



УДК: 553,77+556,3(575.16)

Азиз ИБРАГИМОВ,

DSc, главный научный сотрудник, Государственное учреждение «Институт гидрогеологии и инженерной геологии»,
Ташкент, Узбекистан

E-mail: aziz1956@mail.ru ORCID: 0009-0000-3645-0722

Бахтияр ИСМАИЛОВ,

PhD, ведущий научный сотрудник, Государственное учреждение «Институт гидрогеологии и инженерной геологии», Ташкент, Узбекистан

E-mail: bakhtiyar.ismailov@bk.ru ORCID: 0009-0001-0612-2602

Валентин ТЁ,

Младший научный сотрудник, Государственное учреждение «Институт гидрогеологии и инженерной геологии»,
Ташкент, Узбекистан

E-mail: tv_98@mail.ru ORCID: 0009-0005-3959-8542

Алишер ХОДЖИБАЕВ,

PhD, старший научный сотрудник, Университет геологических наук, Ташкент, Узбекистан

a.hodjibayev@unigeo.uz

На основе отзыва Охунова Ф.А, заведующего кафедры «Экология и гидрогеология» Университета геологических наук

К ВОПРОСУ ОРГАНИЗАЦИИ ПРОИЗВОДСТВА ДОБЫЧИ КРИТИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ ИЗ ПЛАСТОВЫХ ВОД НЕФТЕГАЗОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ (НА ПРИМЕРЕ БУХАРО-КАРШИНСКИХ НЕФТЕГАЗОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ)

Аннотация

В работе рассмотрен потенциал пластовых вод нефтегазовых месторождений Бухаро-Хивинского региона Узбекистана как источника критически важных элементов. Представлен краткий обзор международных подходов к оценке ресурсов промышленных подземных вод. Гидрогеохимические исследования верхнеюрских коллекторов показали высокую минерализацию пластовых вод и повышенные концентрации лития, брома, йода и других микроэлементов, превышающие промышленные пороговые значения. Выявлена значительная пространственно-временная изменчивость их содержания, обуславливающая необходимость долговременного мониторинга. Пластовые воды рассматриваются как перспективный гидроминеральный ресурс для извлечения критически важных элементов и повышения экономической эффективности разработки нефтегазовых месторождений, находящихся на поздней стадии эксплуатации.

Ключевые слова: подземные промышленные воды, гидроминеральные ресурсы, микроэлементы, критические минералы.

NEFT VA GAZ KONLARINING QATLAM SUVLARIDAN MUHIM ELEMENTLARNI QAZIB OLISHNI TASHKIL ETISH MASALASIGA DOIR (BUXORO-QARSHI NEFT VA GAZ KONLARI MISOLIDA)

Annotatsiya

Ishda O'zbekistonning Buxoro-Xiva mintaqasi neft va gaz konlari qatlam suvlarining muhim elementlar manbai sifatidagi salohiyati ko'rib chiqilgan. Sanoat yer osti suvlari resurslarini baholash bo'yicha xalqaro yondashuvlarning qisqacha sharhi taqdim etilgan. Yuqori yura kollektorlarining gidrogeokimyoviy tadqiqotlari qatlam suvlarining yuqori minerallashtirilganligini va litii, brom, yod va boshqa mikroelementlarning sanoat chegara qiymatlaridan yuqori konsentratsiyasini ko'rsatdi. Uzoq muddatli monitoring o'tkazish zaruratini keltirib chiqaradigan ularning mazmunining sezilarli darajada makon va vaqt bo'yicha o'zgaruvchanligi aniqlandi. Qatlam suvlari ekspluatatsiyaning so'nggi bosqichida bo'lgan neft va gaz konlarini o'zlashtirishning iqtisodiy samaradorligini oshirish va muhim elementlarni ajratib olish uchun istiqbolli gidromineral resurs sifatida qaraladi.

Kalit so'zlar: yer osti sanoat suvlari, gidromineral resurslar, mikroelementlar, kritik minerallar.

