

Код МРНТИ 38.61.19

*Д.Б. Ченсизбаев, Д.К. Аденова

Институт гидрогеологии и геоэкологии им. У.М. Ахмедсафина (г. Алматы, Казахстан)

ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ШУ-САРЫСУЙСКОЙ ПРОВИНЦИИ

Аннотация. В статье описываются гидрогеологические условия Шу-Сарысуйской провинции, влияющие на формирование промышленных подземных вод данной территории, что является объектом исследования. В пределах провинции выделяются области промышленных вод, являющиеся гидрогеологическими структурами второго порядка и характеризующиеся общностью гидрогеологических условий и определенным составом подземных вод, в котором содержание микроэлементов имеет соответствующий уровень концентрации. Из всего разнообразия природных вод, которые могут содержать промышленные концентрации микроэлементов, рассмотрены пластовые хлоридные рассолы артезианских бассейнов. Из многочисленных геохимических типов хлоридных рассолов только пять классов могут накапливать промышленные концентрации галогенных и редких элементов.

Ключевые слова: промышленная вода, гидроминеральное сырье, хлоридные рассолы, микроэлементы, переработка, добыча, концентрация, артезианский бассейн, гидрогеологический район, галогены.

Шу-Сарысу провинциясының гидрогеологиялық ерекшеліктері

Аңдатпа. Мақалада Шу-Сарысу провинциясының гидрогеологиялық жағдайы сипатталған, осы аумақтағы өндірістік жер асты суларының қалыптасуына әсер етеді, бұл зерттеу объектісі болып табылады. Провинция шегінде екінші ретті гидрогеологиялық құрылымдар болып табылатын және микроэлементтер мөлшері тиісті концентрация деңгейіне ие болатын жалпы гидрогеологиялық жағдайлармен және жер асты суларының белгілі бір құрамымен сипатталатын өндірістік сулардың учаскелері бөлінеді. Мақсат элементтерінің өндірістік шоғырлануы болуы мүмкін табиғи сулардың әртүрлілігімен, артезиандардан жасалған пластикалық хлоридтер алқаптары қарастырылады. Хлоридті тұзды ерітінділердің көптеген геохимиялық түрлерінің тек бес класы ғана галоген мен сирек элементтердің өндірістік концентрациясын жинақтай алады.

Түйінді сөздер: өнеркәсіптік су, гидроминералды шикізат, хлоридтік тұздық, микроэлементтер, өңдеу, өңдеу, концентрация, артезиан бассейні, гидрогеологиялық округ, галоген.

Hydrogeological features of the Shu-Sarysu province

Abstract. The article describes the hydrogeological conditions of the Shu-Sarysu province, influencing the formation of industrial groundwater of this territory, which is the object of the study. Within the province areas of industrial water, which are hydrogeological structures of the second order and are characterized by common hydrogeological conditions and a certain composition of groundwater, in which the content of trace elements has an appropriate level of concentration. Of all the variety of natural waters, which may contain industrial concentrations of trace elements, the formation chloride brines of artesian basins are considered. From numerous geochemical types of chloride brines only five classes can accumulate industrial concentrations of halogen and rare elements.

Key words: industrial water, hydromineral raw materials, chloride brines, trace elements, processing, extraction, concentration, artesian basin, hydrogeological region, halogens.

Введение

В современных условиях подземные воды, как составная часть водных ресурсов страны и как наиболее ценное полезное ископаемое, представляют важный стратегический ресурс водной безопасности и устойчивого развития Казахстана. Актуальность комплексного освоения подземных вод возрастает при решении проблем острого дефицита воды, глобальной энергетической безопасности и истощаемости природных ресурсов, которые выделены в числе 10 основных глобальных вызовов в Послании первого Президента Республики Казахстан Н.А. Назарбаева «Стратегия «Казахстан 2050 – новый политический курс для нового Казахстана в быстро меняющихся исторических условиях».

На территории Республики Казахстан сосредоточены огромные ресурсы промышленных подземных вод. В подземных рассолах отмечены промышленные концентрации редких элементов, щелочных металлов, минеральных солей.

Интерес к промышленным подземным водам, как к объекту использования, в последнее время все больше возрастает, но, несмотря на это, они остаются нетрадиционным сырьем и опыт их переработки ограничен. Количество компонентов, извлекаемых из подземных, а тем более попутных вод, невелико [1].

