

Код МРНТИ 38.61.19

*Н.М. Итемен, Е.Ж. Муртазин

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

ОЦЕНКА РАСПРОСТРАНЕНИЯ ЛИТИЯ В ПОПУТНЫХ ПЛАСТОВЫХ РАССОЛАХ НЕФТЯНЫХ И ГАЗОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ЗАПАДНОГО КАЗАХСТАНА

Аннотация. Для казахстанской промышленности приоритетное направление в будущем – это добыча и получение чистых ценных компонентов и их соединений с дальнейшим развитием полупроводниковой, электронной, приборостроительной и других передовых отраслей науки и техники. В нефти обнаружено более 60 микроэлементов, а в попутных пластовых водах, представленных в основном рассолами, в промышленных масштабах содержатся хлористый натрий, хлористый кальций, другие соли и редкие элементы, такие как литий, стронций, цезий, рубидий, йод, бром, бор. В статье проведена оценка основных гидрогеологических и гидрогеохимических параметров, оценка прогнозных эксплуатационных ресурсов и запасов кондиционных промышленных компонентов Западного Казахстана.

Ключевые слова: промышленные воды, попутные воды, пластовые рассолы, нефть и газ, литий, эксплуатационные запасы, естественные запасы, Западный Казахстан, гидрогеологические параметры.

Батыс Қазақстанның мұнай және газ кен орындарының ілеспе қабаттық тұзды ерітінділерінде литийдің таралуын бағалау

Андатпа. Қазақстандық өнеркәсіп үшін болашақтағы басым бағыт-жартылай өткізгіш, электрондық, аспап жасау және ғылым мен техниканың басқа да озық салаларын одан әрі дамыта отырып, таза құнды компоненттер мен олардың қосылыстарын өндіру және алу. Мұнайда 60-тан астам микроэлементтер табылды, ал негізінен тұзды ерітінділермен ұсынылған ілеспе қабат суларында өнеркәсіптік масштабта натрий хлориді, кальций хлориді, басқа тұздар және литий, стронций, цезий, рубидий, йод, бром, бор сияқты сирек элементтер бар. Мақалада негізгі гидрогеологиялық және гидрогеохимиялық параметрлерді бағалау, болжамды пайдалану ресурстарын және Батыс Қазақстанның кондициялық өнеркәсіптік компоненттерінің қорларын бағалау жүргізілді.

Түйінді сөздер: өнеркәсіптік сулар, ілеспе сулар, қаттық тұзды ерітінділер, мұнай және газ, литий, пайдалану қорлары, табиғи қорлар, Батыс Қазақстан, гидрогеологиялық параметрлер.

Assessment of lithium distribution in associated reservoir brines of oil and gas fields of Western Kazakhstan

Abstract. For the Kazakh industry, the priority direction in the future is the extraction and production of pure valuable components and their compounds with the further development of semiconductor, electronic, instrument making and other advanced branches of science and technology. More than 60 trace elements have been found in oil, and associated reservoir waters, represented mainly by brines, contain sodium chloride, calcium chloride, other salts and rare elements such as lithium, strontium, caesium, rubidium, iodine, bromine, boron on an industrial scale. The article evaluates the main hydrogeological and hydrogeochemical parameters, estimates the projected operational resources and reserves of conditioned industrial components.

Key words: industrial waters, associated waters, reservoir brines, oil and gas, lithium, operational reserves, natural reserves, Western Kazakhstan, hydrogeological parameters, hydrodynamics.

Введение

В настоящее время наиболее привлекательным сырьем для извлечения лития являются природные рассолы и рапа соляных озер. Казахстан обладает необходимым потенциалом для производства лития. При разработке месторождений нефти и газа вместе с углеводородным сырьем извлекается значительное количество попутных пластовых вод, которые при наличии в них отдельных компонентов или их соединений являются гидроминеральным сырьем, поэтому исследование и поиск новых технологических решений с целью вовлечения в сферу переработки литийсодержащего гидроминерального сырья является важной и актуальной научно-технической задачей.