ON THE ORGANIZATION OF PRODUCTION FOR THE EXTRACTION OF CRITICAL ELEMENTS FROM FORMATION WATERS IN OIL AND GAS FIELDS (using the Bukhara-Karshi oil and gas fields as an example)

Annotation

The work examines the potential of oil and gas fields in the Bukhara-Khiva region of Uzbekistan as a source of critical elements. A brief overview of international approaches to assessing industrial groundwater resources is presented. Hydrogeochemical studies of Upper Jurassic collectors have shown high mineralization of formation waters and elevated concentrations of lithium, bromine, iodine, and other trace elements exceeding industrial threshold values. Significant spatial and temporal variability in their content has been identified, necessitating long-term monitoring. Layer waters are considered a promising hydromineral resource for extracting critical elements and increasing the economic efficiency of developing oil and gas fields in the late stage of exploitation.

Keywords: underground industrial water, hydromineral resources, trace elements, critical minerals.

Введение. Развитие низкоуглеродной экономики и глобальная технологическая трансформация индустрий привели к экспоненциальному росту спроса на редкоземельные металлы и другие стратегические элементы, повышенная концентрация которых отмечается в попутно извлекаемых водах нефтегазовых месторождений. Эти элементы находятся

в растворённом состоянии (как в виде ионов, так и слабосвязанных комплексов). В отличие от традиционных рудных источников, пластовые подземные воды (ППВ) обладают рядом преимуществ:

- высокая степень мобильности и доступности ресурса, обеспечивающая производство непрерывным источником сырья за счет «скважинного» сбора;
- меньшая капиталоемкость по сравнению с традиционным источником минерального сырья (месторождениями твердых полезных ископаемых);
- возможность применения инновационных технологий прямого извлечения (DLE, IX и др.);
- извлечение ценных компонентов из пластовых вод нефтегазовых месторождений повышает экологическую составляющую, выраженную в утилизации попутной воды.

Однако для признания таких ресурсов и запасов в большинстве стран требуется соответствие жестким критериям и требованиям: технико-экономическая извлекаемость элемента из раствора, устойчивость химического состава, разработка модели и наличие сертифицированной технологии переработки, оценка прогнозных ресурсов и запасов совместимую с международным стандартам.

Краткий анализ международных стандартов по оценке ресурсов и запасов промышленных вод.

В Канаде оценка стратегических элементов в подземных водах регулируется стандартом NI 43-101, который распространяется на компании, представленные на фондовых биржах. Он предусматривает участие сертифицированного специалиста, классификацию ресурсов по категориям Inferred, Indicated и Measured и допускает учет растворённых компонентов при доказанной технологической и экономической извлекаемости, рассматривая подземные воды как самостоятельный источник полезных ископаемых [5].

В Австралии применяется Кодекс JORC, согласно которому ресурсы и запасы оцениваются только при наличии перспективы экономического извлечения. Для жидкофазных ресурсов предусматриваются гидрогеологическое моделирование, анализ изменчивости состава рассолов, испытания технологий прямого извлечения (DLE) и подготовка предварительного технико-экономического обоснования [6].

В США стандарт SEC Regulation S-K, Subpart 1300 признаёт ресурсы в жидкой фазе при наличии обоснованной технологии извлечения и требует комплексной оценки способов добычи, переработки, рисков и экологических аспектов [7]. Примером служит проект Smackover, где проведена оценка литиевых ресурсов пластовых вод и испытаны технологии DLE.

В Китае действует централизованная система оценки стратегических элементов на основе стандартов GB/T 13908 и GB/T 13909, допускающая учет растворённых компонентов уже на ранних стадиях исследований при наличии лабораторных подтверждений и пилотных технологий [11].

В Казахстане используется система KAZRC, совместимая с CRIRSCO. Она предусматривает оценку растворённых стратегических компонентов при подтверждённом содержании, наличии экономически обоснованной технологии извлечения и проекта освоения [8, 9, 10].

В Российской Федерации оценка промышленных подземных вод основывается на государственной классификации запасов и прогнозных ресурсов. При оценке учитываются гидрогеологические условия, устойчивость дебитов, химический состав и технологическая извлекаемость растворённых компонентов, включая пластовые и попутные воды нефтегазовых месторождений [3].

