

ГИДРОГЕОЛОГИЯ И ИНЖЕНЕРНАЯ ГЕОЛОГИЯ

УДК 556.314

Е.С. СИДКИНА

**ОСОБЕННОСТИ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ПОДЗЕМНЫХ ВОД И РАССОЛОВ
ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ ТУНГУССКОГО АРТЕЗИАНСКОГО БАСЕЙНА**

Проведённый анализ показал, что в западной части Тунгусского артезианского бассейна залегают пресные, солоноватые, солёные воды и рассолы различных химических типов и степени минерализации. Минерализация увеличивается с глубиной. На территории Байкитской антеклизы и Катангской седловины в нефтегазоносных отложениях венда и рифея данная закономерность не прослеживается. Наиболее минерализованные рассолы залегают в солёной гидрогеологической формации (Є), являются хлоридными кальциевыми и наиболее обогащены бромом, стронцием, литием, рубидием, цезием, бором, хромом и другими элементами. На северо-западе территории (южная часть Курейской синеклизы) хлоридные кальциевые рассолы распространены на небольшой глубине (700 м и ниже), что значительно ближе к поверхности, чем в южных частях региона.

Ключевые слова: подземные воды; рассолы; Тунгусский артезианский бассейн; химический состав; минерализация; типы вод.

Тунгусский артезианский бассейн, в частности, его западная часть, содержит рассолы уникальные по степени минерализации, разнообразию химических типов и исключительно высокой концентрации микрокомпонентов. Своими особенностями они привлекали внимание многих учёных [1—12, 15, 18].

Важнейшими особенностями региона являются: возраст отложений, высокая литификация и метаморфизация пород, наличие солей, длительные перерывы в осадконакоплении, интенсивный трапповый магматизм, широкое развитие многолетней мерзлоты, наличие крепких хлоридных кальциевых рассолов [4—5, 7—8].

Геолого-гидрогеологические условия района

В предложенной М.Б. Букаты [5] гидрогеологической стратификации западных районов Сибирской платформы весь разрез осадочного чехла подразделён на три формации (надсолевую, солёную и подсолевую), включающие 13 водоносных комплексов. Надсолевая гидрогеологическая формация включает в себя палеоген-четвертичный, верхнепалеозойско-триасовый, среднепалеозойский, ордовикский и надсолевой (Є) комплексы. Палео-

ген-четвертичный — маломощный, представлен аллювиальными отложениями. Триас сложен вулканогенно-осадочными породами, верхнепалеозойские отложения представлены песчаниками, алевролитами, аргиллитами с прослоями угля. Среднепалеозойский комплекс представлен преимущественно глинистыми сульфатонасыщенными доломитами (S), мергелями и глинами (D) с пластами галита до нескольких десятков и первых сотен метров. Ордовикский комплекс представлен карбонатно-терригенными породами (известняки, доломиты, аргиллиты, песчаники, алевролиты с пластами гипса и ангидрита). Надсолевой комплекс состоит из терригенно-сульфатно-карбонатной формации, водоносные горизонты сложены песчаниками.

Солёная формация включает ангарско-литвинцевский, булайский, бельский и усольский комплексы и представлена мощной карбонатно-солёной толщей (доломиты, известняки, галит).

Подсолевая формация разделена на карбонатный (V—Є₁), терригенно-сульфатно-карбонатный (V), терригенный (V) и рифейский комплексы. Карбонатный представлен известняками и доломитами, терригенно-сульфатно-карбонатный — доломитами, песчаниками, аргиллитами, алевро-

литами, терригенный преимущественно состоит из песчанников, а рифейский — песчанников и карбонатов. Подробно гидрогеологическое строение изучаемого района рассмотрено в [5, 7–9, 14].

Исходный материал и методика исследований

Исследование химического состава основано на обработке более 1000 анализов проб подземных вод и рассолов. При разделении вод и рассолов по общей минерализации использовались классификации Н.И. Толстихина и Е.В. Пиннекера [13]. Для характеристики вод и рассолов по величине рН применялась классификация С.Л. Шварцева [17], при разделении вод на химические типы — классификация С.А. Щукарева, согласно которой наименование типа воды определяется содержанием иона более 25 %-экв.

Характеристика химического состава подземных вод и рассолов

Надсолевая гидрогеологическая формация. Здесь встречаются пресные, солоноватые, солёные воды и рассолы в зависимости от глубины их залегания. Минерализация и химический состав подземных вод верхних горизонтов во многом зависит от геокриологической обстановки, интенсивности водообмена и миграции из нижележащих водоносных горизонтов.

