/или перенасыщены по отношению преимущественно к глинистым минералам и, прежде всего, носят равновесно-неравновесный характер. Согласно разработкам С.Л. Шварцева [11], состав новых формирующихся продуктов (минералов) устойчив по отношению к агрессивному воздействию подземных вод. Анализ результатов моделирования по принятой методике однозначно показал главенствующее значение вторичных глинистых минералов, состав которых в известной степени, в силу особенностей своего состава и строения, на определенных этапах способен воспрепятствовать разрушающему влиянию сред своего начального возникновения. В этом и заключена главная

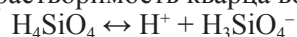
особенность развития равновесно-неравновесной системы “вода–алюмосиликаты”.

Именно глины (глинистые минералы) оказываются наиболее приспособленными к среде своего “нового” существования. Особенностью неравновесного состояния вод с первичными алюмосиликатами является образование вторичных минералов, которые на конкретных этапах развития систем находятся в равновесном состоянии с водами (в характеризуемой ситуации – главным образом с подземными, часто в ущерб потенциалу поверхностных вод). Состояние равновесия с подземными водами ограничивает рост в растворе катионов, замедляя и уменьшая в ряде случаев масштабы ионного обмена.

Зависимости, получившие отражение на диаграммах (рис. 2), иллюстрируют степень насыщения вод по отношению к разным минеральным фазам. Известно растворение кварца по реакции:



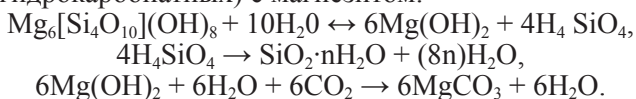
однако при $\text{pH} > 9$ $\text{SiO}_2 + 2\text{H}_2\text{O} \leftrightarrow \text{H}_4\text{SiO}_4$ диссоциирует слабо и растворимость кварца возрастает:



Положение на диаграммах линий насыщения кварцем и аморфным кремнеземом (рис. 2) указывает на то, что источником растворенного кремнезема в водах являются процессы выветривания, весьма усилившиеся в техногенезе. Несомненно влияние гидролиза на образование кремневой кислоты и возрастание при этом щелочности воды.

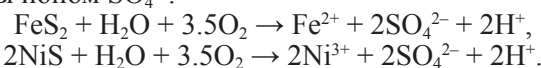
В присутствии в воде растворенного CO_2 наряду с гидролизом происходит диссоциация слабой кислоты H_2CO_3 и переход в раствор иона Mg^{2+} [1].
 Mg_2SiO_4 (форстерит) + $4\text{H}_2\text{CO}_3 \leftrightarrow 2\text{Mg}^{2+} + 4\text{HCO}_3^- + \text{H}_4\text{SiO}_4$.

При этом часть SiO_2 в ходе гидролиза переходит в раствор в виде коллоидов. Отметим также, что, как ясно из приведенных реакций, происходит и замещение ионами H^+ катионов металлов в силикатах (здесь – форстерит), что в результате приводит к образованию H_4SiO_4 . Такой обмен ионами укладывается в период начального разрушения ряда силикатов, что характерно при взаимодействиях в системе “вода–порода” на нынешней стадии выветривания пород литогенной основы Липовской системы. Весьма актуально равновесие воды с магнезитом. Образование магнезита обязано серпентину, находящемуся в ультраосновных породах и коре выветривания. Это характеризуют реакции формирования, показывающие в конечном итоге, некоторые количества гидрокарбонатных магниевых вод. Последние весьма характерны в этой части Уральской минерагенической провинции, и становится ясным равновесие вод (преимущественно гидрокарбонатных) с магнезитом:

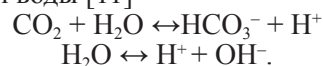


Из следующего уравнения очевидно, что и отложение магнезита, и его диссоциация подчинены равновесию его концентраций в твердой фазе и растворе:

$\text{MgCO}_3 + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \leftrightarrow \text{Mg}(\text{HCO}_3)_2 \leftrightarrow \text{Mg}^{2+} + 2\text{HCO}_3^-$, что объясняет наблюдаемое преобладание гидрокарбонатных вод. Можно объяснить и немалое число случаев развития сульфатных вод с преобладанием сульфат-иона. Здесь несомненно влияние окисления сульфидов, примерами служат реакции окисления, показывающие переход в раствор двух типоморфных здесь металлов Fe и Ni и обогащение воды ионом SO_4^{2-} :



Появление здесь ионов H^+ обязано, кроме окисления сульфидов, также растворению биогенной и атмосферной углекислоты и, в меньшей мере, – диссоциации воды [11]



Здесь учитываются процессы в стационарной системе “вода–порода”, происходящие на протяжении эволюции системы.

