

Zr и редкоземельным элементам, и концентрировании Fe в речных отложениях (в русле и долине).

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ № 18-55-80015.

ЛИТЕРАТУРА

1. Домаренко, В.А. Скважинное подземное выщелачивание комплексных железо-редкоземельных руд Западно-Сибирского пояса — технология XXII века / В.А. Домаренко, И.М. Тепляков, В.И. Молчанов и др. // Геотехнологические методы освоения месторождений твердых полезных ископаемых: науч.-практ. конф. с междунар. участием, 17–19 ноября 2015 г.: Сб. докладов. Федеральное агентство по недропользованию (Роснедра), ВИМС. — М.: ВИМС, 2016. — С. 166–174.
2. Недра России. В 2 т. Т. 1. Полезные ископаемые / Под ред. Н.В. Межеловского, А.А. Смыслова. — СПб.; М.: Горный ин-т, Межрегион. центр по геол. картографии, 2001. — 547 с.
3. Парначев, В.П. Минералы Томской области / В.П. Парначев, А.Л. Архипов. — Томск: Изд-во «Печатная мануфактура», 2012. — 84 с.
4. Россыпные месторождения России и других стран СНГ. Минералогия, промышленные типы, стратегия развития минерально-сырьевой базы / Отв. ред. Н.П. Лаверов, Н.Г. Патык-Кара. — М.: Научный мир, 1997. — 479 с.
5. Савичев, О.Г. Трансформация минерального состава донных отложений от истоков к устьям рек / О.Г. Савичев, В.А. Домаренко, Е.В. Перегудина, О.Е. Лепокурова // Изв. Томск. политехн. ун-та. Инжиниринг георесурсов. — 2018. — Т. 329. — № 7. — С. 43–56.
6. Требования к производству и результатам многоцелевого геохимического картирования масштаба 1:200 000. — М.: ИМГРЭ, 2002. — 92 с.
7. Циркон-ильменитовые россыпные месторождения как потенциальный источник развития Западно-Сибирского региона / Под ред. Е.Н. Трибунского, М.С. Паровинчака. — Кемерово: ООО «Сарс», 2001. — 214 с.
8. Шварцев, С.Л. Геологическая эволюция и самоорганизация системы вода — порода: в 5 т. Т. 2. Система вода–порода в условиях зоны гипергенеза / С.Л. Шварцев, Б.Н. Рыженко, В.А. Алексеев и др. / Отв. ред. Б.Н. Рыженко. — Новосибирск: СО РАН, 2007. — 389 с.

© Коллектив авторов, 2020

Домаренко Виктор Алексеевич // viktor_domarenko@mail.ru
Перегудина Елена Владимировна // pere-elena@mail.ru
Савичев Олег Геннадьевич // OSavichev@mail.ru
Лепокурова Олеся Евгеньевна // LepokurovaOY@ipgg.sbras.ru
Вильгельм Евгений Андреевич // wilgelmgekan@mail.ru

УДК. 553.493.34 : 556.314 : 553.041

Ключарев Д.С.¹, Михеева Е.Д.² (1 — ФГБУ «ИМГРЭ», 2 — ФГБУ «Гидроспецгеология»)

К ВОПРОСУ О СОДЕРЖАНИЯХ ЛИТИЯ И ПОПУТНЫХ КОМПОНЕНТОВ В ПРОМЫШЛЕННЫХ ВОДАХ ПЕРСПЕКТИВНЫХ ПЛОЩАДЕЙ ТЕРРИТОРИИ РОССИИ

Рассмотрены аспекты литиеносности промышленных подземных вод. Приведены генетическая классификация обогащенных литием подземных вод, диапазоны содержания лития, рубидия, цезия в рассолах, факторы локализации. Даны краткие характеристики территорий Российской Федерации, перспективных на данный тип

гидроминерального сырья. Сделаны выводы о необходимых действиях по промышленному освоению литиеносных промышленных подземных вод. **Ключевые слова:** литий, содержания лития, минеральное сырье, промышленные подземные воды, перспективные площади.

Klyucharev D.S.¹, Mikheeva E.D.² (1 — IMGRE, 2 — Hydro-spetcgeologya)

ON THE GRADE OF LITHIUM AND BY-PRODUCTS IN LITHIUM-BEARING INDUSTRIAL GROUNDWATERS OF POTENTIALLY PERSPECTIVE TERRITORIES OF RUSSIA

*In this article are considered main aspects of the lithium-bearing industrial groundwaters. The genetic classification of lithium-bearing groundwaters, grade of lithium, rubidium, and caesium in brines, and localization factors are given. This article shows a brief review of the territories of the Russian Federation that are potentially perspective for this type of hydromineral raw materials. Conclusions on the necessary actions for the industrial development of lithium-bearing industrial groundwaters are made. **Keywords:** lithium, lithium content, mineral raw materials, industrial groundwater, potential areas.*

Одним из основных мировых источников литиевого сырья являются поверхностные рассолы, дающие 65 % мировой добычи лития. В мировой добывающей отрасли салары Чили и Аргентины занимают второе и третье места по суммарным объемам добычи. Значимую долю литиевого сырья в Китае получают при разработке солончаковых озер Тибета и, в меньшей степени, рассолов нефтяных месторождений.