Пресные воды можно разделить на надмерзлотные и подмерзлотные. Надмерзлотные воды залегают непосредственно на многолетнемерзлых породах, являющихся водоупором. Источником питания надмерзлотных вод служат атмосферные осадки и воды таяния мерзлых пород. Большую часть года эти воды находятся в твёрдом состоянии [16]. По химическому составу надмерзлотные пресные воды являются гидрокарбонатными кальциевыми, кальциево-натриевыми, натриево-кальциевыми, реже — кальциево-магниевыми. Химический состав надмерзлотных вод определяется в основном исходным составом атмосферных осадков и составом водовмещающих отложений.

Среди подмерзлотных вод встречаются пресные, солоноватые, солёные воды и рассолы. Главными факторами, влияющими на химический состав вод, являются рельеф, мощность многолетней мерзлоты, наличие или отсутствие тектонических нарушений, карст, трещиноватость и состав пород [7].

Пресные воды встречаются в палеоген-четвертичном, верхнепалеозойско-триасовом, среднепалеозойском и ордовикском комплексах при залегании пород в зоне активного водообмена. По химическому составу воды относятся к гидрокарбонатному кальциевому, кальциево-натриевому, реже — кальциево-магниевому типам (табл. 1). По величине рН воды околонефральные. На севере исследу-

Таблица 1

Воды	Минерализация по классификации Н.И. Толстихина [13]	Преобладающие типы вод по классификации С.А. Щукарева [13]	Минерализация	рН	С/г	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	Число анализов	Химический состав подземных вод и рассолов надсолевой гидрогеологической формации (г/дм ³)	
													г/дм ³	экв.
Пресные	< 1	HCO ₃ Ca, Ca-Na, Ca-Mg	0,04 – 0,7 0,4	6,2 – 8,8 7,2	0,002 – 0,5 0,11	0 – 0,22 0,03	0,02 – 0,45 0,14	0,01 – 0,21 0,05	0 – 0,04 0,01	0,001 – 0,22 0,06	0 – 0,006 0,002	27	г/дм ³	экв.
Солоноватые	1 – 10	HCO ₃ -SO ₄ Ca, Ca-Na, Cl-HCO ₃ Na-Ca, Cl Na-Ca	1,3 – 9,5 4,0	5,0 – 8,0 7,0	0,01 – 5,5 2,0	0 – 1,3 0,6	0,01 – 0,3 0,11	0,04 – 1,5 0,6	0,01 – 0,5 0,1	0,03 – 2,1 0,7	0,01 – 0,07 0,02	17	г/дм ³	экв.
Солёные	10 – 50	Cl Na, Ca-Na, Na-Ca	10,4 – 48,4 26,1	6,0 – 8,0 7,0	6,4 – 30,2 15,8	0 – 3,1 0,5	0,01 – 0,3 0,09	0,4 – 12,3 4,0	0,01 – 2,2 0,5	0,7 – 15,1 5,0	0,02 – 0,3 0,1	19	г/дм ³	экв.
Рассолы: слабые	>50 50 – 150	Cl Na, Na-Ca, Ca-Na	52 – 145 94	5,3 – 9,5 7,1	29 – 90 58	0,01 – 4,8 1,4	0,002 – 0,9 0,15	0,02 – 33,7 13,5	0 – 1,5 0,6	0,2 – 49,0 20,5	0,2 – 0,6 0,30	17	г/дм ³	экв.
Крепкие	150 – 320	Cl Na, Na-Ca, Ca-Na, Ca	155 – 319 261	3,0 – 7,6 5,2	95 – 202 163	0,01 – 1,0 0,2	0 – 0,2 0,05	1,6 – 83,3 48,4	0 – 13,2 3,9	4,8 – 77,4 42,5	0,03 – 16,5 3,6	38	г/дм ³	экв.
Весьма крепкие	320 – 500	Cl Ca-Na, Ca	324 – 376 356	3,5 – 7,3 4,9	202 – 235 218	0,01 – 0,3 0,1	0 – 0,6 0,12	32,6 – 94,5 69,6	0,6 – 11,0 6,1	2,7 – 95,3 48,3	0,3 – 18,5 6,4	20	г/дм ³	экв.

Примечание. Над чертой — пределы содержаний, под чертой — средние значения.