Промышленными водами считаются все природные воды, которые содержат в растворимом виде полезные компоненты или их соединения в количествах, обеспечивающих их рентабельную добычу и переработку¹. Главным показателем для промышленных вод является содержание полезного компонента, который выгодно извлекать из этих вод. Промышленными считаются природные воды, содержащие (мг/л): лития – не менее 10, рубидия ≥ 3 , цезия $\geq 0,5$, стронция ≥ 300 , брома ≥ 200 , йода ≥ 10 , бора ≥ 100 , калия ≥ 1000 , германия $\geq 0,05$.

При оценке целесообразности использования промышленных вод, кроме концентраций элементов,

существенное значение имеют запасы вод, условия будущей эксплуатации (глубина и дебит скважин, глубина динамического уровня, температура и газовый состав вод).

Подземные рассолы являются уникальным типом природных ресурсов и представляют интерес в качестве нового и перспективного вида полезных ископаемых Южно-Казахстанской области. Поликомпонентный состав и значительные прогнозные ресурсы крепких и сверхкрепких хлоридных рассолов определяют экономическую эффективность их комплексного использования для получения продукции в виде солей щелочных и щелочноземельных металлов. Это позволит также решить ряд природоохранных проблем, связанных с существующей в данное время практикой перевода рассолов, попутно вскрываемых при разведке и отработке твердых, нефтяных и газовых месторождений полезных ископаемых, в категорию жидких отходов даже без попытки

¹Изыскания и оценка запасов промышленных подземных вод: методическое пособие. – М.: Недра, 1971. – 244 с.

их утилизации. Из первичных ресурсов рассолы представляют интерес по сравнению с традиционными полезными ископаемыми из-за более низких затрат на переработку [2].

Однако реальные перспективы экономически эффективного освоения рассолов Шу-Сарысульской провинции как комплексного минерального сырья до сих пор остаются низкими. Это вызвано, прежде всего, сложностью технологических схем вследствие высокой общей минерализации рассолов, поликомпонентности состава, разницы в концентрациях, содержащихся в них макро- и микрокомпонентов и необходимости селективного выделения металлов с близкими свойствами.

Решение этих проблем требует разработки научно обоснованного подхода к оценке рассолов как комплексного полезного ископаемого. Сложность физико-химической системы рассолов вызывает необходимость научного обоснования возможности селективного выделения компонентов, что позволит предложить эффективные технологии их переработки.

Анализ Шу – Сарысуйского гидрогеологического района

Шу-Сарысульская провинция расположена в центральной части Южного Казахстана, ограничиваясь с юго-востока – хребтом Киргизский Алатау, с востока – Шу-Илийскими горами и хребтом Кендыктас, с севера – платом Бетпак-Дала, на северо-западе сливается с Туранской равниной (рис. 1). Шу-Сарысульская впадина, выполненная осадками различного состава и возраста, содержит несколько напорных водоносных горизонтов и комплексов, образующих в совокупности крупный Муюнкум-Бетпакдалинский артезианский бассейн. Здесь выделяются напорные и безнапорные воды в допалеозойских, палеозойских, юрских, меловых, палеогеновых, неогеновых, четвертичных отложениях, отделенных друг от друга более или менее выдержанными водоупорами. Вышележащие горизонты получают питание в пределах их распространения и в краевых частях впадины – в горных и высокогорных сооружениях, а глубоко залегающие водоносные

горизонты – в периферийной части впадины, где они выходят на поверхность, за счет инфильтрации атмосферных осадков и фильтрации поверхностных вод.

В наиболее погруженных частях впадины возможно присутствие седиментационных или отжатых из глин поровых вод.

Физико-географические условия территории впадины и ее геоструктурные особенности предопределяют здесь формирование различных типов подземных вод, резко отличающихся как по площади распространения, так и по глубине.

В вертикальном разрезе бассейна выделяются следующие гидрогеохимические зоны:

- зона пресных и слабосоленых вод с минерализацией до 3 г/кг;
- зона солоноватых вод с минерализацией 3-10 г/кг;
- зона соленых вод с минерализацией от 10 до 50 г/кг;
- зона рассолов с минерализацией от 50 до 350 г/кг.