За последние сорок лет мировой уровень потребления литиевой продукции увеличился более чем в 2,5 раза за счет появления новых, бурно развивающихся

отраслей. Спрос на литий быстро растет из-за разнообразия его применения (аккумуляторные батареи, легкие авиационные сплавы, очистка воздуха, ядерный синтез, фармацевтика, производство синтетических каучуков, термоэластопластов, высокочистых литиевых солей, различных химических источников тока). Прогноз на 2025 г. показывает, что спрос на литий утроится за счет использования батарей, особенно для электромобилей; ожидается, что рынок лития вырастет с 184000 т/г карбоната лития до 534000 т/г. Для обеспечения растущего потребления лития необходимо увеличить его производство из различных источников. Природные ресурсы лития в основном связаны с месторождениями гранитно-пегматитового типа, рассолами соленых озер, морской водой и геотермальной водой. Среди них запасы лития в рассоле соленых озер,

морской воде и геотермальной воде составляют 70-80% от общих запасов, которые являются отличным сырьем для добычи лития. Мировые запасы лития составляют около 14 млн т, в основном 70-80% хранится в рассоле соленого озера, геотермальной воде и твердом литии, содержащемся в литиевой руде [1-3].

К низким промышленным концентрациям относится содержание лития в пластовых водах больше 10 мг/дм³. Такие концентрации содержат попутные воды ряда месторождений нефти и газа Западного Казахстана.

Оценка основных гидрогеологических и гидрогеохимических параметров

Для оценки эксплуатационных запасов гидродинамическим методом необходимо точно знать параметры, характеризующие подземные промышленные воды

и вмещающие их породы. К числу основных гидрогеологических параметров относятся:

- 1) мощность водовмещающих пород;
- 2) фильтрационные свойства водовмещающих пород (коэффициент фильтрации, проницаемость, водопроводимость);
- 3) пьезопроводность водовмещающих пород, их упругие свойства, сжимаемость вод и пород;
- 4) температура подземных вод;
- 5) минерализация, плотность и вязкость подземных вод.

По данным поисково-разведочных работ на перспективных площадях определяются мощность и проницаемость водовмещающих пород, температура, минерализация и плотность подземных вод. К числу расчетных параметров отнесены:

▪ коэффициент фильтрации, определяемый соотношением:

$$K_{\phi} = 0,864 \times K_n \times \gamma_e / \mu; \quad (1)$$

▪ коэффициент пьезопроводности (рассчитывается по зависимости от фильтрационных и упругих свойств водовмещающих пород):

$$a = 1,157 \times K_{\phi} / \gamma_e \times \beta; \quad (2)$$

▪ коэффициент упругости β , рассчитываемый по зависимости от пористости водовмещающих пород и сжимаемости породы и жидкости:

$$\beta = \beta_c + n\beta_{жс}. \quad (3)$$

В формулах (1-3) приняты следующие условные обозначения:

- K_{ϕ} – коэффициент фильтрации, м/сут.;
- a – коэффициент пьезопроводности, м²/сут.;
- K_n – коэффициент проницаемости, Д;
- γ_e – удельный вес воды, г/см³;
- μ – вязкость (значения вязкости определяются по графикам ее зависимости от температуры и минерализации воды);
- n – пористость породы, доли единицы;
- β_c и $\beta_{жс}$ – сжимаемость, соответственно, скелета породы и пластовой жидкости, м⁻¹ (при отсутствии опытных данных определяются по существующим рекомендациям).

Для предварительных расчетов значение принято $\beta_c = 1 \times 10^{-6} \text{ м}^{-1}$. Сжимаемость пластовой жидкости с достаточной для практических целей точностью определяется по эмпирической формуле Мамуны с учетом формулы Додсона-Стендинга:

$$\beta_{жс} = (1 + 0,005V_0) \times (\beta_o - 7,16 \times 10^{-3} \times M/\gamma_e), \quad (4)$$

- где V_0 – газовый фактор, м³/м³,
- M – минерализация пластовой воды, г/л,
- β_o – коэффициент сжимаемости чистой воды (обычно принимается равным $4,2 \times 10^{-6} \text{ м}^{-1}$).

Максимальная глубина динамического уровня не должна превышать 700-750 м от поверхности земли (в соответствии с возможностями современного насосного оборудования), при условии, что уровень на конец срока эксплуатации будет не ниже кровли водовмещающих пород. Кроме глубины динамического уровня учитываются газовый фактор, потери напора на трение в стволе скважины.