емого района (площади Южно-Пойменная, Дельтулинская, Анакитская и др.) пресные воды встречаются в отложениях триаса, перми, карбона и девона.

Солоноватые воды встречаются в верхнепалеозойско-триасовом, среднепалеозойском и ордовикском комплексах. В ордовикском комплексе они встречаются только в северо-западной части территории (площади Сухотунгусская, Дельтулинская, Холминская), при залегании отложений на небольших глубинах. Слабосоленоватые воды (минерализация 1–3,5 г/дм³), как правило, имеют гидрокарбонатно-сульфатный кальциевый или кальциево-натриевый состав, рН 7,3–8,0. Среди сильно-солончатых вод (минерализация 3,5–10 г/дм³) отмечены более кислые пробы (рН 5,0). Значительно увеличиваются содержания хлора (до 5,5 г/дм³) и натрия (до 1,87 г/дм³). Соответственно преобладающим химическим типом становится хлоридный кальциево-натриевый и натриево-кальциевый, реже встречаются хлоридно-гидрокарбонатные натриево-кальциевые воды.

Солёные воды на территории западной части Тунгусского артезианского бассейна установлены в верхнепалеозойско-триасовом, среднепалеозойском, ордовикском и надсолевом комплексах. По величине рН (6,0–8,0) встречаются воды от слабокислых до слабощелочных. Содержание хлора растёт пропорционально увеличению минерализации и достигает 30 г/дм³ в сильносолёных водах (35–50 г/дм³). Содержание натрия в отдельных пробах достигает 15 г/дм³. Солёные воды содержат достаточно большое, по сравнению с рассолами, количество сульфат-иона (до 3,13 г/дм³). Преобладают хло-

ридные натриевые, натриево-кальциевые и кальциево-натриевые воды.

Рассолы надсолевой формации можно разделить на слабые (до 150 г/дм³), крепкие (150–320 г/дм³) и весьма крепкие (320–500 г/дм³). Рассолы встречаются в верхнепалеозойско-триасовом, среднепалеозойском, ордовикском и надсолевом комплексах. Слабые и крепкие рассолы отмечены на севере территории (Сурингдаконский выступ, Курейская синеклиза) на глубинах от 300 м и ниже в отложениях триаса, перми, силура, ордовика, наибольшим распространением пользуются в отложениях кембрия (рис. 1) [5, 7–9, 18]. По химическому составу они хлоридные с переменным катионным составом и величиной рН 5,3–7,9. Весьма крепкие рассолы, как правило, встречаются на глубинах ниже 1100 м, исключение составляют рассолы, обнаруженные на глубине около 500 м на северо-западе территории (Сурингдаконский выступ). По составу они хлоридные кальциевые или кальциево-натриевые, по величине рН слабокислые. Залегание крепких рассолов на относительно небольших глубинах на севере территории, вероятно, связано с зоной сплошного развития многолетней мерзлоты, которая препятствует инфильтрации атмосферных осадков. Большое влияние на изменение гидрогеологических условий и формирование химического состава подземных рассолов в этой части территории могло быть оказано интенсивным трапповым магматизмом преимущественно в пермское и триасовое время.

Соленосная гидрогеологическая формация. Рассолы этой части разреза обладают максимальной ми-