Взятый Россией курс на модернизацию промышленности диктует необходимость замены импортного сырья на собственное. Литий — стратегический металл, без которого не могут обойтись ядерная и военная промышленность. В России перспективными потенциальными источниками литиевого сырья могут стать промышленные подземные воды.

К промышленным подземным водам или гидроминеральному сырью относят подземные воды и рассолы, количество и качество которых позволяют в конкретных гидрогеологических условиях вести рентабельную добычу этих вод и извлечение из них полезной продукции существующими техническими средствами с применением современных технологических процессов [2].

С начала 1990-х годов работы по выявлению и разработке этих нетрадиционных для России источников лития ведутся на отдельных объектах как частными компаниями, так и заинтересованными недропользователями.

Анализ совокупности накопленных данных о влиянии разломных зон с проявлениями магматизма разного состава, локализации нефтяных и газовых залежей, температурного режима на формирование вод, обогащенных редкими щелочными элементами, позволил охарактеризовать гидрогеотермический и гидродинамический режим наиболее исследованных

бассейнов, газовый, солевой и микрокомпонентный состав подземных вод и предложить генетическую классификацию промышленных вод, обогащенных литием (табл. 1).

Изучение данного вида полезного ископаемого проводилось еще с довоенных времен. Активные исследования проводились в 1950–1970-х годах. В 1977 г. при изучении редкометалльных подземных вод услов-

Таблица 1
Генетическая классификация подземных вод, обогащенных литием

Типы (состав)	Общая минерализация, г/л, от-до	Микроэлементы, мг/л (от- до)			Главные (сопутствующие)	Факторы локализации	
		Li	Rb	Cs		Геотектонические	Структурные
Углеводородные рассолы Cl-Na-Ca, Cl-Ca-Na)	70–400	От 10–100 до 140	3–23	до 0,5	I, Br, Sr (B, Ba, Mn, Ag, Hg, Cu, Zn, Pb, Ta)	Платформенные впадины и прогибы	Под экраном дислоцированных соленосных или глинистых отложений
Азотно-метановые рассолы а) азотно-метановые (Cl-Na-Ca)	до 250	около 10	< 3	—	I, Br, Sr	Периферийные приподнятые части впадин и прогибов	Под маломощными недислоцированными экранами
б) азотно-углекисло-метановые, азотно-углекисло-водородно-метановые (Cl-Mg-Na, Cl-Ca-Mg, Cl-Ca-Na, Cl-Na-Ca, Cl-Na)	325 до 600	От 145 до 1000	до 62	от 0,5 до 12	Br, Sr (B, Ba, Mn, Ag, Hg, Cu, Zn, Pb, Nb, Ta, Cd)	Наиболее прогнутые участки прогибов и впадин	Зоны наибольшей тектонической активизации — сочленение субмеридианальных и субширотных высокоамплитудных региональных разломов
Азотно-углекислые воды (Cl-Na, Cl-Na-K)	до 4	до 10	до 2,5	до 0,7	Li, Rb, Cs (As, B, F)	Области современного вулканизма, древние кальдеры по периферии вулканических структур	Под экранирующими толщами над зонами глубинных разломов

