

ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ И УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ПРОМЫШЛЕННЫХ ЛИТНЕВЫХ ВОД УЗБЕКИСТАНА



Ташкент 2015

**Государственный комитет Республики Узбекистан
по геологии и минеральным ресурсам**

**Государственное предприятие
«Институт гидрогеологии и инженерной геологии»
(ГП «Институт ГИДРОИНГЕО»)**

**ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ
И УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ ПОДЗЕМНЫХ
ПРОМЫШЛЕННЫХ ЛИТИЕВЫХ ВОД
УЗБЕКИСТАНА**

**Под редакцией
Б.Д.Абдуллаева**

**ГП «Институт ГИДРОИНГЕО»
Ташкент 2015**

УДК 553.777

ББК 26.35

3 19

Закономерности распространения и условия формирования подземных промышленных литиевых вод Узбекистана / С.А.Бакиев, С.А.Арипов, А.С.Ибрагимов, Р.А.Турсунметов, Ж.Н.Иноятов, Ж.Болтабоев; отв. ред. Б.Д.Абдуллаев; Государственный комитет Республики Узбекистан по геологии и минеральным ресурсам, Государственное предприятие «Институт гидрогеологии и инженерной геологии» (ГП «Институт ГИДРОИНГЕО»). - Т.: ГП «Институт ГИДРОИНГЕО», 2015. - 110 с.: [16] илл., [23] табл., библи. - 83 назв.

ISBN 978-9943-4519-3-3

В монографии рассмотрены актуальные вопросы изучения гидроминерального сырья Узбекистана, в частности, формирования и распространения промышленных литиевых вод. Гидроминеральное сырье является для Узбекистана нетрадиционным, однако в развитых странах мира и СНГ из него в промышленных масштабах получают литий, йод, бром и их соединения. В результате анализа большого фактического материала приведены сведения о содержании лития в подземных водах нефтегазовых структур, родников, поверхностных вод и выделены перспективные участки распространения промышленных литиевых вод. Проанализирована возможность извлечения лития из промышленных подземных вод, предложены перспективные направления дальнейших научно-исследовательских и геолого-разведочных работ.

Книга представляет практический интерес для специалистов, занимающихся изучением редких и редкоземельных элементов и их извлечением из гидроминеральных ресурсов, а также студентов геолого-гидрогеологических и химико-технологических ВУЗов.

УДК 553.777

ББК 26.35

Авторский коллектив:

С.А.Бакиев, С.А.Арипов, А.С.Ибрагимов,
Р.А.Турсунметов, Ж.Н.Иноятов, Ж.Болтабоев

Рецензенты:

доктор геолого-минералогических наук, профессор **У.С.Назаров**,
кандидат геолого-минералогических наук **Л.М.Глейзер**

ISBN 978-9943-4519-3-3



© ГП «Институт ГИДРОИНГЕО», 2015

ВВЕДЕНИЕ

Монография посвящается светлой памяти ученого и педагога, научного руководителя и организатора Среднеазиатской гидрогеохимической школы, доктора геолого-минералогических наук, профессора Абдуманнона Сиражитдиновича Хасанова.

В основных направлениях исследований промышленных вод Узбекистана на 2000-2020 гг. предусмотрено дальнейшее усиление работ по изучению, оценке прогнозных ресурсов, выявлению закономерностей распространения и условий формирования, разработке технологий извлечения, улучшению комплексного использования гидроминерального сырья, созданию технологических процессов малоотходного производства и другие мероприятия, направленные на рациональное использование полезных ископаемых и охрану окружающей природной среды.

Гидроминеральное сырье является для Узбекистана нетрадиционным, однако в развитых странах мира и СНГ из него в промышленных масштабах получают литий, йод, бром и другие элементы.

В последнее время значительно увеличивается использование лития, бериллия, золота, циркония, индия, таллия, рубидия, цезия и редкоземельных элементов. По оценкам зарубежных специалистов, прибыль, получаемая от реализации продукции при переработке гидроминерального сырья достигает 5 млн. дол. США на 1 млн. дол. капитальных вложений. Это обуславливает высокую конкурентную способность комплексного использования гидроминеральных сырьевых ресурсов Узбекистана.

Наибольший интерес в этом отношении представляют водоносные горизонты верхнеюрских отложений Бухаро-Каршинского артезианского бассейна (БКАБ), палеогеновых образований Ферганской долины и плато Устюрт.

Большой вклад в изучение подземных промышленных вод, решение теоретических вопросов их познания внесли В.И.Вернадский, Н.Н.Славянов, И.И.Толстихин, А.П.Виноградов, М.Г.Валяшко, Е.В.Посохов, Н.А.Плотников, В.С.Самарина, Л.В.Славянова, С.С.Бондаренко, Б.А.Бедер, А.С.Хасанов, А.Н.Султанходжаев, Л.А.Калабугин, Д.С.Ибрагимов, Н.И.Еникеев, С.А.Бакиев, В.А.Кудряков, Т.Н.Авазов, Г.А.Голева, В.Г.Красинцева, А.М.Овчинников, А.И.Перельман, К.Е.Питьева, Д.Ж.Сыдыков, Е.А.Ходжакулиев, М.В.Швец и др. (Бакиев, 2012).