Зона пресных и слабосоленых вод распространена в южной и юго-восточной части описываемого района и приурочена к водоносным горизонтам неоген-четвертичных отложений, палеоцен-эоцена и меловому комплексу. Глубина распространения зоны изменяется от нескольких до 150 м, а напорные воды мелового комплекса залегают на глубинах до 300-600 м. По химическому составу воды изменяются от гидрокарбонатных и сульфатно-гидрокарбонатных натриевых до хлоридных натриевых. Из микрокомпонентов в воде установлены в незначительных количествах: йод (до 0,02 мг/л), бор (до 0,35 мг/л), бром (до 0,017 мг/л).

Зона солоноватых вод имеет почти повсеместное распространение; занимает всю нижнюю часть геологического разреза и приурочена к отложениям среднего-верхнего палеозоя и мезозой-кайнозоя. Воды хлоридные и сульфатные натриевые с содержанием борного

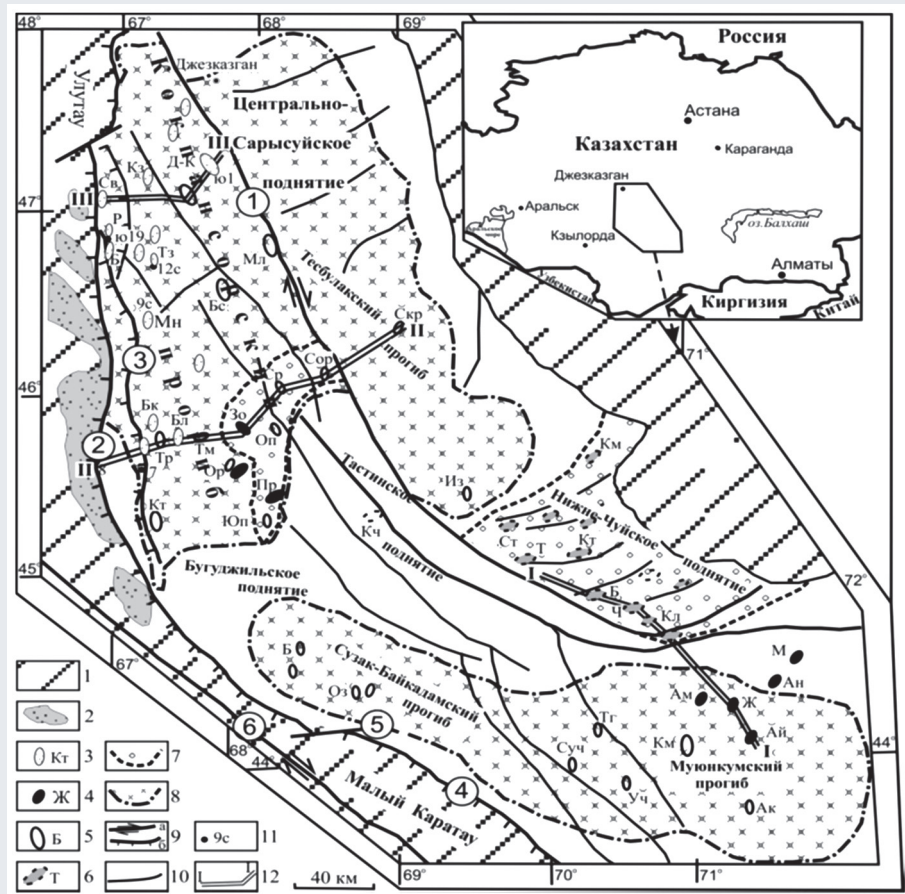


Рис. 1. Обзорная карта Шу-Сарысульской провинции.
Сурет 1. Шу-Сарысу губерниясының шолу картасы.
Figure 1. Overview map of Shu-Sarysu region.

ангидрида до 28 мг/л, брома – до 9 мг/л и йода – до 0,3 мг/л.

Зона соленых вод распространена по северной и восточной периферии бассейна, примыкающей к Шу-Илийским горам, приурочена к верхнемеловым и палеозойским образованиям, а на остальной территории занимает отдельные участки; здесь глубина распространения подзоны определяется первыми десятками метров. По качеству воды преимущественно хлоридные и натриевые.