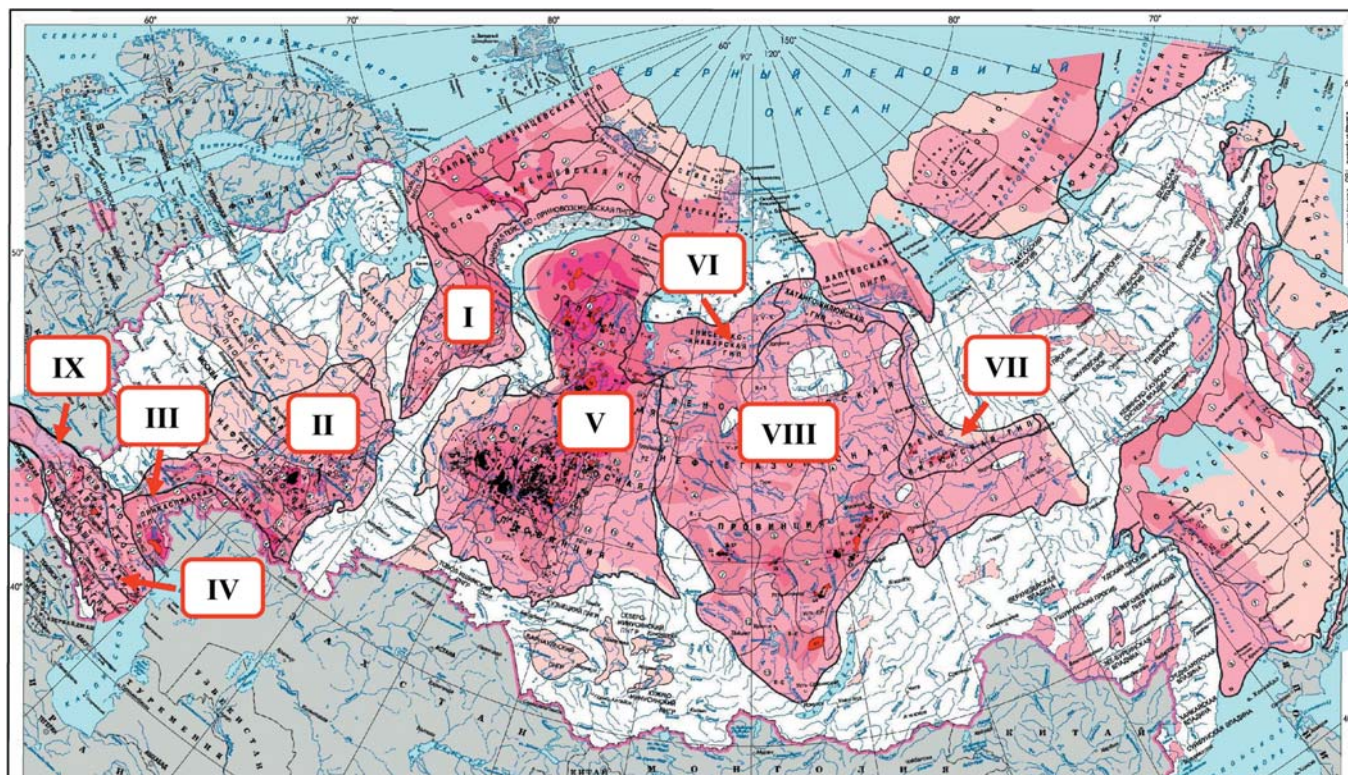


Рис. 1. Основные нефтегазоносные провинции России: I — Тимано-Печорская; II — Волго-Уральская; III — Прикаспийская; IV — Северо-Кавказская; V — Западно-Сибирская; VI — Енисейско-Анабарская; VII — Лено-Вилуйская; VIII — Лено-Тунгусская; IX — Черноморская

ные минимальные концентрации были приняты для следующих компонентов (в мг/л): Li — 10, Rb — 3, Cs — 0,5, Sr — 300, Ge — 0,05 [8].

Анализ геологического строения территории России позволил выделить в пределах нефтегазоносных провинций ряд территорий, перспективных для локализации литиеносных промышленных вод — Республика Крым, Республика Дагестан, Республика Саха (Якутия), Ставропольский край, Астраханская, Оренбургская, Иркутская области, возможно, районы нефтеносных полей Западной Сибири (рис. 1).

Республика Крым

Характерной особенностью литиеносности вод Крымского п-ова является пространственное тяготение к двум нефтеносным областям: Причерноморско-Крымской (северная часть Тарханкутского п-ова) и Индоло-Кубанской (Керченский п-ов).

Территория Тарханкутского п-ова перспективна на выявление промышленно-значимых объемов литиеносных рассолов. Здесь выявлены средние и мелкие нефтегазоносные месторождения с попутными солеными водами.

Так, например, на Октябрьском проявлении (северо-западная часть Тарханкутского п-ова) термальные воды связаны с напорным нижнемеловым водоносным

горизонтом. Дебиты скважин при самоизливе составляют от 1494,7 до 3456 м³/сут. Основной ионно-солевой состав вод хлоридно-гидрокарбонатно-натриевый, в котором присутствует бром, йод и бор. Воды находятся на глубине около 1800 м, а глубже 2000–3000 м расположено Октябрьское нефтяное месторождение, среднее по масштабам. Притоки нефти и газа получены с газовых залежей триаса — нижнего апта в интервале 2668–2787 м, сложенных песчаниками и алевролитами.

Значительные скопления нефти и газа Причерноморско-Крымской нефтеносной области связаны с терригенными породами готерив-барремского яруса и вулканогенно-обломочными отложениями альба [4], что может говорить о следующих поисковых признаках выявления лития в попутных водах нефтяных месторождений северной и северо-западной части Тарханкутского п-ова [6]:

1. Наличие газо- нефтепроявлений, нескольких средних и мелких месторождений.

2. Новоселовское поднятие, валообразная структура, ограниченная крупным разломом, по которому может происходить привнос глубинных флюидов (газ, рассол).

3. Повышенные содержания брома.

Керченские озера представляют собой замкнутые соленые водоемы и могут быть условно разделены на материковые (находятся в центральной части п-ова) и морские (расположены вдоль береговой линии) [5] (рис. 2).

Оз. Марфовское и Ачи располагаются в солончаковых впадинах. Возможно, повышенная концентрация лития связана с сорбционными свойствами глин, аргиллитов.