Промышленные воды Узбекистана стали систематически изучаться с 1948 г. гидроминеральной партией Узглавгеологии (Б.А.Бедер и др.). С конца 50-х годов XX в. в связи с поисками нефти и газа накоплен значительный объем материала по промышленным водам глубоких водоносных горизонтов. В 1964 г. Б.А.Бедером составлена прогнозная карта на поиски гидроминерального сырья Средней Азии. В 1965 г. издана «Гидрогеохимическая карта западной части Средней Азии» масштаба 1:1500000 под редакцией Г.Б.Митгарц, где выделены промышленные йодо-бромные воды. В 1969 г. Узбекским гидрогеологическим трестом составлена карта прогнозных эксплуатационных запасов подземных промышленных вод (йодо-бромных) по территории Узбекистана масштаба 1:500000 (Л.А.Калабугин, Л.Н.Копкина),

а в 1973 г. на редкометалльные (цезий, бор, германий и др.) воды (А.С.Хасанов, Д.С.Ибрагимов, Л.А.Калабугин, С.А.Бакиев, Н.А.Еникеев и др.) [Хасанов и др., 1976, 1983]. Подземные промышленные воды, закономерности их распространения, условия формирования освещены в ряде работ Б.А.Бедера, А.С.Хасанова, Л.С.Балашова, А.Н.Султанходжаева, Г.В.Куликова, Л.А.Калабугина, С.А.Бакиева, В.А.Кудрякова, Э.Л.Салтейской, Ф.Зиган и др. (Бакиев, 2012).

По состоянию на 01.01.1987 г. (А.С.Хасанов, С.А.Бакиев) оценены прогнозные ресурсы подземных промышленных вод и возможное извлечение из них микрокомпонентов. В последние годы в результате бурения и опробования нефтегазоразведочных скважин на дне обсохшего Аральского моря на площадях Кабанбай, Северная Урга, Сургуль, Муйнах, Арал, Северный Арал, Бердах, Шагырлык вскрыты рассолы, содержащие промышленные концентрации ряда редких элементов (йода, брома, лития и других ценных компонентов). К сожалению, их переработка в целях извлечения полезных компонентов из перечисленных объектов затруднено вследствие того, что они разбуриваются иностранными инвесторами, и большая часть нефтегазовых областей Узбекистана в настоящее время разделена на 15 инвестиционных блоков и передана иностранным компаниям для их совместного до изучения и освоения с НХК «Узбекнефтегаз».

На основании проведенных исследований по выявлению закономерностей распространения лития и условий формирования, а также анализа геолого-тектонических, гидродинамических и гидрогеохимических условий в пределах артезианских бассейнов Узбекистана и на примере Бухаро-Каршинского артезианского бассейна (БКАБ) получены выводы теоретического, методического и практического характера. Выявлены области с высокими концентрациями лития. Подземные воды с его повышенными концентрациями приурочены к отложениям нижне-средней, верхней юры и, частично, нижнего мела. Увеличение концентраций лития отмечается в направлении наиболее погруженных частей Чарджоуской тектонической ступени. Выявленная гидрогеохимическая зональность подземных литиевых вод является результатом длительной геологической истории развития территории, обусловившей преимущественное формирование седиментационных морских вод. Увеличение концентраций лития связано с ростом минерализации, хлора, калия, магния, температуры, а также изменением химического состава подземных вод.

Выявлены наиболее перспективные месторождения промышленных литиевых вод Узбекистана:

- по Ферганскому артезианскому бассейну 4 месторождения (Западный Палванташ, Ханкыз, Южный Аламышик, Чартак);
- по артезианским бассейнам плато Устюрт 7 месторождений (Чурук, Куаныш, Южный Тасаук, Шапахты, Восточный Ассакеаудан, Кунград, Николаевская);
- по Сурхандарьинскому артезианскому бассейну 4 месторождения (Хаудаг, Ляльмикар, Кокайты, Актау);
- по БКАБ 26 месторождений (Зеварды, Кандым, Западный Караиз, Кульбешкак, Аккум, Узбеккудук, Ходжи, Хатар, Хасанкуль, Парсанкуль, Западный Ташлы, Хорезмская, Даяхатын, Чукуркуль, Денгизкуль, Уртабулак, Шорбулак, Гумбулак, Аузбай, Учкыр, Ходжиказган, Куюмазар, Хаузак, Памук, Каракуль, Сарыча).

Даны прогнозные ресурсы подземных промышленных литиевых вод по Бухаро-

Каршинскому, Ферганскому, Сурхандарьинскому артезианским бассейнам и артезианским бассейнам плато Устюрт и составлены схематические карты распространения промышленных литиевых вод по ним. Выявлены основные факторы, способствующие накоплению и сохранению лития в подземных водах:

- благоприятная геолого-структурная обстановка, особенности геологического развития, литолого-фациальные, гидрогеохимические условия и др.;
- наличие пород с повышенными концентрациями лития;
- наличие седиментационных вод хлоридного состава, способствующих переходу лития из пород в раствор;
- наличие глубинных разломов и близость поверхности Мохо;
- наличие мощных водоупоров, способствующих накоплению и сохранению лития.

Установлена связь повышенных концентраций лития с цикличностью осадконакопления, этапами тектонической активизации, водорастворенной органикой, глубинными разломами.

