

ГЕОХИМИЯ ПОДЗЕМНЫХ ВОД ОЛЬХОВСКО-ЧИБИЖЕКСКОГО РУДНОГО РАЙОНА

Дутова Е.М., Бернатонис В.К.

В работе рассматриваются гидрогеохимические условия Ольховско-Чибихекского рудного района. Показаны закономерности изменчивости состава вод, определяющиеся гидродинамической обстановкой, характером водовмещающих пород и минералогическими особенностями руд. Оценены формы водной миграции ряда химических элементов и равновесность вод с различными минералами.

Введение

Гидрогеохимические поиски месторождений и разработка мероприятий по охране вод от загрязнения базируются на углубленном анализе геохимии подземных вод. В Ольховско-Чибихекском рудном районе эти проблемы решались нами на основе изучения гидрогеохимических условий и особенностей водной миграции и концентрирования химических элементов в подземных водах региона и золоторудных месторождений. Фактической основой работы являются материалы гидрогеохимической съемки масштаба 1:50000 на площади 100 км² [1] (рис. 1) и детальных гидрогеохимических и минералогических исследований, выполненных на рудных объектах [2]. Гидрогеохимическое опробование родников, скважин, горных выработок и мелких водотоков проводили в летнюю межень, когда речной сток практически полностью сформирован подземными водами и химический состав воды мелких рек отражает состав подземных вод. В каждой точке опробования определяли макро- и микрокомпонентный состав воды. Микрокомпоненты из концентратов ТПИ анализировали эмиссионным спектральным способом, а золото из концентратов на активированном угле - нейтронно-активационным. Определение рН и анализ быстро меняющихся компонентов проводили непосредственно у водопунктов, а общий химический анализ воды выполняли в течение суток после отбора проб в стационарной полевой лаборатории. Для идентификации гипергенных минералов в окисленных рудах и осадках вод использовали рентгеноструктурный, термический, электронно-микроскопический, электронографический, химический и другие методы диагностики.

Общая характеристика объекта исследований

Ольховско-Чибихекский рудный район расположен в северо-западных отрогах Восточного Саяна. Он охватывает западную часть Артемовской мегаантиклинали и ее южное сочленение с Кизирской синклиналию. На западе район граничит с краевой зоной Минусинского наложенного прогиба. Основным структурным элементом района является Чибихекская антиклиналь широтного простирания, в ядре которой выступают карбонатные образования чибихекской свиты нижнего кембрия, а крылья сложены эффузивными и пещано-сланцевыми породами осиновской свиты среднего и верхнего кембрия (рис.1). Складчатая структура осложнена многочисленными разрывными нарушениями. Самым крупным среди них является разлом, приуроченный к сводовой части антиклинали и падающий на юг под углом 60-75°. В его висячем боку развита система оперяющих крутопадающих разрывов северо-вос-

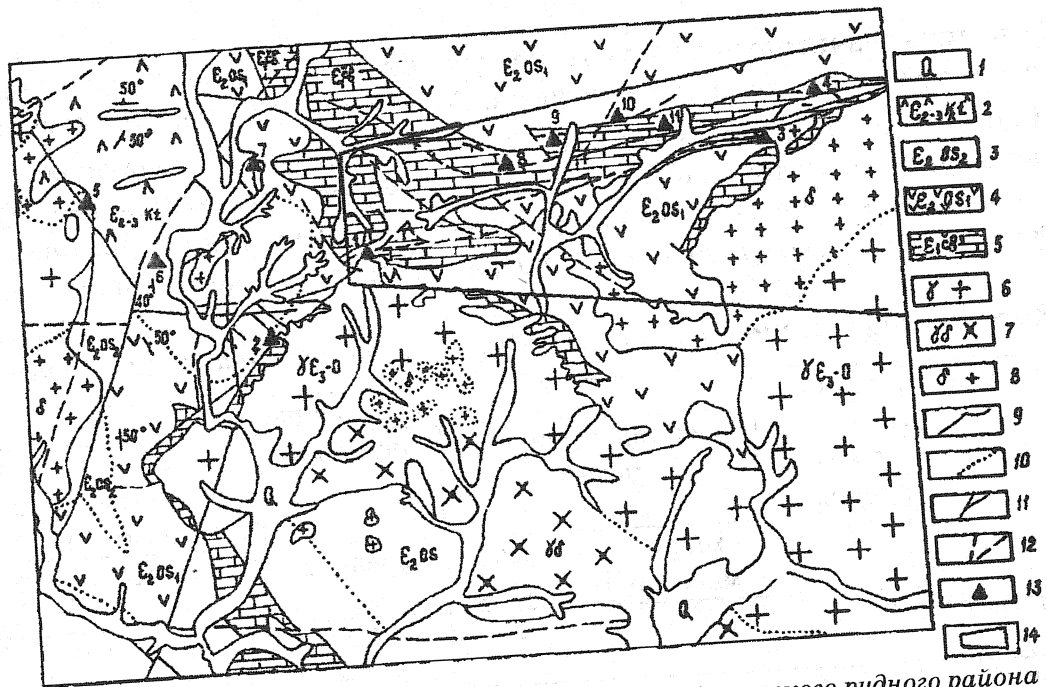


Рис.1. Схема геологического строения Ольховско-Чибизжеского рудного района (по Н.Г.Дубинину и А.М.Хаззагарову).

1 - четвертичные аллювиальные отложения; 2 - порфириты, туфы и туфконгломераты кизирской свиты; 3 - кислые эффузивы, туфконгломераты и прослои известняков верхней подсвиты осиновской свиты; 4 - глинистые сланцы и аргиллиты нижней подсвиты осиновской свиты; 5 - известняки, доломиты, сланцы и мраморы балахтисонской (чибизжеской) свиты; 6 - граниты Ольховского интрузивного комплекса (Шиндинский плутон); 7 - плагиограниты того же комплекса; 8 - диориты, кварцевые диориты и гранодиориты того же комплекса; 9 - стратиграфические контакты и границы интрузивных тел; 10 - границы разновидностей интрузивных пород и подсвит; 11 - дизъюнктивы прослеженные; 12 - дизъюнктивы предполагаемые; 13 - золоторудные месторождения и проявления (1 - Ольховское; 2 - Медвежье; 3 - Константиновское; 4 - Тарчинское; 5 - Лысогорское; 6 - Кулемное; 7 - Чазанское; 8 - Неожиданное; 9 - Безводное; 10 - Снегиревское; 11 - Безымянное); 14 - граница площади гидрогеохимических исследований

точного и северо-западного простираний. Эффузивно-осадочная толща прорывается интрузивными образованиями, представленными древними дайками порфиритов и породами Ольховского интрузивного комплекса (диоритами, кварцевыми диоритами, гранодиоритами, плагиогранитами и гранитами). Гранитоидная интрузия сопровождается жильными дериватами - аплитами и пегматитами. Район характеризуется развитием кварцево-жильного и метасоматического сульфидного золотого оруденения [3]. Кварцевые жилы, реже штокверково-жильные зоны с умеренным содержанием сульфидов (пирротина, халькопирита, пирита) развиты преимущественно в терригенно-вулканогенных и интрузивных породах. Околожильные изменения этих пород выражены в их березитизации. На контакте интрузивных пород и карбонатных отложений сформированы метасоматические залежи, в которых установлены карбонатно-гематитовые (внешняя зона), карбонатно-гематитово-сульфидные и существенно сульфидные (внутренняя зона) руды.

