

РАСПРОСТРАНЕННОСТЬ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ В ГЕОХИМИЧЕСКИХ ТИПАХ ВОД ОБЬ-ТОМСКОГО МЕЖДУРЕЧЬЯ

Янкович Е.П., Копылова Ю.Г., Янкович К.С.

*ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет»,
e-mail: yankovich@tpu.ru*

В статье обсуждается проблема определения параметров распределения химических элементов в генетически однородных совокупностях подземных вод применительно к оценке их эколого-геохимического состояния. Степень трансформации химического состава подземных вод определяется путем его сравнения с фоновыми значениями компонентов химического состава подземных вод. При определении фоновых значений особое внимание уделяется обоснованию однородных совокупностей вод для определения в них параметров распределения химических элементов. Авторами на основании данных о химическом составе вод исследуемой территории в качестве однородных совокупностей выделаны геохимические типы вод и проведена оценка распространенности химических компонентов в них. Однородность данных в геохимических типах вод определяется единством процессов их формирования, что способствует повышению достоверности статистической обработки гидрогеохимической информации. Авторами установлено, что распространенность химических элементов в геохимических типах вод характеризуется закономерным ростом средних значений содержания химических элементов с увеличением времени взаимодействия системы «вода—порода» и переходом от одного геохимического типа воды к другому. Средние содержания химических элементов в геохимических типах вод определяют их природные фоновые концентрации, что позволяет использовать их для мониторинговых исследований изменения состава вод. Полученные значения являются базовой информацией для проведения эколого-геохимической оценки подземных вод территории.

Ключевые слова: подземные воды, фоновые концентрации, химические элементы, геохимические типы вод

CHEMICAL ELEMENTS ABUNDANCE IN GEOCHEMICAL WATER TYPES OF OB-TOM INTERFLUVE

Yankovich E.P., Kopylova Y.G., Yankovich K.S.

National Research Tomsk Polytechnic University, e-mail: yankovich@tpu.ru

The paper deals with issue of estimating parameters of distribution of chemical elements in genetically homogenous entities of underground waters with regard to assessment of their ecogeochemical condition. Degree of alteration of underground water chemical composition is determined by comparing it with background values of components. During calculation of background values, special attention is paid to discrimination of homogenous entities of waters for estimation of chemical elements distribution parameters in them. On basis of waters, chemical composition data of the studied territory authors define geochemical water types and carry out assessment of chemical components in them. Homogeneity of data in geochemical water types is determined by singularity of their formation, which ensures increased reliability of statistical processing of hydrogeochemical information. Authors specify that distribution of chemical elements in geochemical water types is characterized by a steady grow of chemical elements contents with increased time of interaction of water-rock system and transition from one water type to another. Average contents of chemical elements in geochemical water types define their natural background concentration, which allows using them for monitoring of water composition changes. Resulting values are basic information for ecogeochemical assessment of underground water of the territory.

Keywords: Underground water, background concentrations, chemical elements, geochemical water types

В процессе мониторинга подземных вод существенную роль играют исследования, позволяющие количественно оценить степень трансформации химического состава вод под воздействием техногенеза. Эколого-геохимическое состояние подземных вод определяется на основе информации о химическом составе подземных вод путем его сравнения с

фоновыми значениями компонентов химического состава подземных вод или с нормативными величинами (СанПиН 2.1.4.2496-9, СанПиН 2.1.4.1074-01). В этой связи повышаются требования к определению значений фоновых концентраций химических компонентов в водах. Особое внимание при этом требуется уделять обоснованию однородных совокупностей вод для определения в них параметров распределения химических элементов. Отметим, что под однородной совокупностью в данной работе понимается такая совокупность, элементы которой формируются под воздействием общих основных причин и условий [3].

Эта задача может быть успешно решена путем выделения в качестве однородных геохимических совокупностей – *геохимических типов вод*. Однородность данных в геохимических типах вод определяется единством процессов их формирования, что способствует повышению достоверности статистической обработки гидрогеохимической информации.

В основу выделения геохимических типов вод положена зависимость между составом воды и составом продуктов выветривания, определяемая фундаментальными законами термодинамики. Благодаря этому между составом раствора и составом минеральных новообразований существует строгая парагенетическая связь и выявлена определенная стадийность вторичного минералообразования: гиббсит, каолинит, монтмориллонит (Са-, Mg- K-Na), карбонаты (кальцит, доломит, магнезит, сидерит и др.), сульфаты, фториды и т.д. [4,1]. При этом каждая последующая стадия включает предыдущие в процессе эволюционного развития системы и отличается значениями основных параметров состава вод (рН, минерализация, кремний, органика) и концентрациями контролирующих реакцию элементов.