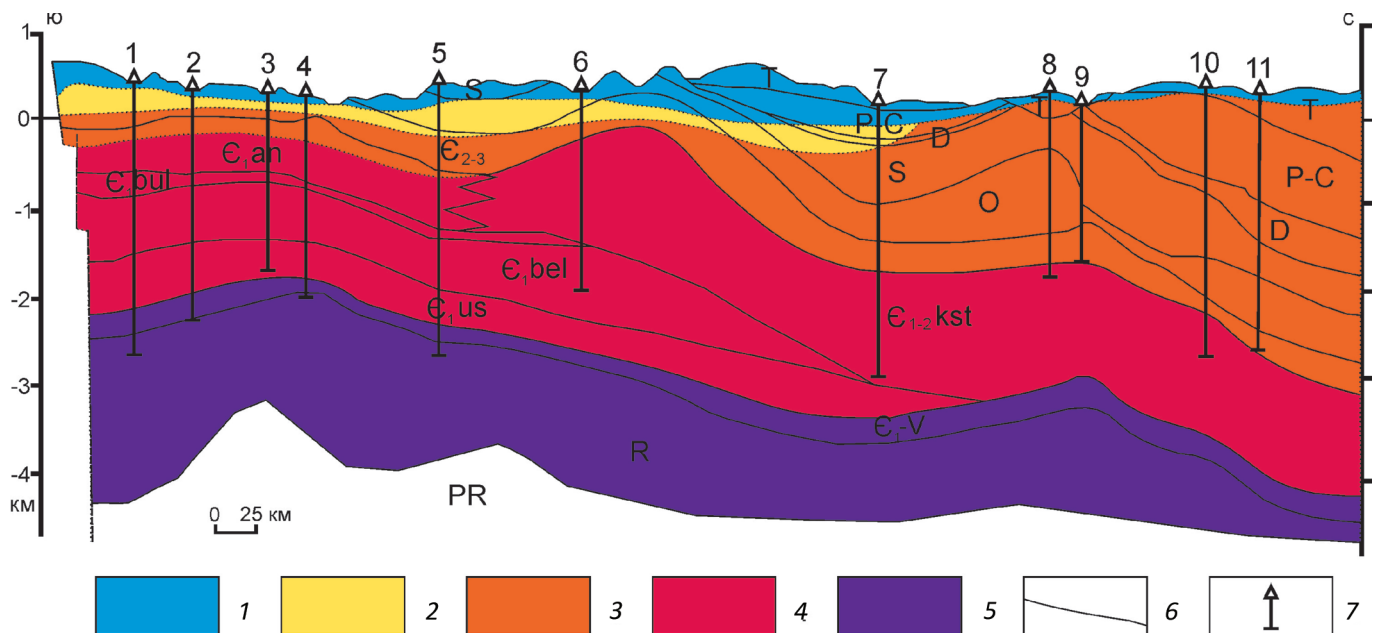


Рис. 1. Гидрогеохимический разрез западной части Тунгусского артезианского бассейна по [4] с изменениями автора: 1 – пресные HCO_3Ca , Ca-Na , Ca-Mg и солончатые $\text{HCO}_3\text{-SO}_4\text{Ca}$, Ca-Na , $\text{Cl-HCO}_3\text{Na-Ca}$; 2 – солёные воды и слабые рассолы Cl Na , Na-Ca ; 3 – крепкие и весьма крепкие рассолы Cl Ca-Na , Ca ; 4 – крепкие, весьма крепкие и предельно насыщенные рассолы Cl Ca , Ca-Na ; 5 – крепкие, реже весьма крепкие рассолы Cl Na-Ca , Ca-Na ; 6 – границы стратиграфических подразделений; 7 – скважины

нерализацией среди всех рассолов изучаемой территории. В среднем минерализация по формации составляет 330—370 г/дм³, достигая в некоторых скважинах максимальных значений 500—520 г/дм³. Можно отметить общую тенденцию, прослеживаемую по всем комплексам формации, — увеличение минерализации с глубиной. Преобладающие химические типы рассолов соленосной формации — хлоридный кальциево-натриевый и кальциевый.

В редких случаях в рассолах отмечается высокое содержание магния, в таком случае они относятся

к хлоридному кальциево-магниевому типу. Рассолы хлоридного натриевого состава встречаются в соленосной формации крайне редко. Анионный состав рассолов соленосной формации весьма однообразен, основной компонент — хлор (табл. 2). Процентное содержание хлора, в среднем по рассолам соленосной формации, составляет 99,6 %-экв. Другие анионы — сульфат и гидрокарбонат-ион практически отсутствуют (0,12 и 0,27 %-экв). Катионный состав рассолов более разнообразен. В хлоридных кальциевых рассолах содержание каль-

Таблица 2

Химический состав рассолов соленосной гидрогеологической формации (г/дм³) западной части Тунгусского артезианского бассейна