В орографическом отношении район находится в условиях перехода от среднегорья к низкогорью и характеризуется горно-таежным ландшафтом. Среднее количество атмосферных осадков составляет 680 мм/год, среднегодовая температура воздуха - (-1,5°C), средняя температура подземных вод, по нашим данным - 6,5°C. Продуктивность ландшафтов таких территорий может

обеспечить значительное поступление углекислоты при разложении органического вещества почвенных горизонтов. Содержание CO_2 в водах изменяется от 4,4 до 17,6 при среднем значении 5,2 мг/дм³ (табл. 1). Интенсивность водообмена в целом достаточно высокая и в зависимости от характера рельефа изменяется в значительных пределах. Рассчитанное нами среднее значение модуля подземного стока составляет 7 л/с·км², а уклон водной поверхности - 0,103.

Химический состав подземных вод зоны региональной трещиноватости Таблица 1

Компоненты	Единицы измерения	Водовмещающие породы					
		все типы пород в целом		интрузивные	вулканогенно-осадочные	Карбонатные	
		минимальное	максимальное	среднее	среднее	среднее	
Температура	°С	4,0	20,0	6,5	7,0	7,0	
Общая минерализация	мг/дм ³	44,3	396,0	71,0	81,5	238,7	
Общая жесткость	мг-экв/дм ³	0,15	5,10	0,59	0,75	3,00	
pH		5,80	8,40	6,99	6,91	7,76	
HCO_3^-	мг/дм ³	24,0	305,0	48,9	54,3	181,7	
Cl^-		3,5	10,7	7,1	7,1	3,5	
SO_4^{2-}		<1,0	16,0	<1,0	<1,0	<1,0	
Ca^{2+}		4,0	68,0	9,5	10,0	41,4	
Mg^{2+}		0,1	25,6	1,2	2,6	11,4	
$\text{Na}^+ + \text{K}^+$		0,1	16,1	7,8	7,6	3,0	
Fe общ.		0,01	0,50	0,08	0,01	0,01	
CO_2 св.		1,5	17,6	5,2	5,2	5,2	
O_2		<1,0	12,0	6,7	4,8	5,5	
Au		мкг/дм ³	<0,0005	0,0200	0,0020	0,0024	0,0043
Pb			0,40	6,67	1,31	1,92	1,94
Cu			0,27	9,33	1,01	1,27	1,11
Zn			10,66	400,00	33,96	96,16	31,71
Ag	0,40		2,66	0,80	0,99	0,89	
Ni	0,01		130,30	3,96	5,60	6,59	
Ba	0,93		106,60	1,00	1,00	1,00	
Be	0,01		2,66	0,23	0,36	0,17	
Mo	0,01		0,67	0,01	0,09	0,14	
Sr	1,00		66,70	39,81	17,26	32,66	
Ti	0,40		133,30	4,47	20,89	3,64	
Mn	0,67		266,70	6,25	11,48	14,49	
Ga	0,27		79,00	0,82	0,48	0,78	
Y	0,06		2,66	0,72	0,76	0,06	
Число анализов			106	39	18	49	

В пределах района исследований наибольшим распространением пользуются воды зоны региональной дезинтеграции пород и зон тектонических нарушений. Максимальная глубина развития зоны экзогенной трещиноватости составляет 50-80 м. В разрывных нарушениях и зонах развития карста воды циркулируют на глубинах до 100 и более метров. Основная разгрузка подземных вод осуществляется в местную речную сеть.

На территории района нами изучены трещинно-карстовые воды карбонатных отложений чибижекской свиты, воды зоны трещиноватости вулканогенно-осадочных образований осиновской свиты и воды зоны трещиноватости интрузивных пород. Воды карбонатных и карбонатно-терригенных отложений чибижекской свиты разгружаются на низких гипсометрических уровнях (500-600 м) в долины р. Чибижек и нижних течений ее притоков. Воды вулканогенно-осадочных образований дренируются на гипсометрических уровнях 600-800 м верховьями крупных притоков р. Чибижек 1-го и 2-го порядков. Изученные воды интрузивных пород разгружаются, в основном, в долины притоков р. Чибижек 3-го и 4-го порядков на гипсометрических отметках 550-650 м.

Водообильность пород изменчива. Наибольшей водообильностью характеризуются карбонатные отложения, в пределах развития которых дебиты родников колеблются от 0,1 до 200-400 л/с. Менее водообильны вулканогенно-осадочные и интрузивные образования. Дебиты родников варьируют здесь от 0,05 до 0,5 л/с и лишь по периферии интрузивных массивов, где водообильность пород несколько повышается, увеличиваются до 5-8 л/с.

Химический состав подземных вод

Подземные воды района по химическому составу достаточно разнообразны. Воды карбонатных отложений, в основном, гидрокарбонатные кальциевые, реже кальциево-магниевые, пресные. Для них характерны максимальная минерализация (обычно от 200 до 300 мг/дм³) и высокая концентрация макрокомпонентов: кальция - от 40 до 68 мг/дм³, гидрокарбонат-иона - от 170 до 207 мг/дм³, магния - от 6 до 19 мг/дм³, углекислоты - от 4 до 17,6 мг/дм³. Воды нейтральные и слабощелочные - pH от 6,9 до 8,4. Общая жесткость вод изменяется от 2,9 до 4,7 мг-экв/дм³. Воды алюмосиликатных образований, в основном, ультрапресные с минерализацией до 100 мг/дм³ и в меньшей степени обогащены химическими элементами, нежели воды карбонатных пород. Обычно они слабокислые и нейтральные (pH от 6,0 до 7,3). Их общая жесткость изменяется от 0,15 до 1,4 мг-экв/дм³. Для них характерно повышенное содержание натрия (от 2,3 до 16,1 мг/дм³), низкие концентрации гидрокарбонат-иона (от 24 до 86 мг/дм³) и кальция (от 4 до 20 мг/дм³). В дополнение к изложенному, следует отметить специфику поведения петрогенных элементов в водах различных образований. В водах алюмосиликатных пород петрогенные элементы имеют тесную корреляционную связь друг с другом, и характер их взаимосвязи отражает состав водовмещающих коллекторов, в то время как в водах карбонатных отложений связи этих элементов менее значимы, либо вообще отсутствуют. Например, в водах интрузивных пород выявлены тесные корреляционные связи между содержаниями кальция и магния, кальция и железа. Это, по-видимому, связано с единым источником поступления элементов в воды алюмосиликатных образований, а также однотипным характером их поведения в процессе миграции, чего нельзя, вероятно, сказать о по-