В результате статистического анализа выявлена парная и множественная корреляционная связь лития с микро- и макрокомпонентным составом, рН, температурой подземных вод и глубиной.

В проведении полевых работ, в разное время участвовали: А.С.Хасанов, Н.И.Еникеев, С.А.Бакиев, Р.Б.Умаров, Л.А.Калабугин, Д.С.Ибрагимов, А.С.Ибрагимов, С.А.Арипов, Т.А.Гафуров, Ж.Иноятов, Ж.Болтабоев.

Авторы выражают глубокую благодарность руководству ГП «Институт ГИДРОИНГЕО» за содействие в опубликовании данной монографии, всем коллегам-гидрогеологам и сотрудникам Лаборатории урана и гидроминеральных ресурсов за помощь при проведении полевых исследований, а также сборе, анализе фактического материала.

Авторы будут признательны всем специалистам и организациям за замечания и пожелания, которые следует посылать по адресу: 100041, Ташкент, ул. Олимлар, 64, ГП «Институт ГИДРОИНГЕО».

Глава I. ИСТОРИЯ ИЗУЧЕННОСТИ ЛИТИЯ И РЕДКИХ ЭЛЕМЕНТОВ В ПОДЗЕМНЫХ ВОДАХ УЗБЕКИСТАНА И ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ О МЕСТОРОЖДЕНИЯХ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПОДЗЕМНЫХ ВОД

Изучению редких щелочных элементов, в т. ч. лития, в природных водах в целях их промышленного извлечения посвящены работы Б.А.Бедера (1960, 1963), Л.С.Балашова (1960, 1968, 1972, 1980), Т.Ф.Бойко (1963, 1966, 1968), С.Р.Крайнова (1960, 1966-1980), Н.П.Морозова (1969), М.Г.Валяшко (1962), М.Г.Валяшко, И.К.Жеребцова и др. (1965), Т.В.Галаховской (1967), Л.В.Славяновой, М.С.Галицына (1970), Г.А.Голевой (1971, 1974, 1977, 1981), Г.И.Арсановой (1974), А.Н.Нуриева, Э.И.Шик и др. (1974), Д.И.Зульфугарлы, З.М.Штанчаевой (1974), В.П.Зверева и др. (1974), Г.К.Павленко (1975), Я.А.Ходжикулиева, В.Ф.Казакова и др. (1976), В.Н.Крат, Н.М.Чуршиной, И.М.Юсупова (1975), В.И.Вожова (1975), А.Н.Султанходжаева, Ф.Г.Зиган (1975), Н.И.Еникеева, Л.А.Калабугина (1973-1976), А.С.Хасанова (1971-1981), С.А.Бакиева (1973-2013), А.И.Перельмана (1979), И.А.Клименко и др. (1979), Д.С.Ибрагимова, К.А.Сабирова (1975, 1981) и других исследователей. В этих работах освещены отдельные моменты распределения, концентрации и форм миграции лития, рубидия, цезия, стронция и других элементов в углекислых и щелочных водах, водах нефтяных месторождениях, рапе соленых озер, рассолах глубоких водоносных горизонтов и термальных водах вулканических областей.

На территории Узбекистана, в т. ч. и в Бухаро-Каршинском артезианском бассейне (БКАБ), специальные работы по изучению распространения лития и других элементов в подземных водах начали проводиться планомерно с 1970 г. До этого в литературе приводились отдельные сведения о некоторых редких элементах, в основном они касались изучения промышленных йодо-бромных вод.

О практическом интересе о распространении лития в подземных водах Узбекистана упоминалось в работе Б.А.Бедера (1960, 1963). И.В.Рубановым и Н.С.Неумеечевой (1964) изучены особенности распределения лития, рубидия и цезия в соляных отложениях Узбекистана (Рауфходжаева, Осичкина, 1984) и дана характеристика содержания лития в воде и рапе изученных объектов.

В 1966 г. составлена «Карта подземных минеральных вод УзССР» масштаба 1:2500000 (А.С.Хасанов и др.), на которой показаны наиболее перспективные районы промышленных вод (Бухаро-Каршинский и Сурхандарьинский артезианские бассейны), приводятся прогнозные запасы подземных промышленных вод по Сурхандарьинскому артезианскому бассейну, подсчитанные Б.А.Бедером и В.А.Гейнцем (1966).

В 1968 г. М.И.Щупак, Х.А.Ахмедов и Б.А.Бедер провели технологические исследования по извлечению лития, бора, брома, магния и других элементов из подземных вод месторождений Уртабулак (Узбекистан) и Гуртепе (Таджикистан). Исследования, проведенные САИГИМСом в лабораторных условиях, показали возможность извлечения лития и других элементов из подземных вод (М.И.Щупак и др., 1968).

С 1971 г. на территории Узбекистана НПО «Узбекгидрогеология» начато проведение поисково-ревизионных работ на литий, рубидий, цезий, бор и германий в

подземных водах (А.С.Хасанов, Н.И.Еникеев, Л.А.Калабугин, С.А.Бакиев, 1973). Результаты этих исследований позволили выявить на территории республики районы, перспективные на промышленные редкометалльные воды: Бухаро-Каршинский, Сурхандарьинский, Ферганский артезианские бассейны и артезианские бассейны плато Устюрт. Остальная территория Узбекистана (Центральные Кызылкумы, Приташкентский артезианский бассейн, где имеются выходы палеозойского фундамента на поверхность, а также солончаки и соленые озера) выделена как бесперспективная ввиду чрезвычайно низких концентраций лития, рубидия, цезия и др.

