Записки Ленинградского горного института имени Г.В.Плеханова.
Т. 129. Л., 1991

УДК 556.334

С.А.КОЗЛОВ

ГЕОХИМИЯ ГРУНТОВЫХ ВОД АМГУНЬ-СИХОТЭ-АЛИНЬСКОЙ ГОРНО-СКЛАДЧАТОЙ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКОЙ ОБЛАСТИ ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА

Амгунь-Сихотэ-Алиньская горно-складчатая область, расположенная в низовьях реки Амур, представляет собой в геологическом отношении сложную по строению территорию, в пределах которой развиты породы интрузивной, эффузивной, вулканогенно-осадочной и осадочной формаций. Здесь не рассматриваются все факторы формирования химического состава грунтовых вод этой области, но сделана попытка сопоставительного анализа состава грунтовых вод, приуроченных к различным геологическим формациям, на основе анализа статистических характеристик. При подготовке статьи использованы материалы среднемасштабной гидрогеологической съемки, выполненной в 1984-1990 гг.

Минерализация грунтовых вод составляет 40-100 мг/дм^3, как правило, pH = 6,0÷7,0. Воды имеют гидрокарбонатный анионный и смешанный катионный состав. Наблюдается увеличение минерализации от водоразделов к подножью склонов, а также с уменьшением абсолютных отметок рельефа в основном за счет гидрокарбонат-ионов и ионов кальция. Для грунтовых вод характерна окислительная обстановка, по условиям миграции выделяются четыре типа вод[X], но в основном преобладают нейтральные воды. Специфика среды этих вод регулируется системой вода - углекислый газ - органическое вещество порода, точнее степенью нейтрализации щелочности углекислым газом и в меньшей степени органическими кислотами. Гораздо реже встречаются слабокислые (pH = 5,5÷6,0) и умереннокислые (pH = 4,5÷5,5) грунтовые воды, а воды с pH = 4,5 - только в исключительных случаях.

Содержание гидрокарбонат-иона, как правило, входит в интервал 25-100 мг/дм^3, выделяются участки и с содержанием менее 25 мг/дм^3, чаще всего приуроченные к интрузивным массивам. Содержание кремнезема, возрастая по направлению к подножью склонов, остается в пределах 5-10 мг/дм^3, реже до 15 мг/дм^3. Содержание кремнезема в атмосферных осадках редко превышает 0,5 мг/дм^3. Поэтому по содержанию кремнезема, меньшему 5 мг/дм^3, можно выделять участки с наиболее интенсивным водообменом.

[X] Воды подземные, классификация по химическому составу и температуре. ОСТ 41-05-263-ВСЕГИНГЕО. М., 1986. 12 с.

Содержание свободной углекислоты в подземных водах не более 20 мг/дм^3, в большинстве случаев не более 5–6 мг/дм^3. Перманганатная окисляемость вод редко выше 10 мг/дм^3. Для большей части вод окисляемость 5–10 мг/дм^3, для меньшей – 2–5 мг/дм^3. Воды с окисляемостью менее 2 мг/дм^3 закартированы в виде отдельных небольших аномалий. Таким образом, содержание органических веществ в подземных водах находится в пределах 1–20 мг/дм^3.

В пределах описываемой территории широкое развитие получили процессы сезонного промерзания и оттаивания горных пород, небольшое распространение по площади имеют многолетнемерзлые породы. Химический состав надмерзлотных вод весьма близок составу грунтовых. Установлено, что площади распространения грунтовых вод с температурой менее 1 °С и мольными отношениями $Na^+/Ca^{2+} \geqslant 2$ хорошо коррелируют с участками распространения многолетнемерзлых пород. Последние, по-видимому, связаны с низкими содержаниями свободной углекислоты в надмерзлотных водах и соответственно низкой растворимостью кальцита в этих условиях. Важную роль в формировании химического состава подземных вод играет состав водовмещающих пород. Для понимания влияния водовмещающих пород (а также других факторов) на формирование химического состава вод важным является анализ отношений некоторых компонентов: HCO_3^-/H_4SiO_4; Mg^{2+}/Ca^{2+}; Na^+/Ca^{2+}; $SiO_2/\Sigma_{кат}$; Na^+/Cl^-. Расчетами на ЭВМ получены статистические характеристики этих отношений в водах разных геологических формаций, выделены площади распространения вод с разными значениями перечисленных отношений, что позволило выделить ряд закономерностей формирования химического состава вод (табл.I).