В Узбекистане оценка эксплуатационных запасов и прогнозных ресурсов промышленных вод осуществляется согласно инструкции, утверждённой Министерством горнодобывающей промышленности и геологии в 2025 году. Государственная экспертиза запасов проводится ГКЗ и является обязательной для всех недропользователей [4].

Методы и материалы. Основным методом проведенных исследований по изучению промышленных вод, являющихся источником для организации извлечения и добычи критических элементов, является традиционным для Узбекистана, принятым при проведении гидрогеологических исследований и включает в себя следующие этапы:

- 1) комплексный научный анализ материалов ранее проведенных исследований (как по опубликованным, так и фондовым работам);
- 2) отбор проб воды из водоносных горизонтов, приуроченных к мезозойским отложениям нефтегазовых месторождений Бухаро-Каршинского региона;
- 3) проведение химического анализа проб воды проведены в аттестованных Госстандартом лабораториях;
- 4) обобщение, обработка и интерпретация полученных результатов химического анализа проб воды, извлекаемых их глубоких (более 1200 м) горизонтов при добыче углеводородного сырья;
- 5) построение графиков изменения концентрации элементов во времени и карт распространения отдельных критических элементов в пластовых подземных водах.
- 6) разработка технологических схем извлечение критических элементов из пластовых вод;
- 7) проведение гидрогеологических исследований (ОФР и режимные наблюдения) и утверждение в установленном порядке эксплуатационных запасов в ГКЗ при Министерстве горно-добывающей промышленности и геологии и подготовка месторождение к разработке.

Результаты исследований. Перспективным направлением освоения гидроминеральных ресурсов является использование пластовых вод нефтегазовых месторождений, приуроченных к карбонатным отложениям верхней юры Бухаро-Каршинского региона, характеризующихся повышенными концентрациями критически важных элементов [1, 2].

Исследования показали, что пластовые воды верхнеюрских продуктивных горизонтов Денгизкульского поднятия обладают высокой минерализацией (более 50 г/л) и преимущественно хлоридно-натриево-кальциевым составом. Концентрации лития (Li), рубидия (Rb), цезия (Cs), йода (I), брома (Br), стронция (Sr) и других микроэлементов существенно превышают минимальные промышленные требования.

Анализ многолетних наблюдений свидетельствует о значительной пространственно-временной изменчивости содержания лития. На месторождении Денгизкуль его концентрация увеличилась с 26,2 до 242,2 мг/л, тогда как на месторождении Чукуркуль снизилась с 35,2 до 3,55 мг/л (рис. 1 и 2). Такие изменения отражают динамику

гидрогеохимических условий продуктивных горизонтов и подтверждают необходимость организации долговременного режимного мониторинга качества пластовых вод.

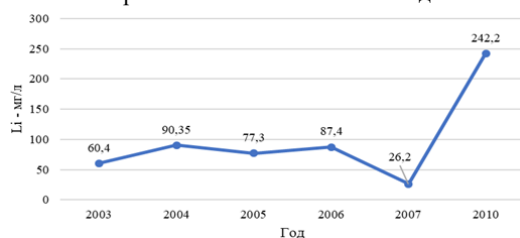


Рис. 1. Изменение концентрации лития в подземных водах месторождения Денгизкуль.

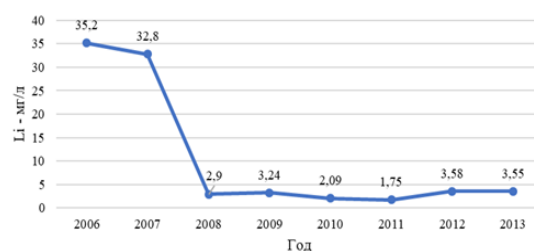


Рис. 2. Изменение концентрации лития в подземных водах месторождения Чукуркуль.

Практически все нефтегазовые месторождения Узбекистана характеризуются высокой обводненностью и содержат промышленные концентрации критических элементов, что позволяет рассматривать попутно добываемые воды как перспективное гидроминеральное сырье.