Для определения допустимой величины понижения уровня воды в эксплуатационной скважине используются следующие выражения:

▪ при положении уровня подземных вод выше поверхности земли:

$$H_{нас} + (H_{np} - H) - (S + \Delta S_{ис}) - \Delta H_{мп} + \Delta H_z \geq 0; \quad (5)$$

▪ при положении уровня ниже поверхности земли:

$$H_{нас} - (H - H_{np}) - (S + \Delta S_{ис}) - \Delta H_{мп} + \Delta H_z \geq 0, \quad (6)$$

где $H_{нас}$ – рабочий напор насоса, принимается равным 750 м;

H_{np} – приведенный уровень подземных вод, м;

H – глубина от поверхности земли до кровли водовмещающих отложений, м;

S – понижение пластового напора в пласте (на стенке одиночной скважины), м;

$\Delta S_{ис}$ – дополнительное понижение, связанное с характером и степенью вскрытия водовмещающих пород (несовершенство скважины), м;

$\Delta H_{мп}$ – потери напора при движении воды по стволу скважины, м;

ΔH_z – поправка на газовый фактор (увеличение напора вследствие газлифта), м.

Приведенный к пластовым условиям напор подземных вод определяется выражением:

$$H_{np} = (100 \times P_n) / \gamma_e, \quad (7)$$

где P_n – пластовое давление, МПа.

Понижение уровня на стенке одиночной скважины S определяется по формуле (8), в которой значение гидравлического (фильтрационного) сопротивления R зависит от схематизации гидрогеологических условий и выбранных расчетных граничных условий:

$$S = (Q \times R) / 4\pi \times km. \quad (8)$$

Предварительные расчеты проводятся для одиночных скважин применительно к двум схемам:

▪ неограниченный водоносный пласт:

$$R = \ln(2,25at/r^2) \quad (9)$$

при условии $(r^2/4at) \leq 0,1$;

▪ пласт, ограниченный круговым контуром питания:

$$R = 2\ln(R_k/r), \quad (10)$$

где t – время работы водозабора, сут. (обычно 10000 сут);

r – радиус одиночной скважины, м (для расчетов принят равным 0,06 м);

R_k – радиус контура пласта, м, определяемый как: $R_k = \sqrt{F/\pi}$,

F – площадь структуры, м².

Дополнительное понижение, вызванное несовершенством скважины, определяется выражением:

$$\Delta S_{ис} = Q \times (\xi_1 + \xi_2) / 2\pi \times km, \quad (11)$$

где Q – дебит скважины, м³/сут.;

k – коэффициент фильтрации, м/сут.;

m – мощность водоносного горизонта, м;

ξ_1 – дополнительное сопротивление, определяемое несовершенством скважины по степени вскрытия водовмещающих пород;

ξ_2 – дополнительное сопротивление, определяемое несовершенством скважины по характеру вскрытия водовмещающих пород.

Значение ξ_1 определяется по таблицам и графикам в зависимости от отношений вскрытой мощности пласта (длины фильтра) к общей мощности пласта и мощности пласта к радиусу скважины. Для предварительных расчетов принимается, что длина фильтра равна не менее 10% от мощности водоносного пласта, а радиус скважины – не менее 0,06 м.

Величина ξ_2 рассчитывается по эмпирической формуле В.И. Шурова:

$$\xi_2 = 425/(l + 1,5) \times Nd - 0,6, \quad (12)$$

где l – длина пулевых каналов, см;

d – диаметр пулевых отверстий, см;

N – число пулевых отверстий на 1 м фильтра.

Для предварительных расчетов приняты следующие значения: $l = 10$ см, $d = 1$ см и $N = 20$. Соответственно, значение ξ_2 составит: $\xi_2 = 425/(10 + 1,5) \times 20 \times 1 - 0,6 = 1,25$.

Потери напора при движении воды по стволу скважины рассчитываются с использованием формулы Дарси-Вейсбаха:

$$\Delta H_{мп} = 1,1 \times 10^{-11} \times \lambda \times L \times Q^2 / d^5 \quad (13)$$

$$\lambda = 0,021/d^{0,3},$$

где L и d – соответственно, длина и внутренний диаметр водоподъемных труб; принимаются равными, соответственно, 750 м и 0,122 м;

λ – коэффициент сопротивления, который составит 0,0395;

Q – дебит скважины, м³/сут.

Растворенный в подземных водах газ способствует работе скважин по типу газлифта. Поправка на газовый фактор определяется по преобразованной формуле Е.Е. Керкиса:

$$\Delta H_z = 10 \times V_0 \times P_0 \times \tau / \gamma_w \times \times [\ln(P_z/P_{изб}) - (P_z - P_{изб})/P_z], \quad (14)$$

где V_0 – газовый фактор, м³/м³;

P_0 – атмосферное давление; принимается равным 0,1 МПа;

P_z – упругость растворенного газа (давление насыщения жидкости газом); по литературным источникам ориентировочно для углеводородных газов составляет 14,7 МПа;

$P_{изб}$ – избыточное давление на устье скважины, плюс атмосферное давление, МПа;

γ_w – удельный вес воды, г/см³;

τ – температурный коэффициент, равный $1 + T_w/273$;

T_w – температура воды, °С.