движности элементов в водах карбонатных пород. Установлены также различия в поведении рудогенных элементов. Для вод карбонатных образований характерны высокие средние содержания Au, Pb, Ni, Mn, а вулканогенно-осадочных - Cu, Zn, Ag, Be, Ti (табл. 1). В водах интрузивных пород большинство рудогенных элементов имеют друг с другом тесные положительные корреляционные связи. Например, содержания золота в этих водах хорошо коррелируются с концентрациями широкого комплекса элементов (Cu, Ag, Ni, Ba, As, Sn, Mo, Ti, Zr, V, Ga, Mn). В целом подземные воды района являются типичными представителями вод таежной зоны Саянского региона [4], отличаясь от последних повышенными содержаниями золота и серебра.

Существенно иной состав имеют подземные воды в пределах рудных месторождений. Сульфидные руды, окисляясь, изменяют среду миграции, понижают pH и поставляют в воды значительные количества сульфат-иона и рудных элементов, хорошо мигрирующих в кислых средах. Рудничные воды характеризуются пестротой состава, появляются несвойственные для данной климатической зоны их геохимические типы, резко возрастают концентрации практически всех элементов. На каждом конкретном месторождении проявляются свои особенности, обусловленные гидродинамической обстановкой, составом пород и руд [2]. Например, на Ольховском месторождении, находящемся в условиях относительно слабой интенсивности водообмена и характеризующемся исключительно высоким содержанием сульфидов в рудах и преобладанием химически активных карбонатных образований над химически относительно слабоактивными силикатными горными породами, преимущественным развитием пользуются гидрокарбонатно-сульфатные, сульфатно-гидрокарбонатные воды с различным катионным составом и с общей минерализацией от 223 до 9655 мг/дм³, величиной pH от 2,35 до 8, содержанием сульфат-иона от 10 до 2700 мг/дм³ и хлора от 9,2 до 3550 мг/дм³. Рудничные воды месторождения содержат большой комплекс микрокомпонентов в повышенных количествах (мкг/дм³): Pb - до 190; Cu - до 67,87; Ni - до 19; As - до 6787; Sb - до 7,97; Sn - до 1,21; Ba - до 740; Au - до 118,1 (табл. 2).

В пределах Константиновского месторождения, находящегося в условиях более интенсивного водообмена и характеризующегося значительным распространением карбонатных пород, а также менее сульфидными рудами, химический состав подземных вод отличается относительно пониженными содержаниями макро- и микрокомпонентов и меньшей кислотностью (табл. 2).

Высококонтрастные пространственные изменения химического состава вод достаточно локальны и ограничены объемами месторождений. Это обусловлено, по нашему мнению, особенностями миграции и концентрирования химических элементов в подземных водах.

Водная миграция и концентрирование химических элементов

Методы химической термодинамики являются весьма эффективным инструментом изучения гидрогеохимических процессов. Они активно разрабатывались и успешно применялись многими авторами [4-8]. Нами они использованы для получения представления о формах миграции химических элементов и о способности вод к минералообразованию.

Оценку равновесности вод с алюмосиликатными минералами проводили путем нанесения данных состава вод, контролирующих то или иное минеральное равновесие, на построенные по методике Р.М. Гаррелса и Ч.Л. Крайста ди-

Таблица 2

Химический состав подземных вод золоторудных месторождений

Компоненты	Единицы измерения	Ольховское месторождение			Константиновское месторождение		
		среднее	минимальное	максимальное	Среднее	минимальное	максимальное
Температура	°С	3,48	2,80	4,20	4,27	3,50	5,00
pH		7,08	2,35	8,00	7,38	6,20	8,20
Eh	мВ	+251,4	+80,0	+690,0	+77,3	+40,0	+170,0
HCO ₃ ⁻	мг/дм ³	252,4	24,4	414,8	135,4	47,6	219,6
Cl ⁻		50,5	9,2	3550,0	14,0	10,6	22,7
SO ₄ ²⁻		136,0	10,0	2700,0	11,4	4,0	28,5
Ca ²⁺		82,0	39,7	600,0	32,9	14,4	50,0
Mg ²⁺		25,9	7,8	122,0	8,5	2,4	25,6
Na ⁺		56,5	1,6	2420,0	16,7	0,5	44,6
Fe ²⁺		3,88	2,79	33,48	3,30	2,80	4,50
Fe ³⁺		0,97	0,30	200,00	0,42	0,30	0,50
CO ₂ св.		30,80	4,40	110,00	7,39	3,96	11,44
Au	мкг/дм ³	64,7	19,7	118,1	85,4	19,7	256,1
Pb		29,8	9,8	190,0	11,6	0,8	25,6
Cu		5,63	0,37	67,87	2,39	0,55	6,25
Ag		0,52	0,10	268,00	0,31	0,04	0,54
Ni		3,75	0,98	19,00	0,72	0,51	1,25
As		35,30	3,71	6787,00	8,01	2,67	18,75
Sb		6,92	5,30	7,97	11,98	7,67	16,28
Sn		0,59	0,29	1,21	0,24	0,15	0,34
Sr		110,9	32,2	268,0	46,1	16,5	77,6
Ti		2,41	0,53	6,08	1,11	0,46	2,13
Ba		138,40	1,59	740,00	30,80	3,29	62,50
Mn		175,4	1,6	642,0	39,5	4,1	130,0
Число анализов		22			15		

аграммы полей устойчивости конкретных минералов. С использованием программного комплекса HydroGeo, разработанного М.Б.Букаты [8], рассчитывали показатели состояния системы "вода-порода" (индексы неравновесности) для широкого спектра минералов (силикатов, карбонатов, сульфатов, хлоридов, окислов и гидроокислов). Химические составы фоновых (средние) и рудничных вод, использованные для проведения физико-химических расчетов, приведены соответственно в таблицах 1 и 3.