В пределах БКАБ наиболее перспективными на литий являются юрские рассолы Чарджоуской ступени. Минерализация – 100-150 г/л при хлоридном натриево-кальциевом составе. Эти рассолы характеризуются высокими концентрациями редких элементов. Концентрации лития (средняя – 18 мг/л) отличаются региональным распространением. Средние значения содержания лития в ниже-среднеюрском водоносном комплексе составляют 33 мг/л, высокие в верхнеюрском водоносном комплексе отмечены в структурах, мг/л: лития – 75 (Хаузак), 93 (Денгизкуль), 96 (Зеварды), 107 (Уртабулак) и 175 (Кандым); рубидия – от 2,4 до 5,5 (Денгизкуль, Уртабулак, Зеварды); цезия – 1 (Уртабулак), 1,6 (Зеварды).

На основании результатов поисково-ревизионной стадии исследований в пределах наиболее перспективных артезианских бассейнов (БКАБ и плато Устюрт) в 1974-1976 гг. были проведены поисковые работы на литий, рубидий, цезий, стронций, бор и германий в подземных водах, соответствующие стадии общих поисков (Н.И.Еникеев, С.А.Бакиев, М.А.Шерматова, 1976). В пределах БКАБ гидрогеохимическому опробованию подвергнуты воды палеогеновых, меловых и юрских отложений, вскрытые глубокими нефтегазоразведочными скважинами. В гидрогеологическом разрезе артезианского бассейна редкие элементы (литий, рубидий, цезий и др.) в концентрациях выше нижнего предела технологических требований накапливаются преимущественно в юрском (ниже-среднеюрский и верхнеюрский) и, частично, в неоком-аптском водоносных комплексах. Турон-палеоценовый и альб-сеноманский водоносные комплексы бассейна характеризуются чрезвычайно низкими содержаниями редких элементов и практического интереса не представляют.

В результате общих поисковых работ составлены карты распределения редких элементов в юрских водоносных комплексах БКАБ и карты прогнозных эксплуатационных запасов. Наиболее перспективными на промышленные редкометалльные воды является верхнеюрские хлоридные натриево-кальциевые рассолы в пределах Денгизкульского поднятия и прилегающих к нему районов.

В 1980 г. А.В.Гребенниковым, С.А.Бакиевым и В.С.Щегловым впервые для промышленных редкометалльных вод проведена пробная откачка с целью получения достоверных гидрогеологических и гидрогеохимических параметров, необходимых для оценки прогнозных запасов воды и редких элементов на газовом месторождении Умид (скв. 13). Полученные результаты использованы при подсчете прогнозных запасов воды и редких элементов в них.

В 1981-1990 гг. в ГП «Институт ГИДРОИНГЕО» проводились технологические исследования по комплексному извлечению редких элементов из подземных вод.

С 2001 по 2006 г. в ГП «Институт ГИДРОИНГЕО» на основании ТЭО кондиций добычи йода из подземных промышленных вод установлены основные расчетные параметры по месторождению Крук. Срок окупаемости капитальных вложений для организации добычи йода при величине эксплуатационных запасов по категории C_1 – 604,8 м³/сут изменяется от 0,6 до 5,6 г.

Результаты доказывают рентабельность переработки промышленных вод с содержанием йода 16 мг/л, а не 18 мг/л, как было принято в требованиях к йодным промышленным водам, что существенно повышает потенциальные ресурсы йодсодержащих вод в других регионах, где может добываться йод из промышленных или попутных сбросных вод.

Проведенные в последние годы исследования в ГП «Институт ГИДРОИНГЕО» показывают, что подземные воды глубоких горизонтов содержат большое количество ценных компонентов и комплексное извлечение таких компонентов как бром, скандий, золото, литий и др. увеличит рентабельность производства.

Основные понятия о месторождениях промышленных подземных вод

При оценке промышленных редкометалльных вод использованы «Методические указания по региональной оценке и картированию прогнозных эксплуатационных запасов промышленных вод» (С.С.Бондаренко, 1969), «Методические рекомендации по геохимической оценке и картированию подземных редкометалльных вод» (Л.С.Балашов, М.С.Галицын, Н.В.Ефремочкин, 1967), а также разработанный А.С.Хасановым метод гидрогеохимических исследований.

Термин «промышленные воды» широко используется в гидрогеологии и практически одинаково трактуется различными исследователями. По этому вопросу имеются определенные высказывания ряда авторов. Так, для пресных вод понятие месторождения предложено Н.И.Плотниковым, для минеральных – А.М.Овчинниковым, для промышленных – Н.И.Плотниковым (1971). Для промышленных йодо-бромных вод используется понятие месторождения, сформулированное С.С.Бондаренко. Принимая во внимание региональное распространение промышленных вод в пределах крупных бассейнов, приуроченность вод к определенным стратиграфо-литологическим комплексам пород, четкость проявления гидрогеологической зональности в разрезе и по простиранию водоносных пород, особенности динамики глубоких водоносных горизонтов (слабая подвижность вод, проявление упругих свойств и др.), С.С.Бондаренко под месторождением промышленных вод понимает «пространственно ограниченную в разрезе и по площади артезианского бассейна или его части зону, характеризующуюся распространением водоносных горизонтов (комплексов), заключающих подземные воды с содержанием полезных компонентов, выше минимальных для рассматриваемого района промышленных концентраций».