Таблица 2
Содержания лития и попутных компонентов в озерах Крымского п-ова

Участок	Содержание полезного компонента			
	Li, мг/л	Br, кг/м ³	NaCl, кг/м ³	Mg, кг/м ³
Оз. Марфовское	50	—	—	—
Оз. Ачи	20–45	—	—	—
Оз. Западный Сиваш	—	0,47–2,03	185–264	9,8–42,3

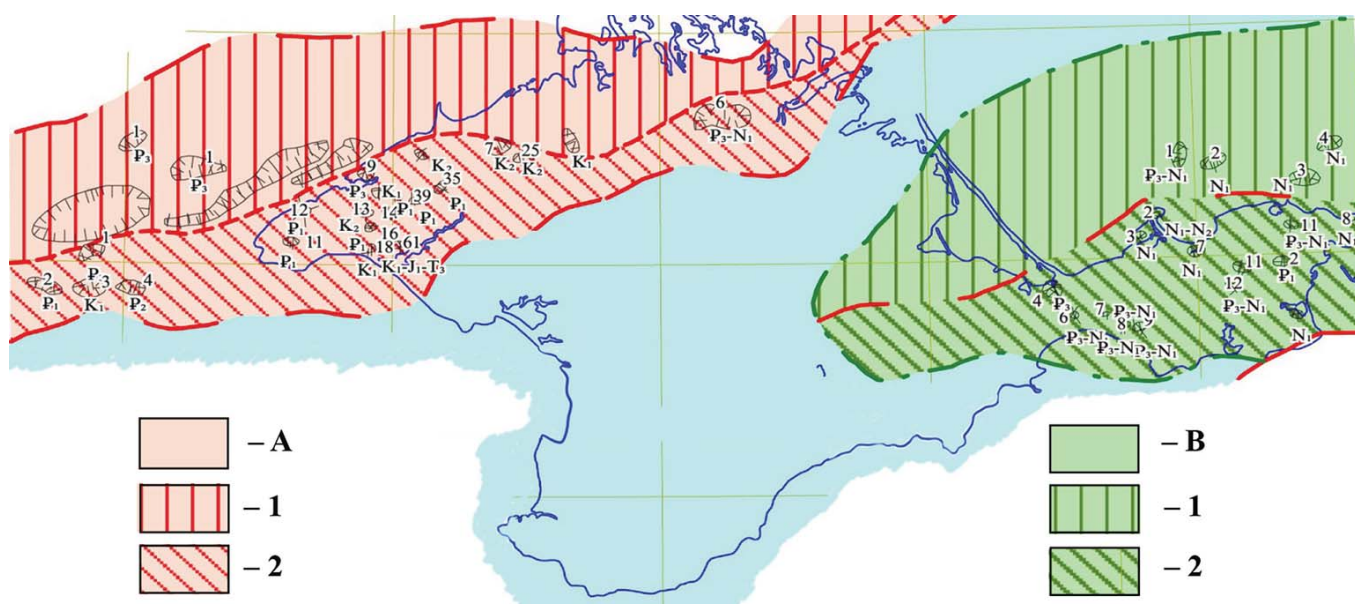


Рис. 2. Перспективные на гидроминеральное сырье площади Республики Крым: А — Причерноморско-Крымская нефтеносная область: 1 — Голицынская зона, 2 — Тарханкутско-Джанкойская зона; В — Индоло-Кубанская нефтеносная область: 1 — Южносивашско-Тимашевский район, 2 — Керченский район

Следует отметить и Перекопскую группу соляных озер, куда входят озера: Старое, Красное, Киятское, Айгуль, Керлеут, Сиваши и др. (табл. 2). Рудой в этих озерах является поверхностная и донная рапа, которая является сырьевой базой для Крымского содового и Перекопского бромного заводов. С поваренной солью извлекаются и другие полезные компоненты (бром, магний).

Республика Дагестан

На территории этих регионов в геолого-технологическом плане наиболее подготовленными к промышленному освоению являются геотермальные рассолы Берикейского, Тарумовского месторождений и попутные высокоминерализованные воды эксплуатационных скважин Сухокумской группы газонефтяных скважин Терско-Кумского артезианского бассейна в северной части Республики Дагестан и погребенные геологические структуры юга республики (табл. 3, 4) [6, 7].

Оренбургская область

На изучаемой территории в 1970-х годах сотрудники ФГУП «ИМГРЭ» проводили работы, связанные с редкими элементами и в том числе литием в пластовых водах пробуренных скважин.

Основные перспективные площади выявления гидроминерального сырья приурочены к Бузулукской впадине, Восточно-Оренбургскому поднятию и северной прибортовой зоне Прикаспийской низменности (рис. 3).

Содержание лития в отдельных пробах, отобранных ИМГРЭ на этой территории, достигало в ряде случаев 744 мг/л (табл. 5).