Зона рассолов покрыта скважинами только на юге района (левобережье р. Шу) и приурочена к палеозойским осадочным и осадочно-вулканогенным комплексам. Воды напорные, хлоридные натриевые с высоким содержанием кальция с минерализацией от 60,6 г/кг до 253,8 г/кг при глубинах опробования до 2236 м. В составе воды содержатся (мг/л): йод (до 13,5), бром (до 300), борный ангидрид (до 65) и калий (до 1260). Из растворимых газов преобладают азот с содержанием метана до 23% и в незначительном количестве аргон и гелий.

Попутные соленые воды и рассолы, вскрывающиеся при отработке месторождений нефти и газа, также являются гидроминеральным сырьем для получения промышленной продукции, но, как правило, оно превращается в отходы, т. к. либо изливается или сбрасывается на поверхность, либо закачивается в подземные горизонты, что требует значительных дополнительных затрат, а главное, наносит огромный ущерб окружающей природной среде. Кроме того, по геологическим оценкам, рассолы содержат большую часть мировых извлекаемых запасов лития [3, 4].

Рассолы – подземные высокоминерализованные воды, насыщенные различными микро- и макроэлементами, – представляют собой потенциальное гидроминеральное сырье. Огромные запасы соленых вод и рассолов, залегающие в недрах земли, а также в озерных комплексах, являются крупнейшим источником ряда металлов и других ценных товарных продуктов^{2, 3}.

Однако извлечение лития из рассола с экономичным содержанием лития затруднено из-за высоких концентраций магния, что нарушает традиционные процессы осаждения лития, снижая чистоту конечных продуктов лития [5, 6].

Микрокомпонентный состав подземных вод

В Шу-Сарысуйской провинции редкометалльных вод, пространственно совпадающей с одноименной тектонической впадиной и артезианским бассейном Южного Казахстана, выделяются три области.

1. Кокпаксорская область редкометалльных вод представлена в основном рассолами с минерализацией 30-150 г/л, приуроченными к отложениям верхнего девона – нижнего карбона, залегающим на глубинах 570-3500 м. Притоки промышленных рассолов получены из скважин, пробуренных на площадках Западный Опак, Орталык, Южно-Придорожная, Северно-Придорожная.

2. Моинкумская область редкометалльных вод приурочена к отложениям верхнего девона и нижнего карбона, залегает на глубинах 870-2500 м и представлена рассолами с минерализацией 130-230 г/л. При испытании скважин на площадях Амангельды, Айрақты, Саякпай, Жаркум дебиты скважин составили 0,02-0,3 л/с, содержание микрокомпонентов, мг/л: литий – 30-67; рубидий – до 3,2; цезий – 0,1-0,9; стронций – 540-3550; калий – 600-1750; йод – 6-90; бром – 345-2620; бор – 1,6-40.

3. Тесбулакская область редкометалльных вод слабо изучена по одиночным скважинам, вскрывшим на глубинах 2900-3500 м верхнедевонские-нижнекарбоновые отложения с рассолами, минерализация которых достигает 130-320 г/л. Дебиты скважин низкие (сотые доли л/с). В водах отмечены повышенные концентрации калия (до 3500); йода (19); брома (до 3000 мг/л). В скважинах 1-п (пл. Кулькудук) и 1,2 (пл. Шуйская) в различных интервалах получены притоки подземных рассолов, содержащих значительные концентрации редких элементов и галогенов⁴.

Описание микрокомпонентного состава подземных вод приводится по одоносным горизонтам и комплексам применительно к поискам редких элементов. Подземные воды четвертичных отложений (Q) вскрываются мелкими скважинами в юго-восточной части пересохшего озера Арысь и, по всей вероятности, представляют собой погребенную рапу вышеназванного озера.

По химическому составу воды хлоридные натриево-магниевые с минерализацией 254,6-266,1 г/л. Содержание микрокомпонентов (мг/л): *Li* – 10,3-20,0; *Rb* – 0,08-0,18; *Cs* – 0,05-0,03; *Sr* – 4,5-10,8. Водоносный комплекс палеогеновых отложений (P) имеет повсеместное распространение. В Бетпак-Дале и предгорных хребтах Каратау они выходят на дневную поверхность, а на остальной территории погружаются на разную глубину. Глубина залегания водоносного комплекса изменяется от нескольких метров у северной границы площади его распространения, где он имеет свободную поверхность, до 300-600 м в юго-западной части (Сузакская впадина), где он является напорным. Водовмещающие породы представлены линзами разнозернистых песков с редкими включениями мелкой гальки и гравия, прослоями песков, рыхлых песчаников, алевролитов, чередующихся с прослоями и линзами глин различных цветов. Минерализация вод пестрая и варьирует в широких пределах – от 0,8 г/л до 93 г/л. По составу воды хлоридно-сульфатные натриево-кальциевые, сульфатные кальциево-натриевые, хлоридные натриевые, хлоридно-сульфатные натриевые.