Оценка прогнозных эксплуатационных ресурсов и запасов кондиционных промышленных компонентов

Запасы подземных вод, как полезного ископаемого, подразделяются на естественные запасы и естественные ресурсы. В связи с хозяйственным использованием подземных вод введено понятие «эксплуатационные запасы». Интенсивная эксплуатация подземных вод выявила необходимость введения понятий об искусственных запасах и привлекаемых ресурсах.

Эксплуатационные запасы подземных вод представляют собой количество вод, которое может быть получено на месторождении с помощью рациональных в технико-экономическом отношении водозаборных сооружений при заданном режиме эксплуатации и при качестве воды, удовлетворяющем требованиям ее целевого использования в течение расчетного срока водопотребления. Эксплуатационные запасы выражаются в объемных расходах воды (в м³/сут). Кроме того, для промышленных вод подсчитываются запасы полезных компонентов (в тоннах за расчетный срок эксплуатации). Эксплуатационные запасы обеспечиваются естественными запасами и ресурсами, искусственными запасами и привлекаемыми ресурсами.

Естественные запасы следует рассматривать как массу подземных вод, заключенных в поровом пространстве продуктивных водоносных горизонтов внутри контура

месторождения (участка), которая может быть высвобождена за счет гравитационных сил. Полная масса воды в поровом пространстве продуктивных горизонтов представляет собой геологические запасы, т. е. массу воды с учетом ее полезных свойств, сформированную за геологическое время.

Геологические запасы включают в себя так называемые упругие запасы, высвобождающиеся из порового пространства при частичной или полной сработке пластового давления. В случае снижения уровня ниже кровли продуктивного комплекса может быть извлечена гравитационная масса воды, определяемая коэффициентом водоотдачи и объемом осушенных водо-вмещающих пород. Эта масса воды также является частью геологических запасов и может быть названа емкостными запасами.

В нашем случае естественные запасы, участвующие в формировании эксплуатационных запасов подземных вод, складываются обычно из упругих запасов. Отметим, что если естественные запасы пресных вод (масса воды в горизонте) могут возобновляться, то естественные запасы промышленных вод в артезианских бассейнах, как правило, не возобновляются.

Естественные ресурсы обеспечивают питание водоносного горизонта в ненарушенных эксплуатацией условиях и выражаются расходами воды (л/с; м³/сут.). В нашем случае в расчеты не принимаются.

Искусственные запасы возникают при разработке продуктивных горизонтов на месторождениях промышленных вод с обратной закачкой использованных (отработанных) вод. Их следует понимать, как дополнительное количество воды (полезных компонентов), которое может быть получено из продуктивного горизонта в сравнении с вариантом разработки без применения обратной закачки¹⁻³.

Соотношение между эксплуатационными запасами и источниками

их обеспеченности для промышленных подземных вод может быть представлено выражением:

$$Q_z = a \times v_e / t_z + c \times v_u / t_z + Q_{пр}, \quad (15)$$

где: Q_z – эксплуатационные запасы;

$Q_{пр}$ – привлекаемые ресурсы;

v_u – искусственные запасы;

a, c – коэффициенты использования, соответственно, естественных и искусственных запасов;

t_z – срок эксплуатации месторождения.

Из всех перечисленных видов запасов и ресурсов официально подсчитываются и учитываются эксплуатационные запасы подземных вод, которые при утверждении ГКЗ РК или ТКЗ являются основой для проектирования водозаборных сооружений и предприятий, использующих промышленные подземные воды (заводы по извлечению полезных компонентов).

Эксплуатационные запасы оцениваются по результатам разведочных гидрогеологических работ и на основании наблюдений при эксплуатации действующих водозаборов подземных вод. Помимо эксплуатационных запасов в некоторых случаях оцениваются прогнозные ресурсы, которые отражают потенциальные эксплуатационные возможности артезианских бассейнов, гидрогеологических массивов, отдельных регионов. Они подсчитываются, как правило, на основе имеющейся геолого-гидрогеологической, геофизической и другой информации с использованием специальных методических приемов.