При таком подходе учитываются генетические особенности формирования качества водных ресурсов. Это особенно важно в связи с тем, что при оценке эколого-геохимического состояния вод должно быть четкое представление об источниках поступления химических элементов в подземные воды, механизмах их перераспределения и взаимодействия с техногенными факторами, трансформирующими природные воды.

Цель исследования

Определение параметров распределения химических элементов в генетически однородных совокупностях (геохимических типах) вод применительно к оценке их эколого-геохимического состояния.

В 2009–2012 гг. в рамках выполнения работ по договору с ОАО «Томскгеомониторинг» нами проведено изучение условий формирования состава вод и выделены несколько геохимических типов подземных вод на территории Обь-Томского междуречья [6].

Выполненные исследования являются основой для определения параметров распределения химических элементов в генетически однородных геохимических типах вод как базовой информации для эколого-геохимической оценки подземных вод Обь-Томского междуречья.

На рассматриваемой территории сформирована особая природно-техногенная система, характеризующаяся комплексным характером воздействия антропогенных факторов. На небольшой площади в ближайшем соседстве располагаются три водозабора, эксплуатирующие подземные воды палеогеновых отложений, особо опасный объект – полигон закачки жидких радиоактивных отходов (ЖРО) в песчаные горизонты симоновской свиты – нижнемеловой водоносный комплекс, города Томск и Северск с более чем полумиллионным населением, ряд крупных промышленных предприятий нефтехимии и машиностроения. Поэтому проводимые исследования особо важны для выявления техногенных загрязнений в подземных водах.

Материалы и методы исследований

В основу работы положен массив гидрогеохимических данных опробования подземных вод на территории Обь-Томского междуречья, предоставленный ОАО «Томскгеомониторинг», который содержит результаты химических анализов проб подземной воды за период наблюдения с 1962 по 2010 гг.

Основной расчетной единицей для определения параметров распределения (фоновых концентраций) химических элементов в подземных водах служит геохимический тип подземной воды, характеризуемый единством процессов формирования и генетической однородностью.

Последовательность операций при определении параметров распределения и изучении распространенности химических элементов в геохимических типах подземных вод следующая.

1. Разделение данных на однородные гидрогеохимические совокупности – геохимические типы вод.

Данный этап включает в себя исследование взаимодействия в системе «вода—порода» и выделения геохимических типов вод. В основу детализации положен анализ термодинамического равновесия вод с породообразующими минералами на основе индекса неравновесности [1, 2, 4], представляющего собой отношение теоретического произведения активностей компонентов реакции, описывающей определенную стадию взаимодействия системы «вода—алюмосиликаты» (константы равновесия) к фактически наблюдаемому в водах произведению активностей этих компонентов. При этом при последовательном анализе состояния равновесия вод с алюмосиликатными породообразующими минералами выделяются воды равновесные с гиббситом (на стадии насыщения гиббситом – кислый

железисто-алюминиевый геохимический тип), воды в равновесии с каолинитом (на стадии насыщения каолинитом – алюминиево-кремнистый геохимический геохимический тип), воды в равновесии с Са-, затем Mg (на стадии насыщения Mg-монтмориллонитом – кремнисто-магниевый геохимический тип), затем К-, затем Na-монтмориллонитами и воды в равновесии с кальцитом (на стадии насыщения кальцитом – кремнистый карбонатно-кальциевый геохимический тип) [1].

2. Определение основных параметров распределения химических элементов в каждом геохимическом типе вод – среднего значения (арифметического и геометрического), стандартного отклонения (показателя рассеяния).

Проводится статистический анализ каждой совокупности, который включает проверку соответствия закону распределения и определению основных характеристик концентраций химических элементов в воде каждого геохимического типа с учетом закона распределения. Среднее содержание химических элементов в водах одного геохимического типа принято за фоновые концентрации: для нормального закона распределения – среднее арифметическое значение, для логнормального закона распределения – среднее геометрическое значение.

Результаты и их обсуждение

На рассматриваемой территории по стратиграфической принадлежности водовмещающих пород выделены подземные воды неоген-четвертичных, палеогеновых, меловых отложений и палеозойских образований [5].

Нами было использовано более 8400 результатов химических анализов подземной воды по 341 скважине, вскрывающей воды различных стратиграфических подразделений.

Средний химический состав подземных вод Обь-Томского междуречья представлен в таблице 1.