Восточная Сибирь

Лено-Тунгусская нефтегазоносная провинция, площадью 2,8 млн км², составляет около 80 % от нефтегазоперспективных земель всего региона.

В настоящее время притоки концентрированных

промышленных рассолов отмечены в пределах всего вертикального разреза венда и нижнего кембрия юга Сибирской платформы. Нижняя терригенная часть разреза изучена глубоким бурением более детально по сравнению с верхней галогенно-карбонатной. Для терригенной формации разработаны структурные модели рассолонасыщенных резервуаров, охарактеризованы их фильтрационно-емкостные свойства. Для карбонат-

Таблица 3
Перспективные площади

Расположение, перспективные площади (состав рассола)	Возраст, пород (или глубина, км)	Минерализация, г/л (температура)	Дебит, м ³ /сут	Среднее содержание, мг/л
Предкавказский прогиб, Вал Карпинского (Cl — Na — Ca)	K ₁ — J ₃	122	20–68	Li — 28
Прикумско-Тюленевский вал. Площади: Солончаковая, Южно-Сухокумская, Степная, Озек — Суат, Правобережная	3, 1–3, 5; 2, 8–5, 4 (сам вал)	128		Li — до 57
Площадь Тарумовская (Cl — Ca — Na)	J ₂	202 (T — 200°C)	12000, 80 (средний)	Li — 196–200 Sr — 933, Cs — 2, 0, Rb — 7, 6
Терско-Каспийский прогиб. Площади: Старогрозненская, Малгобег — Вознесенская	K ₂	—	От 30–174 до 882	Li — 22
Брахиантиклинальные структуры — Берикей, Дагогни, Дузлак, Хошмензил. Берикей (Южный Дагестан)	—	62	70000–40000	Li — 42–46 Rb — 2, 8 Cs — 0, 94

Таблица 4
Минимальные промышленные концентрации ценных элементов в гидроминеральных ресурсах и сравнительные содержания их на месторождениях Дагестана, мг/л

Полезные компоненты и минеральные соли	Минимальные концентрации	Средние концентрации полезных компонентов		
		Тарумовское	Берикейское	Сухокумская группа
Литий	10	200	42	40–44
Бром	250	630–815	165–200	365
Йод	18	62	11–13	10
Оксид бора	200	240–300	330–360	—
Бор	60	—	—	80
Рубидий	3	15	2, 2–6	2, 8
Цезий	0, 5	3–5	1, 1–1, 6	0, 81
Калий	350–1000	4500	550	1225
Магний	1000–5000	950	300–400	—
Стронций	300	1000–1700	475–1600	795
Германий	0, 05	—	—	—
Радий	10 ⁻⁹ –10 ⁻⁵	—	—	—
Сульфат натрия	5*10 ⁴	—	—	—
Хлорид натрия	5*10 ⁴	66–122	24, 6–40, 5	—
Сода	5*10 ⁴	2, 0	1, 35	—



Рис. 3. Перспективные площади Прикаспийской НГП, Оренбургская область: 1 — нефте-газопоисковые скважины с отмеченными в пластовых водах содержаниями лития, 2 — поисковые профили; 3 — лицензионные площади, основа — «Яндекс-карты»

ной части разреза эти вопросы не решены, хотя потенциальные резервуары для локализации промышленных рассолов в карбонатных горизонтах могут быть крупнее по размерам, их фильтрационные параметры в ряде случаев существенно выше, чем в терригенных коллекторах, а ожидаемые геологические запасы выше, по крайней мере, на порядок. Притоки предельно-насыщенных рассолов с максимальной концентрацией ценных компонентов приурочены именно к резервуарам галогенно-карбонатной гидрогеологической формации. Работа глубоких скважин на перелив с промышленными дебитами от первых сотен до первых тысяч кубометров в сутки — весомый аргумент в пользу перспектив литиенности галогенно-карбонатной толщи. Эти площади распространения пород галогенно-карбонатной формации, нередко с фонтанными проявлениями концентрированных рассолов, наиболее перспективны с геолого-экономических позиций [3] (рис. 4).

Практически на всех разведочных площадях в процессе глубокого бурения в галогенно-карбонатном комплексе, наряду с нормальными (3–30 м³/сут), были получены фонтанные притоки концентрированных рассолов с дебитом до

7 тыс. м³/сут и более с повышенными содержаниями лития (табл. 6).

В своем роде «эталонные» Ковыктинское газоконденсатное и Знаменское месторождения характеризуются высокими содержаниями не только лития, но и сопутствующих компонентов (табл. 7).