Полученные данные хорошо согласуются с представлениями о формировании состава природных вод под влиянием выщелачивания водовмещающих пород. Так, для вод интрузивной формации характерно повышенное среднее значение $Na^+/Ca^{2+} = 1{,}90$, пониженное $HCO_3^-/H_4SiO_4 = 6{,}15$ по сравнению с комплексом эффузивных пород мелового-раннечетвертичного возраста и комплексом вулканогенно-осадочных пород мелового возраста. Подземные воды вулканогенно-осадочных пород отличаются повышенным средним отношением $HCO_3^-/H_4SiO_4 = 8{,}53$ по сравнению с водами интрузивной формации и комплекса эффузивных пород мелового-раннечетвертичного возраста. Для подземных вод терригенных осадочных пород и палеоген-четвертичных отложений межгорных впадин и речных долин характерны существенно повышенные средние значения отношения Na^+/Ca^{2+}, что свидетельствует о преобладании в катионном составе этих вод натрия. В меньшей степени отличаются средние значения отношений HCO_3^-/H_4SiO_4 в водах различных комплексов пород, что свидетельствует о выдержанном направлении процессов растворения углекислоты с образованием иона HCO_3^- и перевода SiO_2 в растворимую форму, а также о слабой зависимости этих процессов от типа геологической формации.

Подземные воды комплекса палеоген-четвертичных отложений межгорных впадин и речных долин отличаются повышенным отношением Mg^{2+}/Ca^{2+}, однако необходимо отметить и значительное увеличение дисперсии распределения отношения Mg^{2+}/Ca^{2+} в водах этого комплекса ($D = 23{,}59$). Это объясняется разнородностью обломочного материала отложений впадин и речных

Таблица 1

Статистические характеристики отношений некоторых компонентов в водах разных геологических формаций

Статистические характеристики	Na^+/Ca^{2+}, мг-экв/дм³	HCO_3^-/H_4SiO_4, мг-экв/дм³	Mg^{2+}/Ca^{2+}, мг-экв/дм³	$SiO_2/\Sigma_{кат.}$, мс/дм³	Na^+/Cl^-, мг-экв/дм³
Интрузивная формация (граниты, гранодиориты, монцодиориты и т.д.)					
Число наблюдений	146	147	146	147	148
Среднее	1,90	6,15	0,69	0,47	3,30
Дисперсия	1,64	22,87	0,45	0,07	3,16
Стандартное отклонение	1,28	4,78	0,67	0,26	1,78
Коэффициент вариации	0,68	0,78	0,98	0,55	0,54
Коэффициент асимметрии	1,73	3,08	3,70	2,38	2,12
Эксцесс	4,63	14,37	24,84	12,73	8,37
Комплекс эффузивных пород мелового-раннечетвертичного возраста (базальты, габазы, андезиты, туфы андезитов, андезито-базальты и др.)					
Число наблюдений	223	211	218	216	238
Среднее	1,54	7,92	0,73	0,48	3,38
Дисперсия	2,23	52,87	0,49	0,71	68,80
Стандартное отклонение	1,49	7,26	0,70	0,85	8,28
Коэффициент вариации	0,97	0,92	0,96	1,78	2,45
Коэффициент асимметрии	2,19	3,62	1,94	9,44	13,48
Эксцесс	5,80	22,16	4,87	93,33	194,75
Комплекс вулканогенно-осадочных пород мелового возраста (песчаники, туфопесчаники, конгломераты, туфоконгломераты, туфопесчанники, туфоэпевролиты, туфы липаритов и т.д.)					
Число наблюдений	64	64	62	64	64
Среднее	1,26	8,53	0,59	0,45	2,88
Дисперсия	1,86	26,17	0,45	0,25	2,86
Стандартное отклонение	1,36	5,12	0,67	0,50	1,69
Коэффициент вариации	1,08	0,60	1,15	1,12	0,60
Коэффициент асимметрии	2,85	1,08	2,83	4,80	0,81
Эксцесс	9,88	1,59	10,99	27,54	0,42