Значения минимальных промышленных концентраций полезных компонентов в каждом конкретном случае устанавливаются путем расчетов по сумме гидрогеологических и технико-экономических показателей. Методика выполнения таких расчетов применительно к промышленным йодо-бромным водам изложена в работах С.С.Бондаренко, Л.В.Боревского, Н.В.Ефремочкина, Н.А.Плотникова, В.П.Стрепатов (Бондаренко, 1969, 1971).

Л.В.Боревский и Н.В.Ефремочкин, рассматривая понятие о месторождении промышленных вод, приходят к такому определению: «месторождение подземных вод – это пространственно ограниченная часть промышленной зоны, в пределах которой рациональным в технико-экономическом отношении водозабором в течение расчетного срока эксплуатации можно полностью отработать заключенные внутри ее геологические запасы этих вод».

Рассматривая указанные формулировки промышленных вод можно сказать, что к промышленным относятся природные воды, которые содержат полезные компоненты или их соединения в количествах, обеспечивающих рентабельную добычу и переработку этих вод с приемлемыми технико-экономическими показателями. Такая формулировка понятия о промышленных водах достаточно обоснована и отражает сущность предмета.

Подземные воды, содержащие повышенные концентрации лития, рубидия, цезия, стронция, германия и др., называются промышленными редкометалльными водами. Для них нижние пределы концентраций элементов, при которых воды могут представлять интерес для промышленного использования, предварительно оцениваются следующими значениями, мг/л: лития – 10, рубидия – 3, цезия – 0,5, стронция – 300, германия – 0,05, бария – 200, бора – 100 (Балашов и др., 1980).

По Л.С.Балашову, М.С.Галицыну и Н.В.Ефремочкину, основными элементами картирования промышленных вод являются: провинция, область, район и месторождение. Провинцией подземных промышленных вод является крупная тектоническая структура, представляющая единую водонапорную систему с преобладанием в ее глубоких зонах подземных вод определенного химического состава, регионально содержащих повышенные концентрации одного или нескольких полезных компонентов. Статистическая обработка большого количества фактического материала по территории бывшего Союза позволила Л.С.Балашову и др. относить к повышенным следующие концентрации полезных компонентов в подземных водах, мг/л: лития – 5, рубидия – 1, цезия – 0,3, стронция – 300 (табл. 1).

В пределах отдельных провинций выделяются области промышленных вод. Областью подземных промышленных вод (ППВ) является гидрогеологическая структура второго порядка, характеризующаяся общностью гидрогеологических условий

Таблица 1

Средние ориентировочно-кондиционные и максимальные концентрации элементов в подземных рассолах и хлоридных водах (по Л.С.Балашову)

Элемент	Концентрация, мг/л		
	средняя в подземных рассолах	ориентировочно-кондиционная	максимальная в подземных водах и рассолах
Литий	9,5	20	685 (рассол из свиты парадокс, шт. Юта)
Стронций	390	700	8050 (рассол из кембрия, Восточная Сибирь)
Рубидий	1,2	3	950 (рассол из свиты парадокс, шт. Юта)
Цезий	0,4	1,2	А – 5 (термальный источник Такаану, Новая Зеландия; Б – 15 (термальный источник Эль-Татио, Чили)
Бор	24	46	20000 (рассол из свиты парадокс, шт. Юта)

и спецификой состава подземных вод, заключающих полезные компоненты с определенным уровнем концентрации. По величине концентраций редких и рассеянных элементов Л.С.Балашов выделяет три градации областей подземных промышленных вод: с *низкими, высокими и очень высокими концентрациями*. Для лития, по градации Л.С.Балашова, это области провинции промышленных вод: с низкими – 10-20 мг/л, высокими – 20-50 мг/л, очень высокими – более 50 мг/л концентрациями (табл. 2).

Таблица 2

Уровни концентраций редких элементов (мг/л) для выделения провинций и областей подземных промышленных вод (по Л.С.Балашову)

Элемент	Провинция	Область с концентрацией, мг/л		
		низкой	высокой	очень высокой
Литий	5	10-20	20-50	> 50
Рубидий	1	3-5	5-10	> 10
Цезий	0,3	0,5-1	1-3	> 3
Стронций	300	500-1000	1000-3000	> 3000
Йод	10	15-20	20-50	> 50
Бром	300	500-1000	1000-3000	> 3000
Бор	50	100-200	200-300	> 300
Калий	500	1000-2000	2000-5000	> 5000

В областях выделяют *промышленные районы*. Их границы в плане и разрезе проводят по изолиниям минимальных кондиционных концентраций полезных компонентов, которые определяются путем геолого-экономических расчетов с учетом затрат на добычу подземных вод и их переработку.

В промышленном районе выделяются *месторождения промышленных вод*. Под этим понятием подразумевается пространственно ограниченная часть района, в пределах которой по совокупности гидрогеологических и технико-экономических показателей рентабельно добывать и перерабатывать гидроминеральное сырье в течение всего расчетного срока эксплуатации.