Согласно действующей классификации эксплуатационных запасов и прогнозных ресурсов подземных вод (утверждена приказом министра природных ресурсов и охраны окружающей среды РК 07 февраля 2000 г. №55-н), эксплуатационные запасы делятся по степени изученности на освоенные, разведанные и оцененные (выявленные).

Эксплуатационные запасы подземных вод устанавливаются путем расчета водозаборов, в процессе которого следует:

1) обосновать расчетную гидрогеологическую схему;

¹Бондаренко С.С., Ефремочкина Н.В. Изыскания и оценка запасов промышленных подземных вод. – М.: Недра, 1971. – 244 с.

²Временные требования к изучению и подсчету запасов попутных вод нефтяных и газонефтяных месторождений как источника минерального сырья. – Алматы: ГКЗ РК, 1995. – 19 с.

³Классификация эксплуатационных запасов и прогнозных ресурсов подземных вод. – Алматы: ГКЗ РК, 1997. – 9 с.

Таблица 1

Геолого-гидрогеологические параметры перспективных площадей Восточно-Каспийской области промышленных вод по данным поисково-разведочных работ на углеводородное сырье

Кесте 1

Көмірсутек шикізатын іздестіру және барлау деректері бойынша Шығыс Каспий аймағының өндірістік суларының перспективалық учаскелерінің геологиялық және гидрогеологиялық көрсеткіштері

Table 1

Geological and hydrogeological parameters of promising areas of the East Caspian region of industrial waters according to the data of prospecting and exploration for hydrocarbon raw materials

Площадь	Индекс горизонта	Водовмещающие отложения	Размер, км ²	Средняя глубина кровли горизонта, м	Пористость, %	Мощность, м	Проницаемость, мкм ² = Д	Температура воды, °С	Пластовое давление, МПа	Минерализация воды, г/л	Плотность воды, г/см ³	Газовый фактор, м ³ /м ³	Вязкость воды, сП
Жанажол	P ₁	алевролиты, известняки	232	2971	11	120	0,104	63	30,4	104,6	1,063	0,45	0,46
	C ₂₋₃	известняки, доломиты	232	3469	12	105	0,18	81	38,6	99	1,059	1,3	0,36
Кенкияк	P _{1 kg}	галогенные породы	28	3881	8	400	0,0002	67	42	242	1,177	0,15	0,75
	P _{1 ar-as}	алевролиты, известняки	28	4069	14	160	0,17	72	67,7	96,5	1,069	0,45	0,40
	C ₁ + C ₂₋₃	известняки, доломиты	28	4363	9	105	0,12	81	79,6	110	1,083	1,8	0,38
Урихтау	P _{1 ar}	ангидриты, алевролиты	28,6	2460	14	190	0,11	55	30,3	196,5	1,154	0,5	0,74
	C ₁ + C ₂₋₃	известняки, доломиты	57,6	3116	12	120	0,08	64	33,1	85	1,058	2,7	0,48

Таблица 2

Расчетные гидрогеологические параметры промышленных вод перспективных площадей Восточно-Каспийской области

Кесте 2

Шығыс Каспий аймағының перспективалық аудандарының өндірістік суларының есептік гидрогеологиялық көрсеткіштері

Table 2

Calculated hydrogeological parameters of industrial waters of promising areas of the East Caspian region

2) определить размеры эксплуатационного участка, т. е. участка водозабора;

3) обосновать рациональную схему расположения скважин в пределах эксплуатационного участка;

4) обосновать режим работы (дебитов и понижений динамических уровней) скважин водозабора в течение расчетного срока эксплуатации.

Схематизация природных гидрогеологических условий месторождения подземных промышленных вод предусматривает обоснование границ промышленной водоносной зоны по простираанию, а также в разрезе месторождения. Для выполнения аналитических гидродинамических расчетов природные гидрогеологические условия должны приводиться к сравнительно простым расчетным схемам.

Схематизация условий разработки месторождений при подсчете эксплуатационных запасов заключается в том, что скважины

Площадь	Приведенный напор, м	Глубина статического уровня, м	Коэффициент фильтрации, м/сут.	Коэффициент водопроводимости, м ² /сут.	Сжимаемость пластовой воды, $n \times 10^{-6}$ 1/м	Коэффициент упругости, $n \times 10^{-6}$ 1/м	Коэффициент пьезопроводности, м ² /сут
Жанажол	2860	111	0,208	24,9	3,57	1,39	162228
	3645	+176	0,457	48,0	3,76	1,45	344417
Кенкияк	3568	313	0,0003	0,1	2,75	1,22	219
	6333	+2264	0,393	62,8	3,63	1,51	281599
	7350	+2987	0,295	31,0	3,79	1,34	235462
Урихтау	2626	+166	0,148	28,2	3,06	1,43	104077
	3129	+13	0,152	18,3	4,11	1,49	111541

расчетного водозабора располагаются в виде удобных для выполнения гидродинамических или гидравлических расчетов правильных геометрических систем.