Окончание табл. 1

Статистические характеристики	Na^+/Ca^{2+}, мг-экв/дм³	HCO_3^-/H_4SiO_4, мг-экв/дм³	Mg^{2+}/Ca^{2+}, мг-экв/дм³	$SiO_2/\Sigma_{кат}$, мс/дм³	Na^+/Cl^-, мг-экв/дм³
Комплекс осадочных пород позднепалеозойского-раннемелового возраста (песчаники, алевролиты, глинистые сланцы и др.)					
Число наблюдений	509	509	512	512	508
Среднее	3,16	7,22	0,82	0,48	2,97
Дисперсия	92,99	47,56	1,16	1,13	2,66
Стандартное отклонение	9,64	6,90	1,09	1,06	1,63
Коэффициент вариации	3,06	0,96	1,32	2,22	0,55
Коэффициент асимметрии	11,41	4,85	4,25	16,72	1,67
Эксцесс	157,86	44,89	26,47	316,99	5,00
Комплекс палеоген-четвертичных рыхлых отложений межгорных впадин и речных долин (галечники, пески, супеси, суглинки)					
Число наблюдений	101	98	101	83	98
Среднее	2,68	8,08	1,28	0,53	3,32
Дисперсия	37,94	76,83	23,59	0,57	5,99
Стандартное отклонение	6,16	8,77	5,86	0,76	2,45
Коэффициент вариации	2,30	1,09	3,80	1,43	0,74
Коэффициент асимметрии	5,60	3,25	9,16	6,84	1,63
Эксцесс	33,2	14,46	85,80	52,75	3,93

долин, разнообразным его петрографическим составом и составом вторичных образований, что определило увеличение содержания магния во вмещающих породах на одних участках и уменьшение его на других.

Несколько повышенными значениями отношения $SiO_2/\Sigma_{кат}$ отличаются воды палеоген-четвертичных отложений межгорных впадин и речных долин, дисперсия их невелика. Это связано с процессами накопления кремнезема в водах комплекса. Отношение Na^+/Cl^- в подземных водах всех геологических формаций больше единицы. Средние значения несколько выше в водах комплекса палеоген-четвертичных отложений. Это означает, что породы района бедны хлором. Наибольшие средние значения Na^+/Cl^- соответствуют вулканогенно-осадочным и осадочным отложениям (2,83–2,97). Хотя эта разница несущественна, но, очевидно, что в подземные воды этих отложений хлора поступает несколько больше. То, что по отношению Na^+/Cl^- не обнаружено существенных расхождений ни по средним значениям, ни по дисперсии, свидетельствует, что изменение ведущих факторов (формация, тип породы) не влияет существенно на содержание иона Cl^- в водах. Следовательно, источник должен обладать высокой однородностью (постоянством) содержания этого элемента. Таким источником являются атмосферные

осадки. Необходимо отметить, что дисперсии распределений в основном составляют 0,5–3,0; наибольшие дисперсии соответствуют отношению HCO_3^- / H_4SiO_4 = 22,87÷76,83. Коэффициенты вариации по интрузивной, эффузивной, вулканогенно-осадочной формациям в основном не превышают 1,0 (от 0,54 до 2,45). В палеоген-четвертичном и осадочном комплексах коэффициенты вариации в основном более 1,0 (от 0,55 до 3,80). Это свидетельствует о более разнообразных условиях формирования состава подземных вод, что вызывает несколько большую неоднородность их состава.

Невысокими значениями коэффициента асимметрии (до 3,0) характеризуются первые три комплекса, приведенные в табл.1, в то же время для всех комплексов характерны высокие значения эксцесса. Все это свидетельствует о том, что многие распределения выборочных данных (отношений компонентов химического состава подземных вод) не будут соответствовать нормальному закону распределения именно по эксцессу. Поэтому сравнительная оценка полученных выборок производилась при условном допущении нормальности их законов распределения. При анализе распределения мольных отношений Mg^{2+} / Ca^{2+} в грунтовых водах по площади установлена приуроченность повышенных их значений к зонам тектонических разломов, приконтактовым зонам интрузивов и кислых эффузивов. Предположение о наличии значимой связи подтверждено в результате вычислений коэффициента контингенции Пирсона[x]. Источником поступления повышенного количества магния (по сравнению с кальцием) могут быть гидротермально измененные породы приконтактовых зон интрузивов и измененные породы в тектонических зонах, содержащие хлориты, серпентин и другие магнийсодержащие минералы. Возможно также поступление магния из более глубоких зон по разломам.