Результаты расчетов комплексообразования, приведенные в таблице 4, показали, что миграция макрокомпонентов в водах осуществляется преимущественно в виде собственных незакомплексованных ионов, доля которых для натрия составляет 98,2-99,9; магния – 92,8-99,4; кальция – 87,7-99,4%. Роль комплексных соединений в миграции этих макрокомпонентов весьма невелика. Как прави-

Химические составы рудничных вод (мг/дм³),
для которых проведены физико-химические расчеты

Таблица 3

Компоненты	Воды месторождений						
	Ольховского				Константиновского		
Na ⁺	2420,0	57,3	6,0	26,4	9,0	30,4	44,6
Mg ²⁺	122,0	18,5	19,0	48,6	0,1	7,3	25,6
Ca ²⁺	600,0	39,7	57,7	128,3	14,4	50,0	36,2
Fe ²⁺	33,480	3,348	4,400	5,580	2,800	0,010	4,500
Fe ³⁺	200,000	0,500	0,300	2,800	0,300	0,010	0,300
Sr ²⁺	0,100	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001	0,001
Mn ²⁺	0,068	0,028	0,026	1,010	0,073	0,004	0,130
Cu ²⁺	0,0679	0,0096	0,0080	0,0016	0,0018	0,0024	0,0015
Zn ²⁺	0,0204	0,0010	0,0010	0,0010	0,0010	0,0240	0,0010
Pb ²⁺	0,0290	0,0285	0,5360	0,0200	0,0037	0,0008	0,0103
HCO ₃ ⁻	24,4	158,6	207,4	400,0	35,1	207,4	219,6
Cl ⁻	3550,0	24,8	14,2	27,7	17,7	14,2	73,8
SO ₄ ²⁻	2700,0	128,0	50,0	220,0	8,0	28,5	12,0
ГК ²⁻	0,5	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
ФК ²⁻	5,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
pH	2,4	6,2	8,0	7,7	7,7	6,2	8,2
Минерализация	9650	431	359	859	87	338	417

ло, только десятые доли процента от валового количества натрия мигрируют в виде комплексных соединений. Несколько большие значения приобретают комплексные соединения в миграции магния и кальция. На долю комплексных соединений магния приходится от 0,6 до 7,2%, а кальция - от 0,6 до 12,3% их валового содержания. Минимальная доля комплексных соединений этих элементов (менее одного процента), представленных преимущественно гидрокарбонатными соединениями, характерна для фоновых вод алюмосиликатных пород. В водах карбонатных отложений и в водах рудных месторождений доля комплексных соединений возрастает. В первом случае они представлены гидрокарбонатными комплексами, а во втором - зачастую сульфатными и даже хлоридными.

Формы миграции микрокомпонентов более разнообразны. Закисное железо мигрирует, главным образом, в виде собственных ионов. На долю комплексных соединений приходится от 0,9 до 12,9% его валового содержания. Они представлены гидрокарбонатными и карбонатными комплексами. Кроме того, в ультрапресных фоновых водах в заметных количествах появляются фульватные, а в водах месторождений - еще и сульфатные комплексы.

Значительную роль незакомплексованные ионы играют также в миграции марганца и цинка. На их долю приходится соответственно от 45 до 95% и от 47 до 97% валового содержания этих элементов. Среди комплексных соединений марганца и цинка преобладают гидрокарбонатные и карбонатные формы. В водах месторождений появляются сульфатные комплексы марганца (0,4-14,3%) и цинка (0,1-5,6%).

Миграция окисного железа, меди и свинца в подземных водах района (за исключением кислых рудничных вод) осуществляется преимущественно в виде комплексных соединений. Преобладающими в миграции окисного железа яв-

ляются гидроксидные и карбонатные соединения, свинца – гидроксидные, гидрокарбонатные, карбонатные и фульватные, меди - карбонатные, гидрокарбонатные и фульватные. Причем в миграции свинца и тем более меди фульватные комплексы играют важную роль. Они преобладают в ультрапресных водах.

Таблица 4

Соотношения форм миграции химических элементов в подземных водах, %

Формы миграции Элементов	Фоновые воды горных пород			Воды месторождений						
	интрузивных	Вулканно-осадочных	Карбонатных	Ольховского				Константиновского		
Na ⁺	99,9217	99,9220	99,6655	98,2197	99,7536	99,5205	99,3230	99,9116	99,8694	99,5718
NaCO ₃ ⁻	0,00015	0,00013	0,00407	0,00000	0,00002	0,00745	0,00089	0,00013	0,00003	0,01127
NaCl	0,00268	0,00260	0,00122	0,73922	0,00824	0,00466	0,00824	0,00650	0,00481	0,02430
NaSO ₄	0,00016	0,00015	0,00013	1,04108	0,15450	0,05791	0,20227	0,01219	0,03536	0,01422
NaHCO ₃	0,07536	0,07514	0,32906	0,00001	0,08367	0,40948	0,46566	0,06962	0,09045	0,37843
Mg ²⁺	99,3963	99,4269	97,5023	92,7754	96,7720	95,7766	94,3177	99,1681	98,7057	96,4144
MgHCO ₃ ⁺	0,54189	0,52388	2,16035	0,00004	0,55492	2,67153	2,72566	0,50553	0,61007	2,46592
MgCO ₃	0,01059	0,00838	0,23945	0,00000	0,00144	0,43202	0,04203	0,00925	0,00166	0,64797
Mg(HCO ₃) ₂	0,00456	0,00439	0,07957	0,00000	0,00592	0,14056	0,16341	0,00420	0,00675	0,11712
MgSO ₄	0,00387	0,00339	0,00268	5,26099	2,62351	0,95306	2,71548	0,26529	0,64570	0,23960
MgCl ⁺	0,01326	0,01246	0,00552	1,78791	0,03731	0,02074	0,03293	0,03219	0,02213	0,10805
MgCl ₂	0,00000	0,00000	0,00000	0,17503	0,00004	0,00001	0,00004	0,00003	0,00001	0,00036
MgГК	0,00417	0,00344	0,00154	0,00042	0,00131	0,00102	0,00050	0,00318	0,00127	0,00132
MgФК	0,02534	0,01716	0,00862	0,00019	0,00355	0,00449	0,00228	0,01223	0,00676	0,00527
Mg(ФК) ₂ ²⁻	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
Ca ²⁺	99,3584	99,3957	97,2941	87,6663	93,5162	94,2910	91,0540	98,8391	97,9081	95,7035
CaHCO ₃ ⁺	0,56158	0,54295	2,23492	0,00004	0,55623	2,72806	2,72936	0,52269	0,62772	2,53903
CaCO ₃	0,01980	0,01567	0,44700	0,00000	0,00252	0,77112	0,07357	0,01697	0,00302	1,17236
CaSO ₄	0,00803	0,00704	0,00556	11,87560	5,90572	2,19403	6,13002	0,58351	1,44111	0,54556
CaCl ⁺	0,00332	0,00312	0,00138	0,42500	0,00884	0,00501	0,00779	0,00795	0,00542	0,02639
CaCl ₂	0,00000	0,00000	0,00000	0,03093	0,00001	0,00000	0,00001	0,00001	0,00000	0,00007
CaГК	0,01658	0,01368	0,00611	0,00184	0,00567	0,00454	0,00216	0,01339	0,00543	0,00579
Ca(ФК) ₂ ²⁻	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
CaФК	0,03226	0,02184	0,01096	0,00027	0,00485	0,00627	0,00313	0,01638	0,00918	0,00729
Mn ²⁺	94,5422	94,9965	65,9226	76,9316	87,2879	52,1536	71,6598	94,0646	93,1536	45,5821
MnCl ⁺	0,02035	0,01921	0,00603	1,98538	0,04951	0,01656	0,03668	0,04698	0,03162	0,07612
MnCl ₂	0,00021	0,00020	0,00003	6,60142	0,00192	0,00037	0,00144	0,00131	0,00067	0,00848
MnCO ₃	1,44688	1,15059	23,26240	0,00000	0,19048	34,60570	4,69740	1,27774	0,22908	44,91820
MnHCO ₃ ⁺	3,79594	3,68629	10,75720	0,00021	3,88786	11,32120	16,11610	3,62493	4,39524	8,98617
MnSO ₄	0,01206	0,01062	0,00595	14,32480	8,53565	1,87798	7,46574	0,86699	2,13439	0,40331
Mn(SO ₄) ₂ ²⁻	0,00000	0,00000	0,00000	0,14830	0,00425	0,00036	0,00605	0,00003	0,00023	0,00002
MnГК	0,08467	0,07018	0,02220	0,00764	0,02821	0,01338	0,00907	0,06812	0,02760	0,01472
MnФК	0,09772	0,06644	0,02363	0,00065	0,01424	0,01091	0,00774	0,04931	0,02756	0,01094
Mn(ФК) ₂ ²⁻	0,00002	0,00001	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00001	0,00000	0,00000
Fe ²⁺	98,9253	99,0705	93,3060	97,0925	98,4570	89,5049	94,2697	99,0397	98,9937	87,1413
FeCO ₃	0,17417	0,13804	3,78778	0,00000	0,02328	6,42061	0,66807	0,15019	0,02689	9,38386
FeHCO ₃ ⁺	0,57737	0,55883	2,21322	0,00004	0,60181	2,66085	2,90351	0,53908	0,65298	2,37711
Fe(HCO ₃) ₂	0,03341	0,03225	0,56073	0,00000	0,04726	1,03215	1,28335	0,03193	0,05203	0,82279
FeSO ₄	0,00090	0,00079	0,00060	1,50750	0,79760	0,26842	0,81795	0,07032	0,17927	0,06254
Fe(ФК)	0,26985	0,18288	0,08826	0,00213	0,04125	0,04804	0,02613	0,13523	0,07591	0,05392
Fe(ФК) ₂ ²⁻	0,00014	0,00008	0,00002	0,00000	0,00001	0,00001	0,00000	0,00004	0,00002	0,00001
FeCl ₂	0,00000	0,00000	0,00000	0,00032	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000