Содержание микрокомпонентов (мг/л): *Li* – 0,05-0,63; *Rb* – 0,02-0,05; *Cs* < 0,05; *Sr* – 1,0-8,0; *I* – 0,05-1,2; *Br* – 1,8-6,2; *B* – 0,75-7,0; *K* – 1,2-14,0. Кроме того, спектральным анализом в воде обнаружено (%): *Ni* – 0,0001; *Cu* – 0,0001; *Mn* – 0,008; *As* – 0,0002; *Pb* – 0,0001; *Mo* – 0,0006; *Zn* – 0,003. Водоносный комплекс верхнемеловых отложений (*K*₂) вскрывается скважинами на глубинах

²Зелинская Е.В., Воронина Е.Ю. Теоретические аспекты использования гидроминерального сырья. – М.: Академия Естествознания, 2009. – 118 с.

³<http://www.rae.ru/monographs/56>

⁴Смолар В.А., Буров Б.В., Веселов В.В. и др. Водные ресурсы Казахстана. – Алматы: НИЦ «Гылым», 2002. – 596 с.

50-240 м и представлен прослоями песков, песчаников, глин, алевролитов и аргиллитов. В толщах меловых отложений на участках, перекрытых глинами палеогена, воды имеют напорный характер.

По качеству воды от пресных до соленых с минерализацией 0,8-22,8 г/л. Состав вод преимущественно сульфатно-хлоридный натриевый.

Содержание микрокомпонентов (мг/л): $Li - 0,05-0,14$; $Rb < 0,05$; $Cs < 0,05$; $Sr - 1,0-6,0$; $I - 0,03-0,25$; $Br - 1,8-5,0$; $B - 0,5-1,25$; $K - 0,1-6,5$. Подземные воды верхнепермских отложений (P2) вскрыты скважиной ПП на нефтегазоразведочной площади Центральная, на глубине свыше 500 м. Водовмещающие породы представлены песчаниками, алевролитами и аргиллитами.

Минерализация воды составляет 103 г/л, химический состав – хлоридный натриевый. Содержание в воде микрокомпонентов (мг/л): $Li - 0,05$; $Rb - 0,08$; $Cs < 0,05$; $Sr - 24,0$; $I - 1,6$; $Br - 100,0$; $B - 3,0$; $K - 38,0$. Спектральным анализом в воде обнаружены (%): $Zn - 0,0001$; $Al - 0,0005$; $Cu - 0,0003$; $Mn - 0,002$.

Подземные воды нижнекарбонных отложений (C1) вскрыты скважинами на нефтегазоразведочных площадях Придорожная, Амангельды, Наркум, Саякпай и Колькудук на глубинах 918-2240 м. Водовмещающие породы представлены песчаниками, аргиллитами, известняками. Минерализация вод варьирует в широких пределах – от 130,7 г/л до 270,4 г/л. По составу воды хлоридные кальциево-натриевые и хлоридно-натриевые, pH = 6,3.

Содержание в воде микрокомпонентов (мг/л): $Li - 12,0-67,0$; $Rb - 0,18-4,0$; $Cs - 0,06-0,3$; $Sr - 110,0-1230,0$; $I - 10,0-40,0$; $Br - 31,0-2050,0$; $B - 5,0-20,0$; $K - 270,0-1220,0$.

Спектральным анализом в воде обнаружены (%): $Pb - 0,0004$; $Zn - 0,003$; $Al - 0,001$; $Mn - 0,002$.

Водоносный комплекс нерасчлененных верхнедевонских – нижне-карбонных отложений (ДЗ-С1) вскрывается скважинами на нефтегазоразведочных площадях Придорожная, Южно-Придорожная, Каменистая, Амангельды и Колькудук на глубинах 1600-2955 м.