При схематизации гидрогеологических условий необходимо учитывать изменение параметров пласта (мощности, коэффициента фильтрации, водопроводимости) на площади эксплуатационного участка и месторождения в целом. Если амплитуда изменения этих параметров невелика или в этом изменении нет четко прослеживаемых закономерностей, то для аналитических расчетов могут быть использованы средневзвешенные по площади участка параметры и пласт в этом случае принимается условно однородным.

Размеры эксплуатационного участка (и, следовательно, площади проектного водозабора) определяются его геолого-тектоническим строением и гидрогеологическими условиями. При сравнительно однородном строении и фильтрационных свойствах водоносного горизонта и спокойном залегании их в пределах (и за пределами) эксплуатационного участка размеры площади водозабора зависят в основном от параметров промышленной водоносной зоны, поскольку они определяют дебиты отдельных скважин (с учетом их взаимодействия), их число и схему расположения на водозаборе.

Показатели эксплуатации устанавливаются путем последовательных вариантных гидродинамических расчетов, сопровождаемых геолого-экономическим анализом, который проводится с целью выбора наиболее экономически эффективной системы разработки, обеспечивающей добычу максимального количества подземных вод при сохранении ее себестоимости на уровне допустимой стоимости.

При оценке эксплуатационных запасов глубоких подземных вод необходимо учитывать дебиты

скважин и понижения в них динамических уровней от поверхности. И дебиты, и понижения уровней должны быть максимальными для гидрогеологических условий оцениваемого горизонта. Это обеспечивает, с одной стороны, наиболее полную оценку эксплуатационных запасов, с другой – наилучшие технико-экономические показатели эксплуатации водозабора. Однако практически в большинстве случаев расчетные дебиты скважин и понижения в них уровней от поверхности для промышленных и термальных вод приходится ограничивать мощностью применяемого насосного оборудования.

Оценка эксплуатационных запасов подземных вод производится обычно тремя методами: балансовым, гидравлическим и гидродинамическим.

Балансовый метод основан на анализе приходных и расходных статей баланса подземных вод. Для промышленных подземных вод платформенных областей, характеризующихся большой глубиной залегания, весьма малыми реальными скоростями фильтрации в естественных условиях, часто полным отсутствием проявления на поверхности и обычно широким региональным распространением, оценка эксплуатационных запасов этим методом неприемлема.

Гидравлический метод основан на изучении связи дебита и понижения динамического уровня при установившемся притоке подземных вод к одиночным и взаимодействующим скважинам. Оценка эксплуатационных запасов в этом случае производится путем гидравлических расчетов на основе экстраполяции полученных опытных данных. Этот метод широко применяется при оценке эксплуатационных запасов в сложных гидрогеологических условиях, не поддающихся простейшей схематизации для обоснованных гидродинамических расчетов.

Гидродинамический метод широко используется для оценки эксплуатационных запасов подземных промышленных вод. Метод основан на прогнозных расчетах изменения дебитов и уровней с учетом параметров водоносных пород, определяемых по данным опытных гидрогеологических работ в период разведки месторождений.

Оценка эксплуатационных запасов промышленных вод проведена по перспективным площадям Восточно-Каспийской области промышленных вод (площади Жанажол, Кенкияк, Урихтау). Расчеты проведены для пластовых вод солевых и подсолевых нижнепермских отложений и карбонатных отложений карбона. В табл. 1 представлены геолого-гидрогеологические параметры водовмещающих пластов и пластовых вод, выявленные по данным поисково-разведочных работ, проведенных ранее. В табл. 2 и 3 сведены результаты вычисления расчетных гидрогеологических параметров и расчеты эксплуатационных запасов промышленных вод.

Оценка эксплуатационных запасов проведена при условии постоянного дебита эксплуатационной скважины для двух вариантов расчетных схем: неограниченный водоносный пласт и пласт, ограниченный круговым контуром питания.