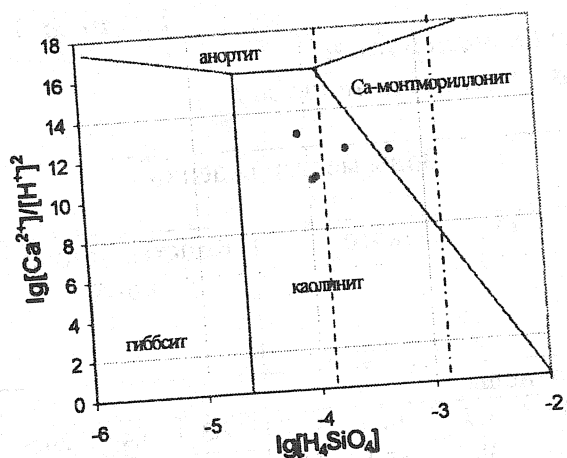
Формы миграции Элементов	Фоновые воды горных пород			Воды месторождений						
	интрузивных	Вулканно-генно-осадочных	Карбонатных	Ольховского				Константиновского		
FeCl ⁺	0,01104	0,01038	0,00442	1,39751	0,03094	0,01579	0,02680	0,02654	0,01824	0,07989
FeOH ⁺	0,00784	0,00623	0,03895	0,00000	0,00088	0,04920	0,00449	0,00701	0,00096	0,07862
Fe(OH) ₂	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00001
Fe ³⁺	0,1465	0,1903	0,0287	90,1483	1,3502	0,0145	0,1792	0,1616	1,2543	0,0084
FeSO ₄ ⁺	0,00002	0,00002	0,00000	3,05313	0,11005	0,00043	0,01260	0,00150	0,02472	0,00006
FeГК ⁺	0,00012	0,00013	0,00001	0,00117	0,00026	0,00000	0,00001	0,00009	0,00025	0,00000
FeФК ⁺	0,03252	0,02687	0,00190	0,02406	0,03173	0,00042	0,00225	0,01601	0,05815	0,00029
Fe(ФК) ₂ ⁻	0,00050	0,00030	0,00001	0,00001	0,00011	0,00000	0,00001	0,00014	0,00034	0,00000
FeCl ²⁺	0,00028	0,00033	0,00002	6,63004	0,00557	0,00003	0,00060	0,00067	0,00322	0,00010
FeOH ²⁺	99,80860	99,78120	95,65360	0,14328	98,48320	64,62610	63,09920	99,76660	98,65860	60,71310
Fe ₂ (CO ₃) ₃	0,01145	0,00087	4,31569	0,00000	0,01887	35,35860	36,70610	0,05337	0,00050	39,27810
Cu ²⁺	8,9531	12,7115	3,1258	81,0977	35,9671	1,7869	12,2370	15,1261	26,1461	1,2294
CuCO ₃	10,43730	11,72790	84,02160	0,00000	6,08608	91,98790	62,23270	15,81620	4,96217	93,74770
CuHCO ₃ ⁺	1,74495	2,39438	2,47594	0,00104	7,69096	1,86129	13,20570	2,81720	5,94795	1,16583
CuSO ₄	0,00091	0,00114	0,00023	12,12440	2,89128	0,05295	1,04904	0,11311	0,48830	0,00891
CuCl ₂	0,00000	0,00000	0,00000	0,00645	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000	0,00000
CuCl ⁺	0,00092	0,00122	0,00014	0,92871	0,00927	0,00026	0,00284	0,00351	0,00409	0,00094
CuOH ⁺	0,96685	1,08954	1,77772	0,00005	0,41978	1,28545	0,76312	1,43107	0,33498	1,46247
CuГК	0,70404	0,82458	0,09242	0,70409	1,04053	0,04105	0,13868	0,97272	0,68982	0,03545
CuФК	64,18620	61,66910	7,77091	4,97671	43,42620	2,77274	9,80577	56,94600	56,15950	2,16504
Cu(ФК) ₂ ²⁻	13,00580	9,58064	0,73526	0,16077	2,46876	0,21150	0,56514	6,77407	5,26705	0,18429
Zn ²⁺	96,5418	97,0684	68,9385	93,5042	95,3809	55,9515	85,2644	96,7487	97,4414	47,0083
ZnHCO ₃ ⁺	1,25681	1,22130	3,64742	0,00008	1,30532	3,72453	5,88038	1,17735	1,43771	2,86990
ZnCO ₃	1,61687	1,28661	26,62180	0,00000	0,21862	38,93590	5,86171	1,40990	0,25513	48,95240
ZnSO ₄	0,00403	0,00355	0,00204	5,56285	2,99616	0,64680	2,85177	0,28914	0,72148	0,13396
ZnCl ⁺	0,00833	0,00787	0,00253	0,85635	0,01930	0,00631	0,01551	0,01824	0,01224	0,02847
ZnCl ₂	0,00000	0,00000	0,00000	0,07267	0,00002	0,00000	0,00002	0,00001	0,00001	0,00008
ZnOH ⁺	0,18386	0,14673	0,69144	0,00000	0,01911	0,69029	0,09119	0,15919	0,02161	0,96349
ZnГК	0,00983	0,00816	0,00264	0,00098	0,00329	0,00153	0,00115	0,00772	0,00314	0,00163
ZnФК	0,37812	0,25727	0,09363	0,00291	0,05732	0,04308	0,03390	0,18967	0,10725	0,04174
Zn(ФК) ₂ ²⁻	0,00028	0,00015	0,00003	0,00000	0,00001	0,00001	0,00001	0,00008	0,00004	0,00001
Pb ²⁺	10,6435	12,5991	1,8661	45,9833	20,8528	1,0718	4,7041	10,9703	22,0163	0,7451
PbHCO ₃ ⁺	19,84360	22,70210	14,14000	0,00544	50,60220	12,74730	57,96190	21,30860	53,82740	7,82642
PbCO ₃	7,56365	7,08595	30,57780	0,00000	2,47915	38,96500	16,89430	7,51098	2,80544	39,12110
PbSO ₄	0,00534	0,00554	0,00066	31,53800	9,49756	0,18085	2,29643	0,43334	2,22678	0,02998
PbГК	0,00950	0,00928	0,00063	0,00406	0,00757	0,00031	0,00067	0,00842	0,00706	0,00027
PbФК	4,33133	3,46961	0,26334	0,14581	1,60677	0,10659	0,24158	2,48620	2,90646	0,08235
PbCl ⁺	0,04436	0,04932	0,00330	19,18500	0,24178	0,00697	0,04932	0,10912	0,15024	0,02525
PbCl ₂	0,00003	0,00003	0,00000	3,13699	0,00046	0,00001	0,00009	0,00016	0,00017	0,00014
PbOH ⁺	57,55870	54,07900	53,14810	0,00143	14,71170	46,92110	17,85170	57,17290	16,06020	52,16930