Разрез отложений представлен песчаниками, известняками, аргиллитами, переслаиванием каменной соли и известняков.

Подземные воды, приуроченные к отложениям верхнего девона – нижнего карбона, имеют минерализацию 212-327 г/л. По составу воды хлоридные натриевые, хлоридные кальциево-натриевые и хлоридные натриево-кальциевые.

Содержание в воде микрокомпонентов (мг/л): $Li - 0,45-130,0$; $Rb - 0,05-12,5$; $Cs - 0,13-5,65$; $Sr - 1500-4800$; $I - 4,0-39,0$; $Br - 300,0-2570$; $B - 3,0-100$; $K - 358,0-3400$.

Спектральным анализом в воде обнаружены (в %): $Cu - 0,00002$; $Mo - 0,0001$; $Zn - 0,003$; $Al - 0,001$; $Ni - 0,0001$; $Mn - 0,003$.

Водоносный комплекс девонских и каменноугольных отложений залегает под рыхлой толщей мезо-кайнозойских пород, в гидрогеологическом отношении они слабо изучены. Некоторые сведения о водоносности этих пород имеются по глубоким структурным скважинам, пробуренным на нефтегазоразведочных участках: Амангельды, Айрақты, Жаркум и Южно-Придорожный. При простреле интервала 1776-1784 м (скв. 2-г), 1780-1806 м (скв. 1-г), 1914-2111 м (скв. 6-г), 2888-2892 м (скв. 7-г) имел место приток в скважины

рассолов. Водовмещающими породами являются известняки и песчаники, вскрываемые на глубине 1700-2900 м (скв. 17-г) (рис. 2).

Гидрогеологические условия провинций определяются геологическими, геоморфологическими и климатическими особенностями. Все они влияют на условия формирования, транзита и разгрузки подземных вод, которые приурочены к различным по возрасту, генезису и составу пород и характеризуются различными гидрогеологическими особенностями. В пределах Шу-Сарысуйской провинции выделяются водоносные комплексы:

- водоносный комплекс четвертичных отложений;
- водоносный комплекс неогеновых отложений;
- водоносный комплекс средне- и верхнеолигоценных отложений;
- водоносный горизонт верхне-эоцен-нижнеолигоценных отложений;
- водоносный комплекс палеогеновых отложений;
- водоносный комплекс верхне-меловых отложений;
- водоносный комплекс юрских отложений;
- водоносный комплекс верхне-палеозойских отложений;
- водоносный комплекс средне-палеозойских пород.

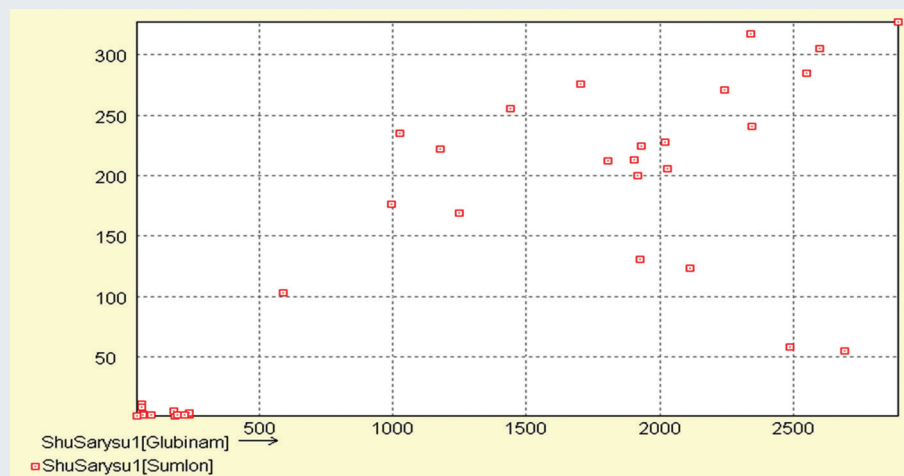


Рис. 2. Зависимость минерализации подземных вод (SumIon, г/л) от глубины вскрытия (Glubina, м) для Шу-Сарысуйской провинции.

Сурет 2. Жер асты суларының минералдануының тәуелділігі (SumIon, г/л) ашу тереңдігінен (Glubina, м) Шу-Сарысу провинциясы үшін.