Это подтверждает возможность применения методов гидрогеохимического моделирования для оценки состояния природной среды и последствий оценки экологических рисков [13]. Учитывая целесообразность применения метода гидрогеохимического моделирования для оценки степени загрязнения подземных и поверхностных вод техногенно-преобразованных объектов, в особенности типоморфными рудными элементами, можно рекомендовать его для прогноза трансформации гидросферы техногенных систем на аналогичных месторождениях.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Липовское месторождение силикатного никеля на Среднем Урале постепенно приобретало черты геотехногенно-антропогенной системы в результате сравнительно непродолжительного периода техногенной, преимущественно геохимической (гидрогеохимической) трансформации в течение 40 лет (1960–2000 гг.). В пределах техногенно-антропогенной системы в водовмещающих породах целенаправленно и непрерывно функционирует динамичная система “вода–порода”, обеспечивающая взаимообуславливающее взаимодействие воды с горными породами.

Моделирование комплексобразования показало, что трансформация состава гидросферы нарушает равновесие системы вода–порода относительно минералов – первичных и вторичных, составляющих водовмещающие среды. Поверхностные воды равновесны с магнезитом, каолинитом, слабо насыщены относительно гидрослюд, равновесны с

кальциевыми и частично магниевыми разностями монтмориллонита.

Концентрации Ni и других металлов в отложениях озер связаны с силикатами, что объясняется наличием глинистых минералов и кремнезема. Соосаждение Ni происходит с оксидами Fe и Mn.

Недонасыщение вод относительно конгруэнтно-растворимых минералов и вторичных растворимых фаз $MgSO_4$, H_2CO_3 , $NiCO_3$, Ni_2SO_4 – повсеместное, на участках испарительных барьеров возникают зоны аутигенной минерализации.

Эти и иные примеры результатов моделирования взаимоотношений воды с минералами показали существование непрерывного процесса формирования новых геохимических условий, которые заключаются в том, что в системе вода–порода заложены две внутренне противоречивые тенденции [12 и др.]: тенденция к смене состава воды и образующихся при этом минеральных фаз и к стабилизации системы вода–порода на уровне какого-либо состояния. В этом и проявлено образование новых равновесно-неравновесных гидрогеохимических систем.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Браунлоу А.Х. Геохимия. М.: Недра, 1984. 463 с.
2. Буданов Н.Д. Гидрогеология Урала. М.: Наука, 1964. 304 с.
3. Букаты М.Б. Разработка программного обеспечения для решения гидрогеологических задач // Изв. ТПУ. 1996. Т. 305, вып. 6. С. 348–365.
4. Букаты М.Б. Рекламно-техническое описание программного комплекса Hydro Geo. М.: ВНТНЦ, 1999. 5 с.
5. Гаррелс Р.М., Крайст Ч.Л. Растворы, минералы, равновесия. М.: Мир, 1968. 368 с.
6. Гидрогеология СССР. Т. 14. М.: Недра, 1972. 398 с.
7. Дутова Е.М. Гидрогеохимия зоны гипергенеза Алтае-Саянской складчатой области. Дисс. ... докт. геол.-мин. наук. Томск: ТПУ, 2005. 516 с.
8. Зверев В.П. Гидрогеохимия осадочного процесса. М.: Наука, 1993. 184 с.
9. Покровский Д.С., Дутова Е.М., Рогов Г.М. и др. Минеральные новообразования на водозаборах Томской области. Томск: Изд-во НТЛ, 2002. 174 с.
10. Табаксблат Л.С., Бизяев Н.А. Гидрогеохимическая трансформация Липовского месторождения силикатного никеля (Средний Урал) в условиях регрессивной стадии его литогенеза // Литосфера. 2008. № 6. С. 73–81.
11. Шварцев С.Л. Гидрогеохимия зоны гипергенеза. М.: Недра, 1998. 366.
12. Шварцев С.Л. Равновесно-неравновесный характер системы вода–горная порода // Геологическая эволюция и самоорганизация системы вода–порода. Т. 1. Система вода–порода в земной коре: взаимодействие, кинетика, равновесие, моделирование. Новосибирск: СО РАН, 2005. С. 108–160.
13. Ялышева А.И., Бизяев Н.А. Оценка геохимического риска для геотехногенных систем // Моделирование решений геоэкологических задач. Сергеевские чтения. Вып. 11. М.: ГЕОС, 2009. С. 249–251.

Рецензент Ю.К. Иванов

Lipovka balanced-unbalanced hydrogeochemical system in the Middle Ural

L. S. Tabaksblat, N. A. Bizyaev

Ural State Mining University

There aren't many works interpreting a wide geochemical range of natural water of the Urals including water of various deposits. The new paradigm proposed by S.L. Shvartsev about stages of water composition while interaction between water and rocks allowed us to study geochemical processes in Lipovka geo-anthropogenic system in the transformation stage. It was found out that the modern composition of water of Lipovka anthropogenic hydro-geochemical system is the result of the certain stages in interaction between water and rocks which produced the present balanced-unbalanced state of the system and determined its evolution.

Key words: *hydro-geochemistry, hydro-geochemical system, modeling, forms of migration, balanced-unbalanced system.*