Примечание: значение 0,00000 = < 0,00000n

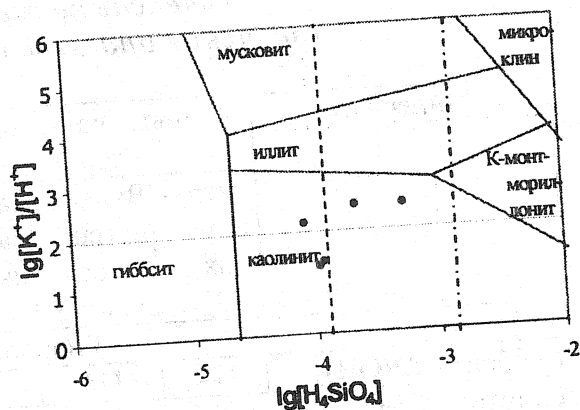
В водах месторождений значительную роль в миграции этих элементов играют сульфатные комплексы, а в кислых рудничных водах преобладают собственные ионы.

Результаты исследований по минералообразующей способности подземных вод района представлены на рисунке 2 и в таблице 5.

Напомним, что на диаграммах полей устойчивости свидетельством равновесности подземных вод по отношению к тому или иному минералу являет-



а



б

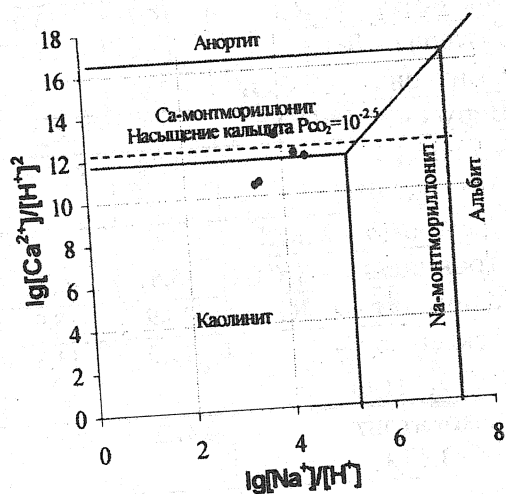
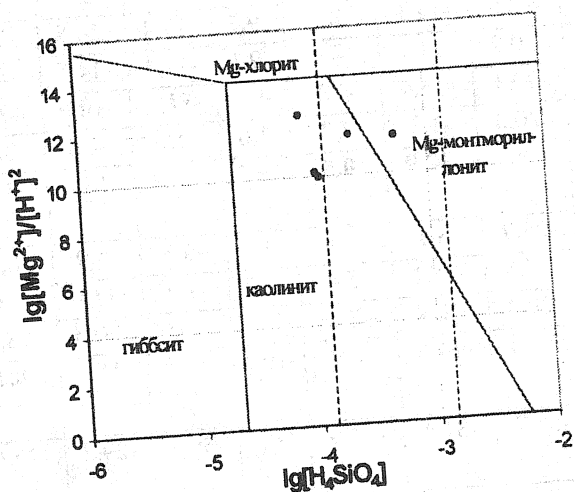


Рис. 2. Диаграммы равновесия в системе вода-алюмосиликаты при стандартных условиях и среднем составе подземных вод Ольховско-Чибисежского района:
 а - система $HCl - H_2O - Al_2O_3 - CO_2 - CaO - SiO_2$; б - система $HCl - H_2O - Al_2O_3 - CO_2 - MgO - SiO_2$; в - система $HCl - H_2O - Al_2O_3 - CO_2 - MgO - SiO_2$; г - система $HCl - H_2O - Al_2O_3 - CO_2 - Na_2O - CaO - SiO_2$ при $lg[H_4SiO_4] = -3,5$. Границы растворимости: 1 - кварца; 2 - аморфного кремнезема