Figure 2. Dependence of groundwater mineralization (SumIon, g/l) from the depth of the autopsy (Glubina, m) for the Shu-Sarysu province.

Заключение

Основными критериями группировки объектов в конкретные участки и территории являются стадия геолого-гидрогеологической изученности регионов, количество извлекаемой пластовой воды (рассолов) и ее микрокомпонентный

состав. Из многочисленных геохимических типов хлоридных рассолов только следующие пять классов: *Cl-Ca-Na*, *Cl-Na-Ca*, *Cl-Mg-Ca*, *Cl-Na-Mg* и *Cl-Ca-Mg* – могут накапливать промышленные концентрации галогенных и редких элементов.

Основными исходными показателями являются гидрогеологическая изученность, содержание полезных компонентов, их запасы и коэффициенты извлечения. Они определяются в результате поисковых и разведочных работ и технологических исследований.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Шадрунова И.В., Зелинская Е.В., Волкова Н.А., Орехова Н.Н. Проблемы и перспективы освоения ресурсов гидроминерального сырья. // *Материалы Международного совещания «Современные процессы комплексной и глубокой переработки труднообогатимого минерального сырья» (Плаксинские чтения 2015).* – Иркутск: ООО «ПЦ РИЭЛ», 2015. – С. 54-58 (на русском языке)
2. Choubey P.K., Chung K.S., Kim M.S., Lee J.C., Srivastava R.R. Предварительный обзор использования выдающегося элемента хранения энергии лития. Часть II: из морской воды и отработанных литий-ионных аккумуляторов (ЛИА). // *Разработка полезных ископаемых.* – 2017. – Вып. 110. – С. 104-121 (на английском языке)
3. Swain B. Извлечение и переработка лития: обзор. // *Технология разделения и очистки.* – 2016. – Вып. 172. – С. 388-403 (на английском языке)
4. Christmann P., Gloaguen E., Labbé J.-F., Melleton J., Piantone P. Глобальные ресурсы лития и проблемы устойчивого развития. // *Ресурсы, добыча, аккумуляторы и переработка.* – 2015. – С. 1-40 (на английском языке)
5. Vikström H., Davidsson S., Höök M. Доступность лития и перспективы будущего производства. // *Прикладная энергетика.* – 2013. – Т. 110. – С. 252-266 (на английском языке)
6. Tran T., Luong V.-T. Процессы производства лития. // *Ресурсы, добыча, аккумуляторы и переработка.* – 2015. – С. 81-124 (на английском языке)

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Шадрунова И.В., Зелинская Е.В., Волкова Н.А., Орехова Н.Н. Гидроминералды шикізат ресурстарын игерудің мәселелері мен болашағы. // *Халықаралық кеңес материалдары «Байытылуы қиын минералды шикізатты кешенді және терең өңдеудің заманауи процестері» (Плаксин оқулары 2015).* – Иркутск: ЖШҚ «ПЦ РИЭЛ», 2015. – Б. 54-58 (орыс тілінде)
2. Choubey P.K., Chung K.S., Kim M.S., Lee J.C., Srivastava R.R. Литий энергиясын сақтаудың көрнекті элементін пайдалануға алдын-ала шолу. II бөлім: теңіз суынан және пайдаланылған литий-иондық батареялардан (LIB). // *Пайдалы қазбаларды өндіру.* – 2017. – Шығ. 110. – Б. 104-121 (ағылшын тілінде)
3. Swain B. Литий алу және қайта өңдеу: шолу. // *Бөлу және тазалау технологиясы.* – 2016. – Шығ. 172. – Б. 388-403 (ағылшын тілінде)
4. Christmann P., Gloaguen E., Labbé J.-F., Melleton J., Piantone P. Литийдің ғаламдық ресурстары және тұрақты даму мәселелері. // *Ресурстар, өндіру, аккумуляторлар және қайта өңдеу.* – 2015. – Б. 1-40 (ағылшын тілінде)
5. Vikström H., Davidsson S., Höök M. Литий қол жетімділігі және болашақ өндіріс перспективалары. – 2013. – Т. 110. – Б. 252-266 (ағылшын тілінде)
6. Tran T., Luong V.-T. Литий өндіру процестері. // *Ресурстар, өндіру, аккумуляторлар және қайта өңдеу.* – 2015. – Б. 81-124 (ағылшын тілінде)