В галогенно-карбонатной части разреза наиболее перспективны по дебитам и содержаниям лития рассолы из карбонатных прослоев в нижней соленосной усольской свите (осинский горизонт в низах свиты и балыхтинский горизонт в ее верхах), а также в нижней части следующей соленосной бельской свиты (христофоровский горизонт). Из-за сложного тектонического строения горизонты не имеют пластового залегания,

Таблица 5
Перспективные площади Оренбургской области

Площадь	№ скв.	Горизонт (индекс)	Интервал перфорации, м	Содержание в рассолах, мг/л			
				Li	Rb	K	Na
Иртекская	100	P ₁ (Кунгурский)	1533	744	1,5	9900	100800
Мустаевская	6	P ₁ (Кунгурский)	1306	95,5	8,3	33400	33700
Мустаевская	6	P ₁ (Кунгурский)	1276	660	8	—	—
Чинаревская	П-2	P ₁ (Кунгурский)	1897	172	10,5	22500	4650
Тананыкская	156	C ₁	2440-2447	11	0,3	835	61000
Никольская	257	C ₁	2106-2112	10,5	0,5	835	28000
Ташлинская	1	Казанский	820	71	12,4	—	—
Ташлинская	9	Казанский	833	99	12,4	—	—
Иртекская	104	Казанский	1220	66,5	7,7	—	—



Рис. 4. Перспективные на литий площади Лено-Тунгусской НГП

а разбиты разломами на блоки, выклиниваются в ядрах нагнетания. По проводящим разломным зонам иногда обогащаются горизонты в верхних соленосных свитах. В подсолевом терригенном комплексе наиболее перспективны рассолы из парфеновского и боханского горизонтов, но с крайне низкими дебитами (табл. 8, 9).

Концентрации лития в пластовых водах на эксплуатационных месторождениях Иркутской нефтяной компании колеблются от 31 до 105 мг/л (табл. 10). Среднее содержание лития по месторождениям — Дулисьминское, Даниловское, Аянское, Талаканское, Ярактинское — составляет 54,7 мг/л.

Среднее содержание лития в пластовых водах по Верхнечонскому месторождению из верхнечонских горизонтов и коры выветривания составляет 33 мг/л при колебаниях от 10 мг/л до 69 мг/л (табл. 10). К сожалению, имеющихся доступных данных о дебитах пластовых вод недостаточно.

Пластовые воды, поступающие на установку

Таблица 6

Химический состав весьма крепких (320-500 г/л) и предельно насыщенных (более 500 г/л) рассолов галогенно-карбонатной гидрогеологической формации

№ п/п	Площадь (месторождение), № скв. интервал, м, дата отбора пробы	Минерализация, г/дм ³	Li, мг/дм ³
	Балаганкинская, 2 2295-230823.09.84	534	258
2	Балаганкинская, 3, 2110-2142 21.05.82	528,5	140
3	Балыхтинская, 5, 1122-113018.09.60	598,9	517
4	Балыхтинская, 5, 1122-113030.10.59	569,2	—
5	Верхоленская, 100, 2080-2226, 20.06.86	411,4	135
6	Верхоленская, 131, 2086, 10.08.83	436,4	282
7	Знаменская, 3, 1827-1881, 21.03.86	560,1	366
8	Илимская, 5, 2245-2284, 01.09.68	540,6	286
9	Карахунская, 2, 2786-2787, 04.05.89	555,6	—
10	Ковыктинская, 3, 2810-2857, 02.04.90	550,5	312
11	Ковыктинская, 18, 2076-(забой), 27.01.94	581,4	—
12	Кутурминская, 156, 2755-2765	547,2	564
13	Омолойская, 13, 1830-1888, 27.01.94	627,9	480
14	Рудовская, 176, 2061-2091, 06.05.89	458,5	246
15	Седановская, 34, 2786-2846	377	—
16	Тутурская, 1, 1790-1846, 17.07.62	540,8	700
17	Ковыктинская, 52, 1875-(забой), 19.12.98	544,1	—

Таблица 7

Среднее содержание редких элементов в концентрированных рассолах

Месторождение	Содержание, г/дм ³								
	K	Na	Mg	Ca	Sr	Cl	I	Br	Li мг/дм ³
Знаменское	4,3	24	29,2	120,9	0,62	325,3	0,09	9,6	415
Ковыктинское	8,0	55	36,5	150,3	4,5	345	0,19	10	600

подготовки нефти (УПН), расположенную на Ярактинском месторождении, содержат 60 мг/л лития, т.е. среднее по месторождениям сопоставимо с истинным средним в пластовой воде, поступающей на УПН. Общий дебит пластовой воды составляет 1200 м³/сут и, следовательно, ежегодно с пластовой водой поступает на УПН около 26 т лития.

Подтоварные воды получают на УПН из двух объемов: пластовых вод дебитом 1200 м³/сут и водозаборных вод для подготовки нефти на УПН дебитом (скв. 3 — 759 м³/сут и скв. 4 — 297 м³/сут) 1056 м³/сут, всего — 2256 м³/сут. Содержание лития в подтоварной воде составляет 30 мг/л. Следовательно, ежегодный привнос лития в подтоварную воду достигает

безвозвратно теряемых 24 т. Общее же количество возможного получения лития из пластовых вод, поступающих на УПН и из подтоварной воды, сопоставимы.