Компоненты и показатели	Водоносные комплексы			
	ангарско-литвинцевский	булайский	бельский	усольский
Минерализация	91,2 – 527,5 340,7	201,7 – 441,4 320,6	203,7 – 463,8 344,5	217,5 – 493,4 361,2
pH	3,9 – 8,7 5,5	4,0 – 6,3 5,1	4,0 – 8,0 5,7	4,0 – 9,5 6,0
Cl ⁻	53,9 – 341,0 214,7	125,5 – 276,6 199,6	125,1 – 299,6 215,5	138,1 – 309,8 226,5
SO ₄ ²⁻	0 – 4,34 0,22	0,03 – 1,23 0,25	0,1 – 2,06 0,032	0 – 1,01 0,23
HCO ₃	0 – 1,78 0,38	0,02 – 0,71 0,27	0,06 – 2,14 0,75	0,07 – 1,86 0,84
Ca ²⁺	15,1 – 144,7 62,3	28,7 – 77,0 56,3	16,3 – 96,7 56,9	38,7 – 125,5 71,8
Mg ²⁺	0,6 – 43,9 10,2	4,4 – 10,3 8,1	1,8 – 41,8 10,2	1,0 – 41,3 10,0
Na ⁺	4,9 – 123,5 45,1	30,7 – 100,1 49,7	18,2 – 87,5 50,1	6,7 – 86,6 42,2
K ⁺	0,5 – 32,3 15,6	1,9 – 21,8 12,3	5,1 – 23,8 14,0	9,0 – 26,4 17,9
Число анализов	133	10	47	55
Преобладающие типы вод по классификации С.А. Шукарева [13]	Cl Ca-Na Cl Ca	Cl Ca-Na Cl Na-Ca	Cl Ca-Na Cl Na-Ca	Cl Ca-Na Cl Ca

Примечание. Над чертой — пределы значений, под чертой — средние.

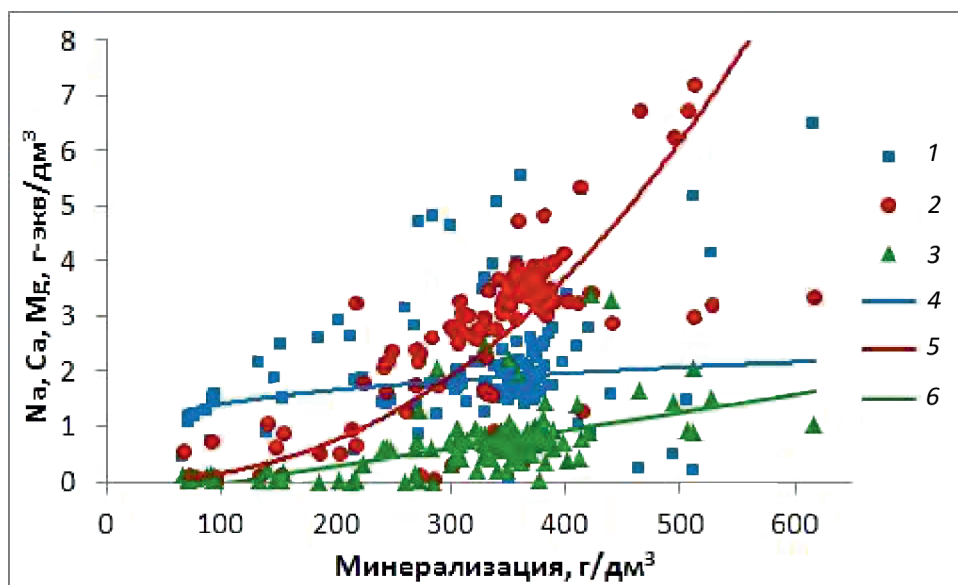


Рис. 2. Взаимосвязь катионного состава с величиной общей минерализации в рассолах ангарско-литвинцевского комплекса западной части Тунгусского артезианского бассейна: содержание: 1 — натрия, 2 — кальция, 3 — магния; линии тренда: 4 — натрия, 5 — кальция, 6 — магния

ция достигает 144,7 г/дм³, при среднем 92,4 г/дм³ (83,9 %-экв.), магний и натрий содержатся в хлоридных кальциевых рассолах примерно в одинаковом количестве (13,7–13,9 %-экв), небольшая доля 5,2 %-экв в среднем приходится на калий. По величине общей минерализации эти рассолы, как правило, относятся к весьма крепким. В среднем их минерализация составляет 397 г/дм³, в редких случаях достигает своего максимума (512 г/дм³). По величине рН рассолы в основном слабокислые и кислые. Отмечается устойчивая взаимосвязь минерализации и содержания основных катионов в рассолах соленосной формации. Характер взаимосвязи показан на примере рассолов ангарско-литвинцевского комплекса. С ростом минерализации увеличивается содержание кальция и магния в рассолах, снижается концентрация натрия (рис. 2), причем концентрация кальция растёт значительно быстрее, чем магния.