В Амгунь-Сихотэ-Алиньской горно-складчатой области, в основном, изучено распространение в грунтовых водах II элементов: **Cu , Pb , Zn , Co , Be , Mn , Sn , Ga , V , Mo , Ag** (табл.2).

Таблица 2

Степень встречаемости микроэлементов в подземных водах

Формация	Встречаемость, %				
	Более 90	50–90	25–50	5–25	Менее 5
Интрузивная	Cu, Mn	Mo, Zn	V	Pb, Sn, Ga, Co, Ag	Be
Эффузивная и вулканогенно-осадочная	Cu, Mn	Zn, Mo, V	–	Ga, Sn Pb, Co	Ag, Be
Осадочная	Cu, Mn	Zn, Mo, V	–	Pb, Sn, Co, Ga, Ag	Be

[x] Основы гидрогеохимических поисков рудных месторождений / Б.А.Колотов, С.Р.Крайнов, В.З.Рубейкин и др. М.: Недра, 1983. 199 с.

В результате расчетов на ЭВМ получены некоторые статистические характеристики микрокомпонентного состава вод разных геологических формаций (табл.3).

Таблица 3

Некоторые статистические характеристики микрокомпонентного состава подземных вод разных геологических формаций

Элемент	Осадочная формация	Вулканогенно-осадочная и эффузивная формация	Интрузивная формация
Cu	1,95 / 1,39	1,60 / 2,0	2,28 / 2,27
Mn	52,3 / 49,6	9,0 / 8,1	15,37 / 58,93
Zn	12,2 / 11,28	3,89 / 12,11	7,99 / 19,28
Mo	0,35 / 0,4	0,33 / 0,39	0,33 / 0,39
V	2,31 / 2,25	1,33 / 1,70	1,46 / 6,11
Число проб	1584	864	333

Примечание. 1. В числителе – среднее содержание, мкг/дм^3; в знаменателе – среднее отклонение от среднего содержания.

2. Пробы, в которых элемент не обнаружен, принимались в расчет и учитывались как половина предела чувствительности элемента.

Выводы

Таким образом, некоторые особенности геохимии грунтовых вод Ямгунь-Сихотэ-Алиньской горно-складчатой области в техногенно ненарушенных природных условиях можно сформулировать следующим образом:

1. Установлена определенная гидрогеохимическая зональность грунтовых вод, выражающаяся в увеличении минерализации от водоразделов к подножью склонов, и с уменьшением абсолютных отметок рельефа в основном за счет гидрокарбонат-ионов и ионов кальция, содержание которых растет с увеличением времени контакта воды с горными породами.

2. Химический состав грунтовых вод формируется под влиянием процессов углекислотного выщелачивания водовмещающих пород.

3. Важную роль в формировании химического состава подземных вод в пределах малых водосборов играет состав водовмещающих пород. Так, грунтовые воды интрузивной формации, осадочных терригенных пород и палеоген-четвертичных отложений характеризуются преобладающей ролью Na^+ в катионном составе; а палеоген-четвертичные отложения – повышенными содержаниями магния в грунтовых водах.

Грунтовые воды палеоген-четвертичных отложений накапливают кремнезем.

Грунтовые воды палеоген-четвертичных отложений накапливают кремнезем. Породы района бедны хлором, что обусловливает низкие его содержания в грунтовых водах; основным источником хлора в грунтовых водах являются атмосферные осадки, привносимые с морской акватории.

Средний микрокомпонентный состав грунтовых вод в пределах разных геологических формаций весьма схож, чему способствуют сильно расчлененный рельеф, хорошая промытость пород и высокие скорости движения грунтовых вод.

4. Содержание органических веществ из-за высоких скоростей движения грунтовых вод не превышает 20 мг/дм^3.