Следует заметить, что приведенные данные не будут постоянными, т.к. и дебиты поступающих пластовых вод и содержания полезных компонентов в них

будут изменяться со временем. В связи с этим необходимы режимные наблюдения за пластовыми и подтоварными водами УПН.

Кимберлитовые трубки Якутии (Трубка «Удачная»)

Одним из наиболее доступных источников литиеносных промышленных вод являются рассолы раз-

рабатываемых кимберлитовых трубок. Литиеносные поликомпонентные рассолы кимберлитовой трубки «Удачная» относятся к водам хлоридного-кальциевого типа слабо концентрируемым по литию галургическими приемами.

В дренажных водах карьера трубки «Удачная» среднее содержание лития достигает 148 мг/л (максимальное зафиксированное — 300 мг/л) [1].

Анализ отобранных проб (2015 г.) рассолов кимберлитовой трубки «Удачная», выполненный ЗАО «Экостар-Наутех» (табл. 11), показал уровень содержания хлорида лития 1,1 кг/м³. При этом признаков аномальной радиоактивности рассола обнаружено не было.

Западная Сибирь

Западно-Сибирская нефтегазоносная провинция (ЗСНГП), одна из крупнейших на территории России, характеризуется наличием сотен скважин на нефть и газ, огромным количеством информации по химическим составам попутных вод.

Пластовые воды ЗСНГП, как и пластовые воды артезианских бассейнов, содержат повышенные концентрации йода, брома, лития, бора, стронция, магния, рубидия, цезия, германия и др. Однако практическое использование попутных вод затрудняется следующими факторами.

Во-первых, количество попутных вод (обычно незначительное по сравнению с запасами месторождений собственно гидроминерального сырья) целиком определяется режимом

Таблица 8

Средние содержания полезных компонентов рассолов по перспективным участкам галогенно-карбонатной формации юга Сибирской платформы по материалам исследований глубоких скважин

Участок	Среднее содержание компонентов, мг/л				
	B	Mg	Sr	Br	Li
Знаменский	92,4	28000	2770	10620	366
Балаганкинский	110	15200	4100	9450	250
Верхоленский	234	9728	2700	6500	280
Балыхтинский	—	—	5920	8080	517
Рудовский	—	—	—	4300	246

Таблица 9

Содержание ценных компонентов в промышленных рассолах продуктивных горизонтов терригенной гидрогеологической формации юга Сибирской платформы

Продуктивный горизонт	Среднее содержание компонента, мг/л								
	K	Mg	Mn	B	Cs	Rb	Sr	Br	Li
Парфеновский	10000	14000	50	50	1	10	2200	5000	80
Боханский	5000	10000	100	30	5	40	2500	5000	130

Таблица 10

Микроэлементный состав попутных хлоркальциевых вод эксплуатационных месторождений Непско-Ботуобинской нефтегазоносной области (Иркутская область)

Месторождение	Минерализация, г/л	Содержание, мг/л				
		J	Sr	B	Br	Li
Дулисьминское	458,6	7,2	2770	95	7000	50
Даниловское	413,155	6,94		229,7	6133	105
Аянское	348,7	4,23		277,3	5330	31,2
Талаканское	406	5–10	1340		6260	43
Ярактинское	322–412		3660		4500	58
Ярактинское, 11–П, 2638–2660	350		1920		4380	41,3
Ярактинское, КП–15, пластовая вода, поступающая на УПН	378	6,98	3150	70	6842	59,5
Ярактинская УПН, подтоварная вода	162	4,13	1490	32	2843	30
Верхнечонское, 105	401	н/об	2200	28,8	5200	32
Верхнечонское, 59	450		2806		6600	53
Верхнечонское, 31	384	3,78	2428	62,48	5930	51,84
Верхнечонское, 31	398	6,52	1480	49,2	5533	38
Верхнечонское, 70	396	6,68	1500	36,9	6660	33,39
Верхнечонское, 30	379	3,27	2276	25,52	5860	69,6
Верхнечонское, 53	385	5,88	2188	70,4	6400	51,84
Верхнечонское, 31	341	4,06	2065	40,4	5066	30

Таблица 11
Химический состав рассолов трубки «Удачная»

Состав рассола	Номер пробы					
	1	2	3	4	5	6
Li, мг/л	191	206	193	191	200	209
LiCl (г/л)	1,17	1,26	1,18	1,17	1,22	1,28
Na/NaCl (г/л)	27,8/70,6	25,1/63,8	26,9/68,3	25,6/65,0	24,5/62,2	22,0/55,8
K/KCl (г/л)	10,9/20,8	12,0/22,8	10,9/20,8	11,2/21,3	11,7/22,3	11,9/22,7
Ca/CaCl ₂ (г/л)	78,2/217,0	81,2/225,3	79,2/219,8	79,2/219,8	75,2/208,7	77,2/214,2
Mg/MgCl ₂ (г/л)	15,2/60,2	14,0/55,4	13,1/53,1	14,0/55,4	14,6/57,8	13,4/52,9
Cl (г/л)	232,4	243,4	229,3	234,0	227,8	223,1
Fe общ.	0,09	0,085	0,089	0,112	0,074	0,164
Br (г/л)	4,27	4,53	4,27	4,27	4,27	4,40
B (г/л)	0,099	0,169	0,098	0,027	0,064	0,0229
Общее содержание (г/л)	369,96	368,8	363,4	362,8	352,4	347,3

эксплуатации месторождений основных полезных ископаемых и в первую очередь нефтяных залежей.