Можно отметить, что при минерализации ниже 300 г/дм³ рассолы имеют преимущественно хлоридный натриевый и натриево-кальциевый состав, при повышении солёности — хлоридный кальциево-натриевый. Начиная с минерализации 370 г/дм³ встречаются хлоридные кальциевые рассолы, а при 400 г/дм³ и выше этот тип преобладает. Анализируя изменения минерализации рассолов по площади, можно сделать вывод, что наибольшей солёностью обладают рассолы, залегающие на северо-западе территории, наименьшей — на юге (территория Байкитской антеклизы)

Подсолевая гидрогеологическая формация. Минерализация рассолов в целом ниже, чем в соленосной формации. Наиболее часто встречаются крепкие (150–320 г/дм³) и весьма крепкие (320–500 г/дм³) рассолы, по классификации Е.В. Пиннекера. В среднем минерализация составляет 220–280 г/дм³, последовательно уменьшаясь с глубиной от карбонатного к рифейскому комплексу по мере удаления от соленосных залежей (табл. 3). Установлены закономерности, аналогичные соленосной формации, — изменение минерализации по площади: снижение солёности на Байкитской антеклизе и её увеличение на северо-западе и востоке территории. Здесь встречаются главным образом шесть типов рассолов: хлоридные натриевые, натриево-кальциевые, кальциево-натриевые, кальциевые, кальциево-магниевые и натриево-магниевые, изредка — хлоридные магниевые-кальциевые и магниевые-натриевые. Рассолы с высоким содержанием магния здесь отмечаются чаще, чем в соленосной формации. Высокое содержание магния объясняется изначально преобладанием Mg²⁺ над Ca²⁺ в захороняемых водах, а также взаимодействием с магматическими породами, в частности, магнийсодержащими силикатами [8].

В анионном составе резко доминирует хлор (99,1–9,7 %-экв). Сульфаты (0,1–0,7 %-экв) и гидрокарбонаты (0,1–0,3 %-экв) практически отсутствуют. В составе катионов преобладают кальций и натрий. Их содержание достаточно сильно изменяется в рассолах разных водоносных комп-

Таблица 3

Химический состав рассолов подсолевой гидрогеологической формации (г/дм³) западной части Тунгусского артезианского бассейна

Компоненты и показатели	Водоносные комплексы			
	карбонатный	терригенно-сульфатно-карбонатный	терригенный	рифейский
M	<u>166,3 – 383,0</u> 273,1	<u>185,5 – 301,6</u> 239,5	<u>134,6 – 431,7</u> 254,9	<u>111,9 – 412,6</u> 223,5
pH	<u>2,3 – 8,1</u> 6,0	<u>3,6 – 7,5</u> 5,2	<u>2,3 – 8,7</u> 5,4	<u>3,1 – 8,3</u> 5,6
Cl ⁻	<u>100,8 – 242,7</u> 172,2	<u>116,1 – 183,8</u> 151,3	<u>83,4 – 274,3</u> 160,4	<u>65,3 – 266,7</u> 140,0
SO ₄ ²⁻	<u>0,1 – 1,8</u> 0,7	<u>0,4 – 2,6</u> 0,9	<u>0,1 – 2,8</u> 1,1	<u>0 – 3,4</u> 0,5
HCO ₃ ⁻	<u>0 – 2,1</u> 0,4	<u>0 – 1,0</u> 0,2	<u>0 – 0,9</u> 0,2	<u>0 – 0,9</u> 0,2
Ca ²⁺	<u>11,5 – 83,6</u> 37,2	<u>11,2 – 43,4</u> 21,8	<u>3,8 – 65,1</u> 20,8	<u>2,8 – 118,0</u> 28,0
Mg ²⁺	<u>0,7 – 25,2</u> 10,6	<u>3,2 – 24,6</u> 11,0	<u>1,2 – 35,3</u> 11,8	<u>0,6 – 26,6</u> 7,2
Na ⁺	<u>7,4 – 100,8</u> 44,8	<u>7,9 – 100,0</u> 52,5	<u>18,2 – 127,3</u> 57,7	<u>2,3 – 74,9</u> 44,2
K ⁺	<u>1,4 – 22,1</u> 12,2	<u>1,0 – 5,25</u> 2,4	<u>0,5 – 10,3</u> 2,8	<u>0,2 – 7,9</u> 3,6
Число анализов	42	26	137	100
Преобладающие типы вод по классификации С.А. Щукарева [13]	Cl Ca-Na Cl Ca-Mg Cl Na-Mg	Cl Na-Ca	Cl Na-Ca Cl Na-Ca	Cl Ca-Na

Примечание. Над чертой — пределы значений, под чертой — средние.