Все рассматриваемые воды неоген-четвертичных, палеогеновых, меловых отложений и палеозойских образований исследуемой территории по химическому составу в большинстве своем являются гидрокарбонатными кальциевыми, часто смешанного катионного состава. В подземных водах отложений мелового комплекса иногда выделяются хлоридные натриевые воды. Кислотно-щелочные условия подземных вод изучаемой территории изменяются от слабокислых до щелочных. Преобладание восстановительной геохимической среды (окислительно-восстановительный потенциал вод изменяется от 110 до 85 mV) в природных подземных водах определило накопление в них органических соединений и элементов с переменной валентностью (железа, марганца и др.) в высоких концентрациях. При этом прослеживаются практически мало меняющиеся значения основных параметров состава вод, хотя наблюдается тенденция увеличения минерализации и повышения pH. Эти

обстоятельства позволяют предполагать неоднородность состава подземных вод в пределах одного водоносного комплекса.

Таблица 1

Средний химический состав подземных вод Обь-Томского междуречья

Водоносный комплекс	Число проб	Σ солей	pH	HCO ₃	Cl	SO ₄	Na	K	Ca	Mg	Si	Feобщ	Mn
Неоген-четвертичный	3450	414,4	7,4	268,1	4,8	5,7	7,3	1,2	61,7	12,5	7,7	6,5	0,34
Палеогеновый	3707	485,1	7,4	313,9	3,0	5,0	9,5	1,4	72,3	15,7	9,2	4,0	0,2
Меловой	508	469,1	7,3	247,5	17,5	4,2	39,5	3,9	42,7	16,3	10,8	4,8	0,1
Палеозойский	738	593,8	7,6	381,6	6,1	9,3	13,4	1,3	90,1	20,5	9,7	2,3	0,2

В связи с этим систематизация подземных вод по геолого-структурной приуроченности не позволяет выявить истинных фоновых содержаний элементов, что определяет необходимость детализации состава вод по условиям формирования на основе генетических принципов. В основу детализации положен анализ термодинамического равновесия вод с породообразующими минералами.

Термодинамические расчеты состояния равновесия вод с породообразующими минералами позволили выделить на рассматриваемой территории следующие разновидности вод, равновесные: с каолинитом; с Са-Mg монтмориллонитами; с Na-монтмориллонитами; с кальцитом [6]. Это позволило в соответствии с классификацией С.Л. Шварцева [1] обосновать геохимические типы вод, представляющие однородные геохимические совокупности: алюминиево-кремнистый, кремнистый кальциево-магниевый, кремнисто-натриевый, кремнистый карбонатно-кальциевый. Расчеты показали, что в пределах одного водоносного комплекса на разных его участках возможно формирование разных геохимических типов вод, обусловленное вероятнее всего временем взаимодействия в системе «вода—порода» и разной интенсивностью водообмена.

Воды алюминиево-кремнистого геохимического типа были обнаружены в скважинах, вскрывающих неоген-четвертичный и палеогеновый водоносные комплексы (табл. 2).

Воды – пресные со средней минерализацией 260 мг/дм³, в основном слабокислые и нейтральные с повышенным содержанием железа. По химическому составу воды гидрокарбонатные кальциевые, доля гидрокарбонат-иона составляет в среднем более 80%экв, кальция — более 60%экв. Для отдельных точек опробования характерно высокое содержание ряда компонентов и показателей, что объясняется техногенным загрязнением верхних водоносных горизонтов.

Таблица 2

Средние значения компонентов в алюминиево-кремнистом геохимическом типе вод разных
ВОДОНОСНЫХ КОМПЛЕКСОВ

Водоносный комплекс	Число скв	∑солей	pH	HCO ₃	Cl	SO ₄	Ca	Mg	Na	K	Si	Feобщ
Неоген-четвертичный	15	260,3	7,1	153	6,8	7,4	41,3	6,9	6,7	1,4	6	6,3
Палеогеновый	4	357,8	7,5	185,6	4,8	17,4	50,7	11,9	16,2	1,6	4,1	4,6

Кремнистые кальциево-магниевые воды (воды равновесные с Ca-Mg монтмориллонитами) отличаются от алюминиево-кремнистых более высокой минерализацией, которая в среднем составляет 450 мг/дм³ (табл. 3). По кислотно-щелочному балансу рассматриваемые воды нейтральные и слабощелочные, по химическому составу в основном гидрокарбонатные кальциевые и гидрокарбонатные магниевые-кальциевые. Доля кальция составляет в среднем 65%экв, магния 26%экв, на долю гидрокарбонат-иона приходится более 93%экв.