По результатам исследований 2025 года установлено, что наиболее высокие концентрации лития (>20 мг/л) характерны для месторождений Жанубий Кемачи, Уртабулак и Шимолий Шоди, тогда как минимальные значения отмечены на Денгизкуле, Кокдумалаке и Чулкуваре. Минерализация пластовых вод изменяется от менее 10 до более 300 г/л, причем ее увеличение сопровождается ростом концентраций лития, брома и йода.

Содержание брома изменяется от 140 до почти 1000 мг/л, достигая максимума на месторождении Гарбий Тегирмон и в районах Шимолий Шоди и Уртабулак. Концентрации йода варьируют от 5–10 до 80–85 мг/л, максимальные значения также приурочены к наиболее минерализованным пластовым водам.

Совместный анализ минерализации и концентраций лития, брома и йода свидетельствует об их тесной генетической взаимосвязи и определяющей роли глубинных гидрогеохимических процессов (рис. 3). Наиболее перспективными для промышленного извлечения критических элементов являются высокоминерализованные хлоридные воды юрского водоносного комплекса.

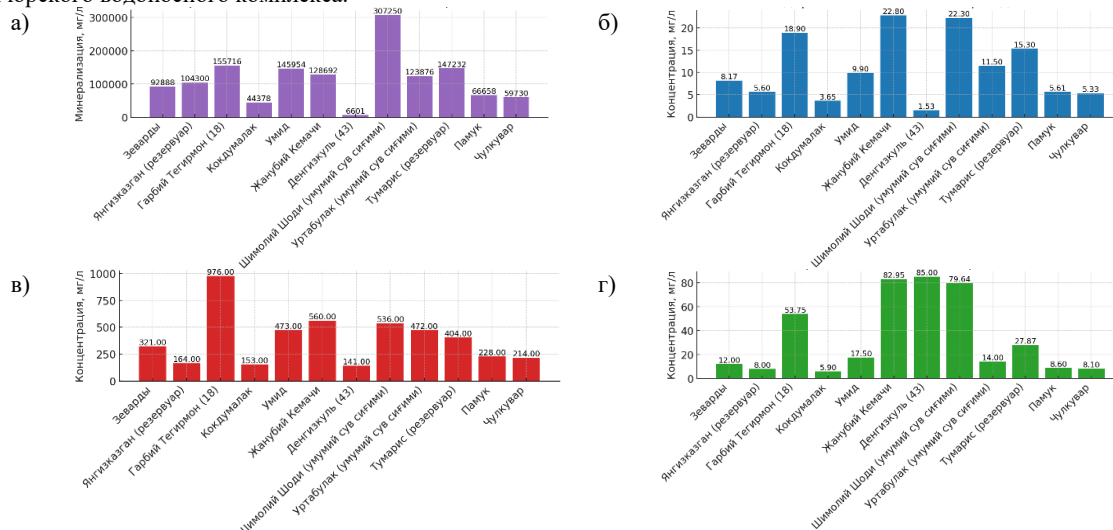


Рис. 3. Диаграммы показателей минерализации (а), лития (б), брома (в) и йода (г) по месторождениям.

Обсуждение. Государственное Учреждение «Институт гидрогеологии и инженерной геологии» (ГУ «Институт ГИДРОИНГЕО»), ГУ ИГИРНИГМ (Институт геологии и разведки нефтяных и газовых месторождений) совместно с ГУ «Узбекгидрогеология» в течении многих лет проводят гидрогеологические исследования по изучению химического состава попутно извлекаемых вод. Результаты этих исследований показывают, что количество и качество этих вод позволяют вести рентабельную добычу из них востребованных элементов.

Ранее выполненные исследования показали, что эффективное освоение гидроминерального сырья возможно только при его комплексной переработке. В настоящее время ГУ «Институт ГИДРОИНГЕО» совместно с зарубежными партнёрами прорабатывает технологии извлечения лития и йода из пластовых вод, однако исследования пока ограничиваются лабораторной стадией, что позволяет проводить лишь предварительную геолого-экономическую оценку.