Участки месторождений, где непосредственно производится или будет производиться разработка подземных промышленных вод, называются *эксплуатационными*. Месторождения и эксплуатационные участки выделяются только при наличии разработанной технологии извлечения редких элементов из подземных вод.

Среди многообразия подземных минерализованных вод только три генетических вида представляют практическое значение по концентрациям редких элементов и ресурсам (Балашов и др., 1980):

- пластовые хлоридные воды и рассолы артезианских бассейнов;
- углекислые воды альпийской зоны горно-складчатых областей;
- термальные хлоридные воды современных вулканических областей.

Для выявления зависимости концентраций лития, рубидия, цезия в водах от глубины их залегания, температуры и различных компонентов химического состава построены графики.

Выявление сорбционных способностей различных литологических типов пород, слагающих БКАБ, по отношению к литию, рубидию и цезию производилось путем проведения экспериментальных исследований. В качестве исходного материала выбраны образцы глин, аргиллитов, песчаников, ангидритов из структур Хаузак,

Денгизкуль и Уртабулак в количестве 20 проб и вода из скв. 3 пл. Северный Уртабулак (глубина отбора 2540 м, возраст водоносного горизонта – J_3Cl-Ox , XV горизонт, температура на глубине отбора $102^{\circ}C$, содержание лития – 60 мг/л, рубидия – 4,76 мг/л, цезия – 1 мг/л, стронция – 857 мг/л, йода – 52 мг/л, брома – 972 мг/л) (см. табл. 1, 2), формула химического состава:

$$215,7 \frac{CL100}{(Na + K)81Ca15}$$

Методика проведения гидрогеологических исследований промышленных литиевых вод

Гидрогеологические исследования промышленных литиевых вод осуществлялись путем проведения полевых исследований, лабораторных и камеральных работ, а также сбора, систематизации и обработки фондовой и опубликованной литературы. Основной задачей полевых работ являлось обследование скважин, родников, солончаков и соляных озер, представляющих интерес для выявления промышленных литиевых вод, с гидрогеохимическим опробованием.

Обследование самоизливающихся скважин заключалось в следующем:

- I. Определение местонахождения скважины на местности и нанесение его на карту.
- II. Описание технического состояния и оборудования устья скважины.
- III. Замеры дебитов скважины объемным способом и температуры воды.
- IV. Отбор проб воды для общего химического анализа и на литий.

При обследовании родников соляных озер и солончаков проводилась аналогичная работа с дополнительным геоморфологическим и геологическим описанием места расположения водопункта. На солончаках отбирались пробы солей, и, по возможности, определялась мощность соляного пласта или соляной корки.

Скважины, эксплуатируемые на нефть и минеральные воды, опробовались в момент их эксплуатации при установившемся расходе жидкости с последующим разделением нефти и воды путем отстаивания. Обследование самоизливающихся скважин, находящихся в процессе бурения, производилось партией опробования глубоких скважин и заключалось в подготовке скважины к опробованию, отборе глубинных проб воды и газа и замере пластового давления и температуры.

Подготовка скважины к опробованию начинается после ее оборудования эксплуатационной колонной и испытания последней на герметичность. Затем по результатам интерпретации геологических, гидрогеологических и промыслово-геофизических исследований в выбранном интервале производится перфорация обсадной колонны. Тип перфоратора и интервал перфорации зависит от мощности проницаемого горизонта и конструкции скважины. В процессе гидрогеологических исследований перфорацию осуществляют, в основном, кумулятивным способом. После вскрытия водоносного горизонта для полной смены технической воды на пластовую из скважин проводится откачка до достижения постоянства удельного веса откачиваемой воды, в основном, двумя способами: компрессорным (азрация) и при помощи сваба (свабирование).

Перед откачкой в эксплуатационную колонку опускаются насосно-компрессорные трубы диаметром до 4 дюймов на глубину до середины интервала перфорации. При аэризации под действием сжатого воздуха происходит выброс образовавшейся эмульсии через насосно-компрессорные трубы. При свабировании в насосно-компрессорные трубы на канате опускается сваб, имеющий обратный клапан, который под давлением столба воды при подъеме закрывается, и вода, находящаяся выше него, выбрасывается из насосно-компрессорных труб. После замены технической воды на пластовую из скважины производилась пробная откачка продолжительностью от 2 до 8 ч в зависимости от интенсивности водопритока. При откачке создавалось максимальное, технически возможное, понижение уровня, и проводились наблюдения за его восстановлением, начинавшиеся через 2-3 ч после окончания откачки и исчезновения воздушной пробки, образующейся в насосно-компрессорных трубах.

Уровень замеряют с помощью поплавка, опускаемого в скважину лебедкой Азинмаш-8, при неглубоком положении динамического уровня – хлопущкой или электроуровнемером. Интервал между замерами в начальный период наблюдений – 20-30 мин, а в последующем увеличивается в зависимости от интенсивности водопритока. В случае слабого водопритока наблюдения за восстановлением уровня прекращались до достижения статического положения. Пробы воды отбирались при помощи глубинных пробоотборников ПД-03, ПД-3м, ПРИЗ-1 и ПРИЗ-2, рассчитанных на глубину спуска до 3000 м, рабочее давление 250-300 кг/см² и температуру 100°С. Для замера пластового давления и температуры использовались в основном манометры типа МГП-3 с различными пределами измерений – от 160 до 400 атм в зависимости от высоты столба воды в стволе скважины. Для получения достоверных сведений все измерения производились при статическом положении уровня.