Таблица 3

Средние значения компонентов кремнистого кальциево-магневого типа вод разных
ВОДОНОСНЫХ КОМПЛЕКСОВ

Водоносный комплекс	Число скв	∑солей	pH	HCO ₃	Cl	SO ₄	Ca	Mg	Na	K	Si	Feобщ
Неоген-четвертичный	72	414,4	7,4	278,8	4,5	5,5	64,5	14,1	7,4	1,1	7,9	6,8
Палеогеновый	115	459,1	7,4	306,3	3,0	4,1	67,0	15,8	9,1	1,3	9,2	3,9
Меловой	23	419,3	7,2	270,2	3,8	4,0	45,0	18,6	17,2	3,7	10,8	5,1
Палеозойский	42	575,2	7,4	367,3	5,7	8,5	84,7	20,9	13,0	1,3	9,8	2,4

Кремнистый карбонатно-кальциевый геохимический тип воды выявлен в 41 скважине. Это воды, равновесные с кальцитом, со средней минерализацией более 600 мг/дм³, слабощелочные (pH изменяется от 7,5 до 8,5). В катионном составе преобладает кальций, доля которого в среднем составляет около 70%экв, в анионом – гидрокарбонат-ион более 90%экв.

Таблица 4

Средние значения компонентов кремнистого карбонатно-кальциевого типа вод разных
ВОДОНОСНЫХ КОМПЛЕКСОВ

Водоносный комплекс	Число скв	∑солей	pH	HCO ₃	Cl	SO ₄	Ca	Mg	Na	K	Si	Feобщ
Неоген-четвертичный	6	575,0	7,7	397,9	3,8	7,5	99,8	18,1	9,2	1,5	7,9	4,4
Палеогеновый	13	592,8	7,7	400,9	2,5	5,9	92,3	20,7	10,7	1,4	10,3	5,6
Палеозойский	22	662,0	7,9	436,5	6,6	11,5	106,4	22,5	14,1	1,4	10,0	2,1

Кремнисто-натриевые воды (равновесные с Na-монтмориллонитами), выделенные в отдельную совокупность, отличаются от рассмотренных выше кремнистых кальциево-магниевых вод высокими концентрациями натрия и хлора (табл. 5).

Таблица 5

Средние значения компонентов кремнисто – натриевого геохимического типа вод разных водоносных комплексов

Водоносный комплекс	Число скв	∑солей	pH	HCO ₃	Cl	SO ₄	Ca	Mg	Na	K	Si	Feобщ
Палеогеновый	7	993,6	7,3	327,8	274,8	5,6	96,1	28,5	146,2	4,2	9,9	6,5
Меловой	19	688,9	7,4	220,0	112,3	4,3	41,7	18,9	108,3	5,3	11,0	3,9

По химическому составу это преимущественно хлоридные натриевые воды, нейтральные или слабощелочные, с повышенной минерализацией относительно других типов вод рассматриваемой территории. Из 27 скважин, входящих в данную совокупность, 8 имеют минерализацию более 1 г/дм³. Высокие содержания натрия и хлора вероятнее всего связаны с влиянием ряда трансгрессий и регрессий моря, которые территория испытала в течение мелового и палеогенового периодов [5].

Таким образом, по ионно-солевому составу подземные воды разных геохимических типов преимущественно гидрокарбонатные кальциевые. В рассматриваемых водах отмечается увеличение значений общей минерализации, pH, кремния, натрия, кальция с последовательным переходом от вод равновесных с каолинитом к водам равновесным с монтмориллонитом и кальцитом, т.е. с увеличением времени взаимодействия в системе «вода—порода». Отличительной особенностью равновесных с Na-монтмориллонитом вод являются высокие величины содержания натрия и хлора.

Распространенность химических элементов в геохимических типах вод характеризуется закономерным ростом средних содержаний химических элементов с увеличением времени взаимодействия системы «вода—порода» и соответственно повышением стадии формирования химического состава вод независимо от их стратиграфической принадлежности (табл. 6). Воды геохимических типов являются генетически однородными геохимическими совокупностями химических элементов, средние содержания элементов в которых определяют их природные фоновые концентрации, что позволяет использовать их для мониторинговых исследований изменения состава вод.

Заключение

Отправным моментом для постановки мониторинговых исследований изменения состава вод являются параметры распространенности химических элементов в водах разных геохимических типов. Выделенные геохимические типы вод представляют собой однородные совокупности, что позволяет использовать средние значения содержания

элементов в разных типах вод как фоновые для рассматриваемой территории. Однородность данных в геохимических типах вод определяется единством процессов их формирования.

Такой подход позволяет выполнять эколого-геохимические исследования, которые базируются на четком представлении об источниках поступления химических элементов в природные среды, механизмах их перераспределения и взаимодействия с техногенными факторами, трансформирующими природные экосистемы.