Предварительные расчеты проведены при значении эксплуатационного дебита в 1000 тыс. м³/сут. Период эксплуатации принят равным 1000 сут. В последующем расчеты уточнялись подбором величины эксплуатационного дебита в соответствии с формулами (6) и (7) для определения допустимой величины понижения уровня промышленных вод в эксплуатационной скважине.

Величина эксплуатационных запасов промышленных вод Восточно-Каспийской области по трем перспективным площадям оценивается⁴⁻⁶ в 28,35 тыс. м³/сут. [4], в том числе по подсолевым

⁴Методические рекомендации по геолого-экономическому обоснованию попутных вод нефтяных месторождений в качестве минерального сырья. – М.: ВСЕГИНГЕО, 1992. – 35 с.

⁵Бондаренко С.С. Методы поисков и оценки прогнозных ресурсов и эксплуатационных запасов промышленных вод. – М.: Недра, 1988. – 94 с.

⁶Сабирова Ж.С. и др. Отчет по теме 4-97: «Оценка перспектив использования попутных и пластовых вод в качестве источника гидроминерального сырья при комплексном освоении нефтегазовых месторождений Казахстана» за 1994-1997 гг. Алматы: РГФ, 1997.

Таблица 3
 Результаты расчета эксплуатационных запасов промышленных вод перспективных площадей
 Восточно-Каспийской области промышленных вод

Кесте 3

Шығыс Каспий өңірінің өндірістік суларының перспективалық аудандарының өндірістік суларының пайдалану қорларын есептеу нәтижелері

Table 3

Results of calculating the operational reserves of industrial waters of promising areas of the East Caspian region of industrial waters

Площадь	Эксплуатационные запасы промышленных вод Q, м ³ /сут	Понижение уровня в скважине S, м	Дополнительное понижение (несовершенство скважины) S _{ис} , м	Потери напора на трение H _{тр} , м	Поправка на газовый фактор H _г , м	Допустимое понижение, м
						$H_{нас} + (H_{пр} - H) - (S + S_{ис}) - H_{тр} + H_g$
						$H_{нас} - (H - H_{пр}) - (S + S_{ис}) - H_{тр} + H_g$
Жанажол	1550	137,6	464,8	29,0	2,1	9,6
	3780	178,8	570,1	172,3	1,8	6,6
Кенкияк	3,5	54,3	376,9	0,0	0,6	6,8
	10380,0	372,8	1334,1	1299,1	0,1	8,1
	9000,0	650,2	2101,6	976,6	0,9	9,5
Урихтау	2240,0	173,1	679,0	60,5	0,6	3,6
	1400,0	167,1	572,2	23,6	9,9	9,6
Всего по P ₁	14170,0					
Всего по C	14180,0					
Итого	28350,0					

нижнепермским – 14,17 тыс. м³/сут., карбонатным отложениям карбона – 14,18 тыс. м³/сут. Запасы промышленных вод солевых нижнепермских отложений незначительны.

Для выявления систем связей в химическом составе пластовых вод и анализа генезиса и пространственного распространения подземных промышленных вод использованы методы математической статистики для обработки данных по химическому составу пластовых вод разновозрастных комплексов, которые были статистически

обработаны на специализированном программном комплексе.

Заключение

В пределах Восточно-Каспийской области промышленные воды пространственно совпадают с Жанажол-Кенкиякской зоной нефтегазонакопления, в пределах которой проанализированы данные по трем площадям. Эксплуатационные запасы промышленных вод оценены в 28,35 тыс. м³/сут.

Основными исходными показателями являются производительность промысла, расчетный срок

эксплуатации, содержание полезных компонентов, их запасы и коэффициенты извлечения. Они определяются в результате поисковых и разведочных работ и технологических исследований. Цена единицы продукции принимается на основании действующих рыночных цен.

Дальнейшие исследования должны быть направлены на оценку конкретных участков для реализации опытно-промышленной технологии извлечения полезных компонентов из пластовых рассолов месторождений углеводородного сырья.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Wang J., Chen M., Chen H., Luo T., Xu Z. Исследование выщелачивания отработанных литий-ионных аккумуляторов. // *Procedia Environmental Sciences: 7-я Международная конференция по обращению с отходами и технологиям.* – 2012. – Вып. 16. – С. 443-450 (на английском языке)
2. Gabra G.G. Экстракция хлорида лития n-бутанолом. // *Гидрометаллургия.* – 1978. – Вып. 3. – С. 23-33 (на английском языке)
3. Jianfeng Song и др. Извлечение лития из рапы соленых озер с высоким соотношением Mg/Li с использованием Na[FeCl₄ × 2TBP] в качестве экстрагента: термодинамика, кинетика и процессы. // *Гидрометаллургия.* – 2017. – Вып. 173. – С. 63-70 (на английском языке)