Содержания микроэлементов в рассолах западной части Тунгусского артезианского бассейна

Водоносный комплекс	Bг	Sr	Li	Rb	Cs	B	Cr
	г/дм ³			мг/дм ³			
Верхнепалеозойско-триасовый	0 – 0,1 0,02 (19)	–	–	0 – 1,9 0,7 (12)	0 – 0,28 0,05 (12)	0 – 42,1 4,2 (23)	0 – 0,089 0,007 (18)
Ордовикский	0 – 3,6 1,9 (32)	0,3 – 1,9 0,3 (8)	–	0 – 26,8 6,4 (19)	0 – 0,48 0,10 (7)	0 – 180,0 27,4 (23)	0 – 0,001 0,0005 (2)
Надсолевой	0 – 5,3 1,1 (22)	0 – 3,4 0,7 (17)	1,7 – 183 84 (8)	0 – 14,8 2,9 (10)	0 – 0,18 0,03 (7)	0 – 150,0 22,0 (13)	–
Ангарско-литвинцевский	0,3 – 6,2 3,8 (43)	0,6 – 3,7 2,1 (56)	53 – 476 248 (56)	0 – 40,2 19,9 (73)	0 – 3,92 1,27 (52)	0 – 790,0 178,8 (65)	0 – 0,74 0,11 (19)
Булайский	0,4 – 4,8 3,4 (35)	0,8 – 3,5 2,2 (23)	149 – 460 272 (18)	16,4 – 96 29,3 (22)	0 – 2,00 1,11 (12)	0 – 410,0 153,6 (14)	0 – 5,52 2,25 (5)
Бельский	0,3 – 6,0 2,9 (59)	0,4 – 3,9 1,7 (40)	16 – 390 167 (34)	1,5 – 50,6 19,6 (40)	0 – 0,97 0,42 (18)	0 – 685,0 192,6 (32)	0 – 3,00 0,62 (5)
Усольский	0,1 – 9,3 3,9 (57)	0,5 – 9,5 3,3 (38)	49 – 423 169 (32)	0,1 – 137 25,4 (42)	0 – 2,8 0,34 (28)	0 – 650,0 227,7 (36)	0 – 2,20 0,74 (6)
Карбонатный	0,5 – 6,9 4,4 (48)	0,3 – 5,7 1,7 (24)	28 – 239 97 (23)	0 – 34 14 (30)	0 – 1,00 0,06 (22)	0 – 591,0 125,6 (38)	–
Терригенный	0,5 – 6,6 3,3 (170)	0,3 – 5,2 1,1 (125)	22 – 99 42 (90)	0 – 59 4,8 (122)	0 – 3,0 0,22 (78)	0 – 160,0 27,0 (137)	0 – 130,0 0,29(10)
Рифейский	0,4 – 6,2 2,2 (96)	0,3 – 5,1 0,8 (63)	23 – 287 65 (48)	0 – 34,5 5,5 (60)	0 – 1,0 0,12 (38)	0 – 300,0 13,1 (81)	0 – 6,00 1,12 (20)

Примечание. Над чертой — предельные значения; под чертой — средние, в скобках — число определений, прочерк — нет данных.

лексов. По величине pH преобладают кислые и слабокислые рассолы, реже встречаются нейтральные, слабощелочные.

Подземные рассолы изучаемой территории имеют высокие содержания таких элементов, как литий, бром, стронций, рубидий, цезий, бор, хром и др. (табл. 4). Наибольшей обогащенностью всеми микрокомпонентами обладают рассолы соленосной формации, которые преимущественно являются хлоридными кальциевыми.

Выводы

1. Проведенный анализ показал, что в западной части Тунгусского артезианского бассейна залегают пресные, солоноватые, солёные воды и рассолы различных химических типов и степени минерализации. Особенность гидрогеохимии подземных вод данной территории — ограниченное распространение зоны солоноватых и солёных сульфатных вод.

2. Следует отметить важную региональную закономерность, заключающуюся в увеличении минерализации с глубиной. Эта тенденция прослеживается практически во всех частях разреза. На территории Байкитской антеклизы и Катангской седловины такая закономерность отсутствует в отложениях венда и рифея, где находятся залежи нефти и газа. На северо-западе территории (южная часть Курейской синеклизы) происходит резкое увели-

чение минерализации на глубинах до 700 м, что, вероятно, связано со сплошным распространением многолетней мерзлоты, интенсивным проявлением траппового магматизма; это обуславливает отсутствие поступления инфильтрационных вод.