Результаты анализа подтверждают, что попутно добываемые пластовые воды нефтегазовых месторождений содержат промышленные концентрации ряда критических элементов и могут рассматриваться как дополнительный источник минерального сырья. Это особенно актуально для месторождений Узбекистана, находящихся на поздней стадии разработки, где высокая обводненность продукции создаёт предпосылки для комплексного использования пластовых вод, диверсификации производства и повышения экономической эффективности эксплуатации нефтегазовых объектов [12].

Закключение.

Пластовые воды нефтегазовых месторождений представляют собой перспективный источник критически важных элементов и обладают рядом преимуществ по сравнению с традиционными объектами разведки. Их использование не требует проведения дополнительных поисково-разведочных и буровых работ, поскольку гидрогеологические исследования выполняются на действующих добычных скважинах. Кроме того, отсутствуют затраты на добычу воды и

создание новой инфраструктуры, а извлечение ценных компонентов способствует повышению экономической эффективности разработки нефтегазовых месторождений.

Для объективной оценки ресурсного потенциала необходима организация долговременных режимных наблюдений за качеством и количеством пластовых вод Бухаро-Каршинского региона.

Увеличение объемов попутно добываемых вод и рост обводнённости продукции на зрелых нефтегазовых месторождениях создают благоприятные предпосылки для их комплексного использования в качестве гидроминерального сырья. Освоение таких ресурсов должно основываться на изучении условий формирования пластовых вод, закономерностей распределения критических элементов и оценке эксплуатационных запасов и прогнозных ресурсов как отдельных месторождений, так и региона в целом.

ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бакиев С.А., Арипов С.А., Ибрагимов А.С. и др. Закономерности распространения и условия формирования подземных промышленных литиевых вод Узбекистана. Т., ГП «Институт ГИДРОИНГЕО», 2015, 110 с.
2. Бакиев С.А., Промышленные воды Узбекистана и перспективы их использования. Т. ГП «Институт ГИДРОИНГЕО», 2012. – 140с.
3. Методические рекомендации по применению Классификации запасов и прогнозных ресурсов подземных вод. - М.: ФБУ «ГКЗ России», 2016.
4. Инструкция по применению классификации эксплуатационных запасов и прогнозных ресурсов подземных вод к месторождениям промышленных вод. Т., 2025.
5. National Instrument 43-101 - Standards of Disclosure for Mineral Projects. Canadian Securities Administrators. <https://www.securities-administrators.ca>.
6. JORC Code (2012 Edition). Australasian Code for Reporting of Exploration Results, Mineral Resources and Ore Reserves. <https://www.jorc.org>.
7. Regulation S-K, Subpart 1300 - Disclosure by Registrants Engaged in Mining Operations. U.S. Securities and Exchange Commission (SEC). <https://www.sec.gov>.
8. CRIRSCO International Reporting Template for the Public Reporting of Exploration Results, Mineral Resources and Mineral Reserves. Committee for Mineral Reserves International Reporting Standards (CRIRSCO). <https://www.criusco.com>.
9. KAZRC Code - Kazakhstan Code for Reporting of Exploration Results, Mineral Resources and Mineral Reserves. Kazakhstan Association of Public Reporting (KAZRC). <https://www.kazrc.kz>.
10. Классификатор запасов и ресурсов твёрдых полезных ископаемых Республики Казахстан (CRIRSCO-совместимый). Комитет геологии Министерства индустрии и инфраструктурного развития РК.
11. GB/T 13908–2018, GB/T 13909–2018. Geological Exploration Specifications and Mineral Resources Classification. State Administration for Market Regulation, People's Republic of China <https://www.chinesestandard.net/PDF/English.aspx/GBT13908-2020>.
12. Исмаилов Б.Ж., Ибрагимов А.С. и др. Повышение эффективности разработки нефтегазовых месторождений Узбекистана в завершающей стадии. Сборник тезисов IV Международной научной конференции. "Современные тенденции развития нефтегазовой отрасли в эпоху зелёной экономики и цифровизации". 30-31 октября 2025 г. Ташкент. стр. 191-193.