Пластовую температуру замеряли максимальными ртутными термометрами, герметично вмонтированными в корпус глубинного манометра. Пределы измерения температуры – от 0 до 150°С. Отобранные пробы воды анализировались на литий, также определялся общий химический состав воды по известной и общепринятой методике.

Литий выявляли на пламенном фотометре, сконструированном в Центральной лаборатории, изготовленном на базе спектрографа ИСП-51 с применением дифференциальной головки. Преобразователем сигналов является ФЭУ-27. Возбуждение щелочных элементов происходит в высокотемпературном пламени (смесь природного газа с кислородом). Излучение щелочных элементов усиливается некоторыми другими химическими элементами, содержащимися в природных водах. Применение метода добавок исключает ошибки, связанные с увеличением или гашением излучения. Чувствительность метода на литий – 0,025 мг/л.

В результате полевых работ, химических анализов проб воды, ранее проведенных исследований накоплен фактическим материал, на основании которого составлены каталоги содержания лития в подземных водах различных регионов Узбекистана и схематические карты перспективных площадей на промышленные литиевые воды.

Глава II. ГИДРОГЕОХИМИЯ ЛИТИЯ И ОБЛАСТИ ЕГО ПРИМЕНЕНИЯ

Литий – один из немногих редких металлов, мировое потребление которого исчисляется тысячами тонн. Сфера применения лития непрерывно расширяется, что предопределяет большие перспективы роста его потребления. В последние годы активно увеличился спрос на литий в Китае, странах Юго-Восточной Азии (Корея, Тайвань) и Западной Европы. Исходя из уровня мирового производства лития, его современное потребление может быть оценено в 12-13 тыс. т. В пределах Узбекистана единственным промышленным месторождением лития пока является уникальное Шавазсайское месторождение в вулканогенно-осадочных отложениях с содержанием Li_2O около 0,6% (Т.М.Мацокина-Воронич, Л.М.Глейзер). Однако, из-за сложных горно-геологических условий месторождение, до настоящего времени, не разрабатывается. Республика обладает крупными ресурсами лития ПВ, которые могут стать одним из важнейших его промышленных источников. В связи с этим одной из первоочередных задач освоения и развития минерально-сырьевой базы лития является изучение попутных вод нефтяных и газовых месторождений. В Узбекистане промышленные литиевые воды изучались в 70-80 гг. прошлого столетия А.С.Хасановым, Н.И.Еникеевым, Д.С.Ибрагимовым, Л.А.Калабугиным, С.А.Бакиевым (2012) по данным поисково-разведочных скважин, пробуренных на нефть и газ. Нижний предел концентрации лития в ПВ для промышленного освоения – 10 мг/л. Его высокие концентрации (> 10 мг/л) связаны с хлоридными водами, а также с наличием углеводов и глубинными разломами. Изучение лития в ПВ БКАБ позволило выявить промышленные литиевые воды в верхнеюрских (J_3 СI-Ох, J_3 Км-Тi) и нижнемеловых отложениях. Концентрация лития в этих водах изменяется от 20 до 35-40 мг/л. Формирование промышленных литиевых вод является сложным естественно-историческим процессом. Накопление лития и его количественное и качественное распределение являются результатом процессов, протекающих не только в настоящее время, но и, в известной степени, отражают длительную геолого-гидрогеологическую историю развития территории, начиная со времени образования водовмещающих пород. Поэтому для выявления условий формирования, в первую очередь, необходимо рассмотреть палеогеографию исследуемого и сопредельных ему районов (табл. 3).

Мировая добыча лития оценивается в 34 тыс. т. На две страны лидера – Чили и Австралию приходилось 70,3% мировой добычи (23,9 тыс. т). В значительных объемах литий добывают Китай, Аргентина, Португалия, Зимбабве, Бразилия (рис. 1, табл. 4) (Коган, 1978).

Таблица 3
Содержание лития в некоторых
минералах редкометалльных руд

Минерал	Li, % масс.
Натриево-литиевый берилл	До 1,5
Маргарит	До 0,63
Родицит	3,64
Битиит	1,28
Сянхуалит	2,71
Либерит	10,39
Бавенит	Обнаружен
Лепидолит	1,2-5,9
Турмалин	До 0,66
Мусковит	До 0,678
Трифиллин-литофилит	До 1,38
Циннвальдит	1,40/1,64
Биотит	До 0,61
Сподумен	2,76/3,55
Протолитионит	0,67
Амблигонит	2,8/3,74
Петалит	2,85