Тенденция увеличения минерализации с юга на северо-запад прослеживается практически во всех водоносных комплексах, включая комплексы надсолевой и подсолевой формаций. Вероятнее всего, эта закономерность связана с уменьшением мощность солей с севера на юг [10].

3. По химическому составу установлены рассолы различных типов. С увеличением минерализации один химический тип сменяет другой в определённой последовательности: от хлоридных натриевых до кальциевых. Наибольшие минерализацию, а также концентрации лития, брома, стронция, рубидия, цезия, бора и других микроэлементов имеют хлоридные кальциевые рассолы. Эти рассолы залегают в соленосной гидрогеологической формации, но реже встречаются в надсолевой и подсолевой. С точки зрения использования рассолов как гидроминерального сырья хлоридные кальциевые рассолы являются наиболее перспективными, поскольку в значительной степени обогащены ценными компонентами и широко распространены в разрезе.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ, грант № 13-05-01075.

ЛИТЕРАТУРА

1. Алексеев С.В. Криогидрогеологические системы Якутской алмазоносной провинции. Новосибирск: Академическое издательство «Гео», 2009. 319 с.
2. Анциферов А.С., Букаты М.Б., Дзюба А.А., Пиннекер Е.В., Сурнин А.И., Шварцев С.Л. Геологические запасы промышленных рассолов основных нефтегазоносных регионов Лено-Тунгусской провинции // Результаты работ по Межведомственной региональной научной программе «Поиск» за 1994 год. Новосибирск: СНИИГГиМС, 1996. Ч. 1. С. 139–142.
3. Басков Е.А. Минеральные воды и палеогидрогеология Сибирской платформы. М.: Недра, 1977. 148 с.
4. Букаты М.Б. Равновесие подземных рассолов Тунгусского бассейна с минералами эвапоритовых и терригенных фаций // Геология и геофизика. 1999. Т. 40. № 5. С. 750–763.
5. Букаты М.Б. Гидрогеологическое строение западной части Сибирской платформы // Геология и геофизика. 2009. Т. 50. № 11. С. 1201–1217.
6. Валяшко М.Г. Геохимические закономерности формирования месторождений калийных солей. М.: Изд-во МГУ, 1962. 397 с.
7. Вожов В.И. Подземные воды Тунгусского бассейна. М.: Недра, 1977. 104 с.
8. Вожов В.И. Подземные воды и гидроминеральное сырье Лено-Тунгусской нефтегазоносной провинции. Новосибирск: СНИИГГиМС, 2006. 209 с.
9. Гидрогеология СССР. Том XVIII. Красноярский край и Тувинская АССР / под ред. И.К. Зайцева. М., Недра, 1972. 479 с.
10. Конторович А.Э., Сурков В.С., Трофимук А.А. Геология нефти и газа Сибирской платформы. М.: Недра, 1981. 552 с.
11. Крайнов С.Р., Рыженко Б.Н., Швец В.М. Геохимия подземных вод (Теоретические, прикладные и экологические аспекты). М.: Наука, 2004. 677 с.
12. Пиннекер Е.В. Рассолы Ангаро-Ленского артезианского бассейна. М.: Наука, 1966. 332 с.
13. Питьева К.Е. Гидрогеохимия. М.: Изд-во МГУ, 1978. 324 с.
14. Сидкина Е.С. Гидрогеологические условия юго-западной части Тунгусского бассейна // Известия ТПУ. 2011. Т. 319. № 1. С. 183–186.
15. Толстихин Н.И. Подземные воды и минеральные источники Восточной Сибири. Материалы по подземным водам Восточной Сибири. Иркутск: Изд-во АН СССР, 1957, С. 7–32.
16. Шварцев С.Л. Гидрогеохимия зоны гипергенеза. М.: Недра, 1998. 366 с.
17. Шварцев С.Л. Общая гидрогеология. М.: Недра, 1996. 423 с.
18. Шварцев С.Л. Химический состав и изотопы стронция рассолов Тунгусского бассейна в связи с проблемой их формирования // Геохимия. 2000. № 11. С. 1170–1184.

Институт геохимии и аналитической химии
им. В.И. Вернадского РАН
(119991, ГСП-1, г. Москва, ул. Косыгина, д.19;
e-mail: SidkinaES@yandex.ru)