ся положение точки в поле этого минерала. В свою очередь, положительные значения индексов неравновесности свидетельствуют о способности системы к образованию тех или иных минералов, а отрицательные - к их разрушению. Исходя из этого, можно сделать вывод, что все изученные воды района крайне недонасыщены относительно первичных алюмосиликатов (микроклина, анортита, альбита, мусковита), хлоридов (сильвина, карналлита, хлоромagneзита), сульфатов (ангидрита, меркаллита, кизерита, тенардита, мирабилита, целестина), ряда вторичных алюмосиликатных минералов (хлорита, Na-, K-

Степень насыщения вод к минералам
(значения индексов неравновесности минералов)

Таблица 5

Минералы	Фоновые воды горных пород			Воды месторождений						
	интрузивных	Вулканогенно-осадочных	карбонатных	Ольховского				Константиновского		
Гидроокислы и окислы										
Гиббсит - $Al(OH)_3$	12,5	11,9	17,5	-18,1	6,1	18,5	11,2	12,3	6,4	20,0
Гематит - Fe_2O_3	39,5	33,6	49,5	-15,9	31,3	55,1	44,9	42,6	24,1	58,0
Гётит - $FeOOH$	-3,7	-6,6	1,3	-31,6	-8,0	3,9	-1,2	-2,2	-11,6	5,4
Брусит - $Mg(OH)_2$	-21,2	-19,7	-15,5	-39,8	-22,9	-14,6	-18,4	-24,0	-23,6	-13,3
Карбонаты										
Арагонит - $CaCO_3$	-5,2	-5,3	-0,5	-21,6	-5,7	0,4	-1,1	-4,9	-5,3	0,4
Кальцит - $CaCO_3$	-4,8	-5,0	-0,2	-21,2	-5,3	0,8	-0,7	-4,5	-4,9	0,7
Доломит - $CaMg(CO_3)_2$	-12,6	-11,1	-2,6	-45,1	-12,4	-0,6	-3,4	-15,0	-12,8	0,1
Сидерит - $FeCO_3$	-6,4	-8,4	-2,7	-20,1	-3,7	2,3	0,3	-2,0	-9,3	2,8
Магнезит - $MgCO_3$	-14,7	-13,0	-9,3	-30,8	-14,1	-8,3	-9,7	-17,4	-14,8	-7,6
Витерит - $BaCO_3$	-14,9	-15,1	-11,7	-30,2	-11,1	-4,4	-9,1	-11,4	-14,5	-6,7
Смитсонит - $ZnCO_3$	-7,9	-7,1	-4,8	-29,1	-13,4	-7,7	-9,9	-11,6	-10,0	-7,3
Церуссит - $PbCO_3$	-2,7	-2,5	0,9	-20,3	-1,3	7,3	1,8	-1,6	-4,8	3,8
Малахит - $Cu_2CO_3(OH)_2$	-11,3	-11,4	-4,6	-46,7	-12,9	0,8	-9,5	-10,4	-15,3	-1,2
Родохрозит - $MnCO_3$	-7,6	-7,3	-3,7	-25,9	-8,1	-2,4	-1,1	-5,3	-9,9	-0,4
Стронцианит - $SrCO_3$	-5,6	-6,7	-2,7	-25,3	-11,1	-5,4	-7,7	-9,4	-11,0	-5,0
Калицинит - $KHCO_3$	-18,9	-18,9	-19,0	-29,3	-20,4	-20,0	-18,6	-20,6	-20,3	-18,9
Несквегонит - $MgCO_3 \cdot 3H_2O$	-15,0	-13,3	-9,6	-31,4	-14,6	-8,9	-10,2	-17,8	-15,3	-8,1
Термонарит - $Na_2CO_3 \cdot H_2O$	-31,2	-30,5	-28,9	-38,7	-31,4	-24,9	-26,1	-30,1	-29,2	-22,6
Найонит - $Na_2CO_3 \cdot 10H_2O$	-29,3	-28,5	-27,0	-36,9	-29,5	-23,0	-24,2	-28,1	-27,3	-20,7
Трона - $Na_3H(CO_3)_2 \cdot 2H_2O$	-44,0	-42,8	-40,7	-54,0	-43,1	-34,5	-35,1	-42,2	-39,9	-31,4
Нахколит - $NaHCO_3$	-14,6	-14,1	-13,5	-17,1	-13,5	-11,5	-10,9	-14,0	-12,4	-10,6
Сульфаты										
Барит - $BaSO_4$	-8,7	-8,8	-9,0	4,2	3,8	3,8	2,6	-0,7	-1,1	-0,3
Ангидрит - $CaSO_4$	-12,8	-12,8	-11,6	-1,1	-4,7	-5,3	-3,3	-8,1	-5,8	-7,1
Гипс - $CaSO_4 \cdot 2H_2O$	-11,0	-11,0	-9,8	0,8	-2,8	-3,4	-1,5	-6,2	-4,0	-5,3
Целестин - $SrSO_4$	-10,4	-11,3	-10,9	-2,0	-7,3	-8,3	-7,2	-9,7	-8,7	-9,7
Англезит - $PbSO_4$	-14,6	-14,2	-14,4	-4,2	-4,7	-2,7	-4,9	-9,2	-9,7	-8,1
Меркаллит - $KHSO_4$	-43,9	-43,8	-47,5	-25,2	-35,7	-35,0	-37,2	-40,6	-37,5	-42,9
Кизерит - $MgSO_4 \cdot H_2O$	-25,8	-24,0	-23,9	-13,6	-16,3	-17,2	-15,2	-23,9	-18,6	-18,4

Тенардит - Na_2SO_4	-30,7	-29,9	-31,9	-10,1	-22,2	-22,4	-20,2	-25,1	-21,6	-21,9
Мирабилит - $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$	-26,0	-25,2	-27,2	-5,2	-17,2	-17,4	-15,2	-20,3	-16,7	-17,0
Глауберит - $\text{Na}_2\text{Ca}(\text{SO}_4)_2$	-44,0	-43,1	-43,9	-11,9	-27,6	-28,4	-24,3	-33,8	-28,0	-29,7
Хлориды										
Сильвин - KCl	-21,2	-21,2	-23,6	-17,1	-21,6	-21,0	-21,6	-21,9	-22,1	-20,5
Карналлит - $\text{KMgCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	-53,1	-51,3	-54,9	-33,8	-48,6	-48,0	-47,7	-54,5	-51,1	-45,0
Хлоромagnesит - MgCl_2	-81,6	-79,8	-81,0	-67,1	-77,4	-78,5	-76,5	-82,7	-79,1	-74,8

монтмориллонитов) и карбонатов (витерита, калицинита, магнезита, несквегонита, родохрозита, термонатрита, натроны, троны, нахколита, смитсонита), некоторых окислов и гидроокислов (аморфного кремнезема, брусита).