Во-вторых, повсеместная эксплуатация нефтяных месторождений с поддержанием пластового давления путем законтурной или внутриконтурной закачки воды в разрабатываемые горизонты приводит к разубоживанию попутных вод и ухудшению их качества как гидроминерального сырья.

В-третьих, для попутных вод нефтяных месторождений необходима очистка от нефтепродуктов и нафтенных кислот, стоимость которой сопоставима со стоимостью добычи и переработки гидроминерального сырья.

Колоссальный объем информации по литиенности ЗСНГП, к сожалению, не достаточно структурирован для целей прогноза и ждет своих исследователей.

Таким образом можно отметить следующее:

1. Валовое опробование промышленных вод проводилось в советское время, единичными работами были отобраны пробы в 2000-х и в 2014–2015 гг.

2. Методика проведения региональных гидрогеологических работ хотя и предусматривает отбор пробы на микроэлементы, в том числе и на литий, но специализированные гидрогеохимические исследования на него проводятся в редких случаях. Обычно выполняемый при данных работах отбор гидрохимических проб из поверхностных источников или неглубоких скважин только в редких случаях позволяет оценить изменения содержания лития с глубиной. Обычные гидрогеологические исследования не дают достаточной глубинности для анализа литиенности промышленных вод, в то время как бурение на глубины, сопоставимые с глубинами нефтегазовых месторождений, крайне затратно.

3. Попутные воды газонефтяных месторождений и алмазных трубок имеют наибольшие содержания лития, но при этом остается открытым вопрос о ком-

плексном извлечении и договоренность с основным недропользователем. И, если для попутных вод газонефтяных месторождений внесены изменения в законодательную базу, то воды алмазоносных трубок остаются под действием старых статей закона «О недрах».

4. При содержаниях лития выше 60 мг/л и достаточных объемах подземных вод возможно получение в промышленных масштабах.

5. Как и большинство геологических проектов, извлечение лития из промышленных вод является высокзатратным и высоко-

рисковым предприятием. Возможно, работы в рамках частно-государственных партнерств позволили бы изменить ситуацию в лучшую сторону.

К сожалению, в настоящее время промышленными водами, содержащими литий в количествах, представляющих интерес для промышленности, интересуются недостаточно. Специализированная оценка перспектив литиенности подземных и поверхностных вод России позволит обобщить данные по существующим объектам и выявить новые потенциальные источники получения этого стратегического металла.

ЛИТЕРАТУРА

1. Алексеев, С.В. Промышленные рассолы Сибирской платформы: гидрогеология, бурение и добыча, переработка, утилизация / С.В. Алексеев, А.Г. Вахромеев и др. — Иркутск: Из-во «Географ», 2014. — 162 с.
2. Бондаренко, С.С. Геолого-экономическая оценка месторождений подземных промышленных вод / С.С. Бондаренко, Г.В. Куликов, Л.А. Лубенский. — М.: «Недра», 1988. — 128 стр.
3. Вахромеев, А.Г. Закономерности формирования и концепция освоения промышленных рассолов: на примере юга Сибирской платформы: дис... д. г.-м. наук / А.Г. Вахромеев. — Иркутск, 2009.
4. Геологическая карта Крыма L-36(37) масштаба 1:1 000 000.
5. Гидрогеология СССР, Т. VIII, Крым. — М.: «Недра», 1971. — 364 стр.
6. Михеева, Е.Д. Новое в методике оценки прогнозных ресурсов лития в гидроминеральном сырье: тезисы докл. шестой науч.-практич. конф. молодых ученых и специалистов «Геология, поиски и комплексная оценка месторождений твердых полезных ископаемых» / Е.Д. Михеева, М.В. Торикова. — Москва, 19–20 мая, 2015.
7. Павленко, Г.К. Литий, рубидий и цезий в глубоких подземных водах восточного Предкавказья: дис... к. г.-м. наук / Г.К. Павленко. — Москва, 1975.
8. Плотникова, Р.И. Состояние ресурсной базы промышленных подземных вод (гидроминерального сырья) России и проблемы ее освоения / Р.И. Плотникова. — М.: ВСЕГИНГЕО, http://oilgasjournal.ru/vol_4/plotnikova.html.

© Ключарев Д.С., Михеева Е.Д., 2020

Ключарев Дмитрий Сергеевич // sacsaul@gmail.com
Михеева Екатерина Дмитриевна // galsuta@gmail.com