4. Gou L.-F., Jin Z. и др. Изотопы лития в среднем течении реки Хуанхэ: сезонная изменчивость, источники и фракционирование. // *Geochimica et Cosmochimica Acta*. – 2019. – Т. 248. – С. 88-108 (на английском языке)

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Wang J., Chen M., Chen H., Luo T., Xu Z. Қолданылған литий-ионды батареяларды сілтілеуді зерттеу. // *Procedia Environmental Sciences: Қалдықтарды басқару және технологиялар бойынша 7-ші халықаралық конференция*. – 2012. – Шығ. 16. – Б. 443 – 450 (ағылшын тілінде)
2. Gabra G.G. Литий хлоридін n-бутанолмен алу. // *Гидрометаллургия*. – 1978. – Шығ. 3. – Б. 23–33 (ағылшын тілінде)
3. Jianfeng Song және т.б. Экстрагент ретінде $\text{Na}[\text{FeCl}_4 \times 2\text{TBP}]$ пайдалана отырып, Mg/Li қатынасы жоғары тұзды көл тұзды суынан литийді алу: Термодинамика, кинетика және процестер // *Гидрометаллургия*. – 2017. – Т. 173. – Б. 63-70 (ағылшын тілінде)
4. Gou L.-F., Jin Z. және т.б. Сары өзеннің ортасындағы Ли изотоптары: маусымдық өзгергіштік, көздер және фракциялар. // *Geochimica et Cosmochimica Acta*. – 2019. – Т. 248. – С. 88-108 (ағылшын тілінде)

REFERENCES

1. Wang J., Chen M., Chen H., Luo T., Xu Z. Leaching study of spent Li-ion batteries. // *Procedia Environmental Sciences: The 7th International Conference on Waste Management and Technology*. – 2012. – Vol. 16. – P. 443-450 (in English)
2. Gabra G.G. Lithium chloride extraction by n-butanol // *Hydrometallurgy*. – 1978. – Vol. 3. – P. 23-33 (in English)
3. Jianfeng Song et al. Recovery of lithium from salt lake brine of high Mg/Li ratio using $\text{Na}[\text{FeCl}_4 \times 2\text{TBP}]$ as extractant: Thermodynamics, kinetics and processes. // *Hydrometallurgy*. – 2017. – Vol. 173. – P. 63-70 (in English)
4. Gou L.-F., Jin Z.D. et al. Li isotopes in the middle Yellow River: Seasonal variability, sources and fractionation. // *Geochimica et Cosmochimica Acta*. – 2019. – Vol. 248. – P. 88-108 (in English)

Сведения об авторах:

Итмен Н.М., PhD докторант Института гидрогеологии и геоэкологии им. У.М. Ахмедсафина Satbayev University (г. Алматы, Казахстан), nurbol_itemen@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0003-2551-9020>

Муртазин Е.Ж., канд. геол.-минерал. наук, заместитель директора Института гидрогеологии и геоэкологии им. У.М. Ахмедсафина Satbayev University (г. Алматы, Казахстан), ye_murtazin@list.ru; <https://orcid.org/0000-0002-7404-4298>

Авторлар туралы мәліметтер:

Итмен Н.М., Satbayev University, У.М. Ахмедсафин атындағы гидрогеология және геоэкология институты PhD докторанты (Алматы қ., Қазақстан)

Муртазин Е.Ж., геология-минералогия ғылымдарының кандидаты, Satbayev University, У.М. Ахмедсафин атындағы гидрогеология және геоэкология институты директорының орынбасары (Алматы қ., Қазақстан)

Information about authors:

Itemen N.M., PhD Student at the Institute of Hydrogeology and Environmental Geoscience named after U.M. Ahmedsafin of the Satbayev University (Almaty, Kazakhstan)

Murtazin Ye.Zh., Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, Deputy Director at the Institute of Hydrogeology and Environmental Geoscience named after U.M. Ahmedsafin of the Satbayev University (Almaty, Kazakhstan)

Авторы высоко отмечают поддержку Комитета геологии Министерства экологии, геологии и природных ресурсов Республики Казахстан. Данная 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)