Таблица 6

Распространенность химических элементов в геохимических типах вод
Обь-Томского междуречья

Компоненты и параметры	Алюминиево-кремнистый		Кремнистый кальциево-магниевый		Кремнистый карбонатно-кальциевый		Кремнисто-натриевый	
	среднее содержание	показатель рассеяния	среднее содержание	показатель рассеяния	среднее содержание	показатель рассеяния	среднее содержание	показатель рассеяния
Минерализация, мг/дм ³	260,0*	72,0*	454,3	1,3	628,6*	92,2*	631,0	1,4
pH, ед. pH	7,0*	0,3*	7,4*	0,2*	7,8*	0,2*	7,4*	0,3*
Перманганатная окисляемость, O ₂ /дм ³	2,48	1,45	2,32	1,55	2,18	1,72	2,00*	0,65*
NH ₄ , мг/дм ³	0,64*	0,21*	0,80*	0,32*	0,88*	0,50*	1,14*	0,55*
NO ₃ , мг/дм ³	0,58	2,82	0,60	2,40	0,59	2,65	0,84	3,12
NO ₂ , мг/дм ³	0,08	4,59	0,05	3,58	0,04	4,68	0,05	3,71
HCO ₃ , мг/дм ³	142,9	1,5	294,8	1,4	423,6	1,2	234,7	1,5
Cl, мг/дм ³	6,04	1,80	3,67	1,71	5,33	3,58	119,29	3,55
SO ₄ , мг/дм ³	8,17	3,52	4,87	1,87	8,29	2,02	4,37	2,17
Ca, мг/дм ³	41,9*	16,4*	65,3	1,4	102,0	1,2	48,5	2,1
Mg, мг/дм ³	7,5	1,8	15,7	1,5	21,3*	5,9*	20,4	2,2
Na, мг/дм ³	6,9	1,5	9,6	1,6	12,7	1,8	102,4	2,0
K, мг/дм ³	1,3	2,1	1,3	1,5	1,4	1,3	5,0	1,6
Si, мг/дм ³	5,8*	2,1*	8,9	1,2	9,8*	2,2*	10,6*	2,6*
Fe _{общ} , мг/дм ³	5,10	2,35	4,35	2,03	2,51	2,09	4,39	1,88
Mn, мг/дм ³	0,23	3,33	0,24	1,89	0,28	2,23	0,15	1,95
Zn, мг/дм ³	0,03	3,71	0,02	3,45	0,01	3,51	0,01	3,16
Cu, мг/дм ³	0,02	4,17	0,02	2,90	0,01	6,11	0,01	5,50
F, мг/дм ³	0,26	3,88	0,24	1,47	0,23	1,69	0,22	1,60

Примечание: среднее содержание и показатель рассеяния – параметры распределения. При нормальном законе распределения величин – среднее арифметическое значение и среднее квадратическое отклонение, при логнормальном законе распределения величин – среднее геометрическое значение и стандартный множитель.

* – параметры определены для нормального закона распределения

Список литературы

1. Геологическая эволюция и самоорганизация системы «вода—порода»: В 5 т. Т. 2: Система «вода—порода» в условиях зоны гипергенеза / С. Л. Шварцев и др. / Под ред. Б.Н. Рыженко; ИНГГ СО РАН [и др.]. – Издательство СО РАН, 2007. – 389 с.
2. Зверев В.П. Роль подземных вод в миграции химических элементов. М.: Недра, 1982. – 182 с.
3. Родионов Д.А. Статистические методы разграничения геологических объектов по комплексу признаков. М.: Недра, 1968. — 158 с.
4. Шварцев С.Л. Гидрогеохимия зоны гипергенеза. Изд. 2-е, испр. и доп. – М.: Недра, 1998. – 366 с.
5. Формирование и эксплуатация подземных вод Обь-Томского междуречья / Попов В.К., Коробкин В.А., Рогов Г.М. и др.– Томск: Изд-во ТГАСУ «Печатная мануфактура», 2002. – 143 с.
6. Янкович Е. П., Копылова Ю. Г., Гусева Н. В. Распространенность геохимических типов подземных вод Обь-Томского междуречья [Электронный ресурс] // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. — 2015 — № 107(03). — С. 1–14. — Режим доступа: <http://ej.kubagro.ru/2015/03/pdf/96.pdf> [444704-2015]

Рецензенты:

Строкова Л.А., д.г.-м.н., профессор, и.о. зав. кафедрой гидрогеологии, инженерной геологии и гидрогеоэкологии ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», г. Томск;

Язиков Е.Г., д.г.-м.н., профессор, зав. кафедрой геоэкологии и геохимии, ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», г. Томск.