REFERENCES

1. Shadrunova I.V., Zelinskaya E.V., Volkova N.A., Orekhova N.N. *Problemy i perspektivy osvoeniya resursov gidromineral'nogo syr'ya [Problems and prospects of development of hydromineral raw materials resources]. // Materialy Mezhdunarodnogo soveshhaniya «Sovremennye processy kompleksnoj i glubokoj pererabotki trudnoobogatimogo mineral'nogo syr'ya» (Plaksinskie chteniya 2015) = Materials of the International Meeting «Modern processes of complementary and deep processing of hard-to-enrich mineral raw materials» (Plaksin readings 2015).* – Irkutsk: LLC «PC REAL», 2015. – P. 54-58 (in Russian)

2. Choubey P.K., Chung K.S., Kim M.S., Lee J.C., Srivastava R.R. Advance review on the exploitation of the prominent energy-storage element Lithium. Part II: from sea water and spent lithium ion batteries (LIBs). // *Minerals Engineering*. – 2017. – Vol. 110. – P. 104-121 (in English)
3. Swain B. Recovery and recycling of lithium: a review. // *Separation and Purification Technology*. – 2016. – Vol. 172. – P. 388-403 (in English)
4. Christmann P., Gloaguen E., Labbé J.-F., Melleton J., Piantone P. Global Lithium Resources and Sustainability Issues. // *Resources, Extraction, Batteries and Recycling*. – 2015. – P. 1-40 (in English)
5. Vikström H., Davidsson S., Höök M. Lithium availability and future production outlooks. // *Applied Energy*, – 2013. – Vol. 110. – P. 252-266 (in English)
6. Tran T., Luong V.-T. Lithium Production Processes. Resources, Extraction, Batteries and Recycling. – 2015. – P. 81-124 (in English)

Сведения об авторах:

Ченсизбаев Д.Б., PhD докторант кафедры «Гидрогеология, инженерная и нефтегазовая геология» Satbayev University (г. Алматы, Казахстан), младший научный сотрудник лаборатории промышленных и геотермальных вод Института гидрогеологии и геоэкологии им. У.М. Ахмедсафина (г. Алматы, Казахстан), chensizbayev84@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0001-7673-4228>

Аденова Д.К., PhD, старший научный сотрудник лаборатории моделирования гидрохимических и геоэкологических процессов Института гидрогеологии и геоэкологии им. У.М. Ахмедсафина (г. Алматы, Казахстан), dinara1982_82mail.ru; <https://orcid.org/0000-0001-7973-811X>

Авторлар туралы мәліметтер:

Ченсизбаев Д.Б., Satbayev University, «Гидрогеология, инженерлік және мұнайгаз геология» кафедрасының PhD докторанты (Алматы қ., Қазақстан), У.М. Ахмедсафин атындағы гидрогеология және геоэкология институты, Өнеркәсіптік және геотермалдық сулар зертханасының кіші ғылыми қызметкері (Алматы қ., Қазақстан)

Аденова Д.К., PhD, У.М. Ахмедсафин атындағы гидрогеология және геоэкология институты, гидродинамикалық және геоэкологиялық үдерістерді модельдеу зертханасының аға ғылыми қызметкері (Алматы қ., Қазақстан)

Information about the authors:

Chensizbayev D.B., PhD student at the Department of Hydrogeology, Engineering and Petroleum Geology Satbayev University (Almaty, Kazakhstan), Junior Researcher at the Laboratory of Industrial and Geothermal Waters of the Institute of Hydrogeology and Geoecology named after U.M. Akhmedsafin (Almaty, Kazakhstan)

Adenova D.K., PhD, Senior Researcher at the Laboratory for Modeling Hydrochemical and Geoecological Processes of the Institute of Hydrogeology and Geoecology named after U.M. Akhmedsafin (Almaty, Kazakhstan)

Работа была выполнена в рамках программы «Тепло-энергетический, минерально-сырьевой и лечебно-оздоровительный потенциал термоминеральных и промышленных подземных вод Казахстана. Оценка состояния и тенденций изменения гидрогеохимических показателей подземных вод под влиянием природно-климатических изменений и антропогенных нагрузок» (Грант № BR10262555).

Авторы выражают благодарность Комитету геологии Министерства экологии, геологии и природных ресурсов Республики Казахстан.