Подземные воды алюмосиликатных пород равновесны с гематитом, гиббситом, каолинитом и кварцем, а карбонатных – еще и с гетитом, монтмориллонитом и церусситом и близки к равновесию с кальцитом и арагонитом. Воды золоторудных месторождений равновесны или близки к равновесию с более широким спектром минералов. Так, например, воды Константиновского месторождения, наряду с перечисленными минералами, равновесны также с сидеритом, церусситом, кальцитом, арагонитом и доломитом, а Ольховского, кроме того, еще и с малахитом и баритом, а в отдельных случаях и с гипсом. Все упомянутые минералы способны к выпадению из подземных вод, выходя из них соответствующие элементы. Интересно, что некоторые рассеянные элементы, такие, например, как Pb и Fe, способны к более раннему по времени переходу из вод в минералогические формы, чем широко распространены Ca и Mg. Так, частота встречаемости вод, равновесных с церусситом и сидеритом, значительно выше, чем вод, равновесных с кальцитом или доломитом. Это же характерно и для сульфатов – воды, равновесные с баритом, встречаются гораздо чаще, нежели воды, равновесные с гипсом. Расчетные данные о минералообразующей способности подземных вод хорошо согласуются с результатами минералогических исследований, проведенных на золоторудных месторождениях района (табл. 6).

Основные выводы

1. В районе имеются условия для формирования широкого спектра геохимических типов подземных вод с разнообразным набором химических элементов, содержащихся в различных концентрациях. В фоновых условиях распространены пресные, нейтральные или слабощелочные гидрокарбонатные типы вод, характерные для таежной зоны Саянского региона в целом. В пределах рудных месторождений развиты разнообразные типы вод. Это и сульфатно-гидрокарбонатные, и гидрокарбонатно-сульфатные, а иногда и сульфатные, нейтральные и кислые с повышенной минерализацией.
2. Расчетным путем установлены формы миграции Na, Mg, Ca, Mn, Fe, Cu, Zn и Pb в подземных водах района. Сделан вывод о преимущественной миграции макрокомпонентов в водах в виде незакомплексованных ионов и о более разнообразных формах миграции микрокомпонентов. В водах месторождений, благодаря разнообразию формирующихся гидрогеохимических сред,

Таблица 6
Распространенность некоторых минералов в окисленных рудах
месторождений золота [2]

Минералы	Минералы эпохи формирования зоны окисления			Минералы периода разработки месторождений		
	главные	Второстепенные	Редкие	главные	Второстепенные	Редкие
Гидроокислы и окислы	Гётит					
	Гидрогетит	+				
	Лепидокрокит	+			+	
	Гематит	+				
	Гидрогематит	+				
	Псиломелан		+			
	Пирролюзит		+			
Карбонаты	Кальцит		+			
	Арагонит		+		+	
	Церуссит			+		+
	Малахит			+		
	Азурит		+			
Сульфаты	Барит			+		
	Англезит			+		+
	Гипс			+		
	Тетрагидрит - $Mg[SO_4] \cdot 4H_2O$		+		+	
	Мелантерит - $Fe[SO_4] \cdot 7H_2O$					+
	Розенит - $Fe[SO_4] \cdot 4H_2O$					+
	Халькантит - $Cu[SO_4] \cdot 5H_2O$					+
	Лангит - $Cu[(OH)_6SO_4] \cdot H_2O$					+
	Гидромусковит					+
	Гидрослюда (иллит)	+	+		+	
	Хлорит			+		
	Каолинит			+		
	Галлуазит	+				
Монтмориллонит		+				
Нонтронит		+		+		
Органические	Кафегидроцианит - $K_4[Fe(CN)_6] \cdot 2H_2O$				+	
	Ульмит					+
Самородные	Золото					+
			+			+

значительно расширяются спектры форм миграции элементов и их миграционные возможности, которые ограничиваются способностью элементов к формированию вторичных твердых фаз.

3. Расчет равновесия подземных вод с горными породами показал, что все воды способны к образованию разнообразных вторичных минералов, лимитирующих водную миграцию элементов. Подземные воды регионального

распространения, как правило, способны к образованию окислов и гидроокислов железа, алюминия и марганца, каолинита и кварца, реже Са- и Mg-монтмориллонитов, иногда церуссита. Подземные воды месторождений, наряду с упомянутыми минералами, зачастую равновесны с кальцитом, арагонитом, сидеритом, баритом, реже с доломитом, малахитом и даже с гипсом. Все эти минералы выводят из подземных вод соответствующие элементы, лимитируя уровень накопления последних в водах.

4. Одним из ведущих механизмов формирования состава подземных вод является их минералообразующая способность.

5. Результаты исследований могут быть использованы при гидрогеохимических поисках золоторудных месторождений и при обосновании экологических мероприятий по охране вод от загрязнения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дутова Е.М. Особенности геохимии подземных вод ряда золоторудных районов Алтае-Саянской складчатой области в связи с гидрогеохимическими поисками: Автореферат дис. канд. геол. - минер. наук. - Томск, 1989. - 20 с.
2. Бернатонис В.К. Вторичная зональность золоторудных месторождений Ольховско-Чибизжекского рудного района: Автореферат дис. канд. геол. - минер. наук. - Томск, 1983. - 20 с.
3. Хазагаров А.М. Некоторые особенности локализации оруденения в Ольховском рудном поле (Восточные Саяны)// Геология рудных месторождений. - 1963. - № 3. - С. 92-96.
4. Шварцев С.Л. Гидрогеохимия зоны гипергенеза. Изд. 2-ое, исправленное и переработанное. - М.: Недра, 1998. - 431 с.
5. Крайнов С.Р., Швец В.М. Гидрогеохимия: Учебник для вузов. - М.: Недра, 1992. - 463 с.
6. Зверев В.П. Гидрогеохимия осадочного процесса. - М.: Наука, 1993. - 184 с.
7. Колотов Б.А. Гидрогеохимия рудных месторождений. - М.: Недра, 1992. - 192 с.
8. Букаты М.Б. Рекламно-техническое описание программного комплекса HydroGeo / Номер гос. регистрации алгоритмов и программ во Всероссийском научно-техническом информационном центре (ВНТИЦ) № 50980000051 ПК. - М.: ВНТИЦ, 1999. - 5 с.

UNDERGROUND WATER GEOCHEMISTRY OF OLKHOVSKO-CHIBIZHEKSKY ORE REGION

E.M. Dutova, V.K. Bernatonis

Hydrogechemical conditions of Olkhovsko - Chibizheksky ore region are under consideration. Regularities in changes of water composition caused by hydrodynamic environment, composition and structure of host rock, and mineralogical peculiarities of ores are presented. Migration forms of a number of chemical elements and water equilibrium with various minerals has been assessed.