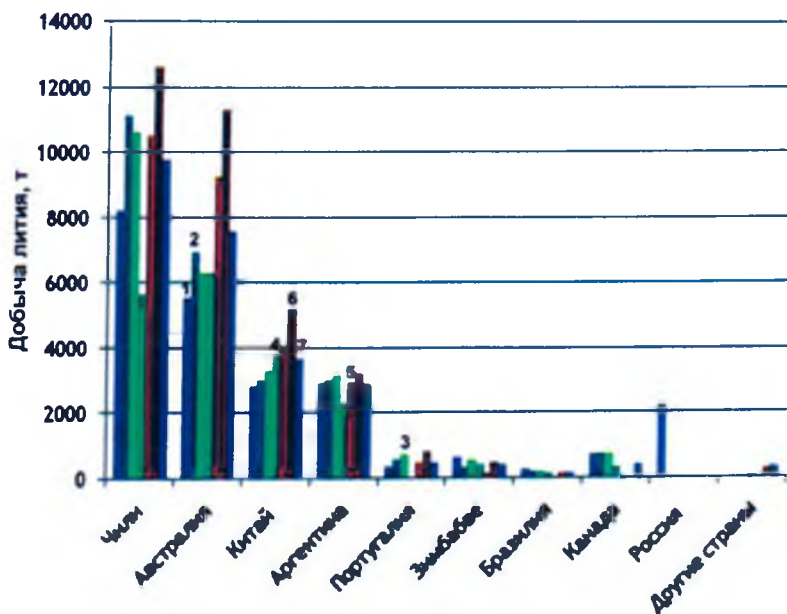


Рис. 1. Динамика мировой добычи лития в 2006-2012 гг. (т, по содержанию металла). Год: 1 - 2006; 2 - 2007; 3 - 2008; 4 - 2009; 5 - 2010; 6 - 2011; 7 - 2012

Таблица 4

Крупнейшие мировые компании-производители лития (литиевый карбонат)

Компания	Страна	Статус	Производство Li_2CO_3 , т/год
SQM	Чили	Производство	42000
Chemetall	Чили/США		27000
FMC Corp	Аргентина		17000*
Talison	Австралия		28000 (LCE**)
Galaxy Resources	Австралия	Строительство	17000 (LCE) к 2010-2011 г.
Rincon Lithium	Аргентина		1000 т/мес., опытное производство
Comibol	Боливия		1000 т/мес., опытное производство к 2011 г.
Orocobre	Аргентина	Оценка	15000 к 2012 г.
Western Lithium	США	Предварительная оценка	27000 к 2013 г.
Canada Lithium	Канада		15000 к 2013 г.
Simbol Mining	США		16000 к 2013 г.

Генетические типы промышленных месторождений высококонцентрированных рассолов

Одним из самых важных природных источников лития является гидроминеральное сырье, которое обеспечивает более 50% мирового производства этого металла. Из четырех природных типов сырья на литий промышленно освоены поверхностная и близповерхностная рапа саларов и соляных озер (CO_3)-Cl-(K)-Mg-Na гидрохимического типа и рапа соляных озер (SO_4)-Cl-(Mg)-Na типа. Два природных типа глубокозалегающих подземных хлоридных рассолов относят к потенциально промышленным (см. табл. 4).

Важнейшими промышленными месторождениями лития являются высококонцентрированные природные рассолы. В них сосредоточено около 60% мировых запасов лития. Выделяется несколько разновидностей богатых литием природных вод (табл. 5).

1. Межкристальная рапа высохших соляных озер (65-75% мировой добычи). Примером может служить оз. Серлс в Калифорнии площадью 10 км² в соленосной толще мощностью 15-20 м, сложенной галитом, содой и мирабилитом, межкристальное пространство заполнено маточной рапой с содержанием 0,015% Li_2O .

2. Рассолы высыхающих современных водных бассейнов – это озера, лагуны и заливы морей. К этой разновидности природных вод относятся рассолы Мертвого моря (содержание Li_2O – 0,004%), салары в пустыне Атакама – месторождение Салар де Атакама в Чили (содержание Li_2O ~ 0,2%) и др.

3. Подземные богатые рассолы. Примером являются рассолы подземного оз. Силвер-Пик в штате Невада. Рассолы, содержащие 0,03% Li_2O , заключены в клас- тических осадках среди андезитовых и риолитовых лавовых потоков, перекрытых аллювиальными отложениями. Доказанные извлекаемые запасы лития в рассолах этого озера оцениваются в 40 тыс. т, а прогнозные – 80 тыс. т.

Месторождения с содержанием лития более 100 тыс. т

Месторождение	Страна	Тип	Ресурсы, млн. т	Концентрация, %
Uyini	Боливия	Рассолы	10,2	0,0532
Atacama	Чили		6,3	0,14
RingsMountainBelt	США	Пегматиты	5,454	0,68
Qaidam	Китай	Рассолы	2,02	0,03
Kings Valley	США	Осадочные породы	2,0	0,27
Zabuye	Китай	Рассолы	1,53	0,068
Manono/Kitotolo	Конго	Пегматиты	1,145	0,58
Rincon	Аргентина	Рассолы	1,118	0,033
Brawley	США		1,0	-
Jadar Valley	Сербия	Пегматиты	0,99	0,0087
Hombre Muerto	Аргентина		0,8	0,052
Smackover	США	Рассолы	0,75	0,0146
Gajika	Китай	Пегматиты	0,591	-
Greenbushes	Австралия		0,56	1,59
Beaverhill	Канада	Рассолы	0,515	-
Yichun	Китай	Пегматиты	0,325	-
Salton Sea	США	Рассолы	0,316	0,02
Silver Peak			0,3	0,02
Kolmozorskoe	Россия	Пегматиты	0,288	-
Mearking	Китай		0,225	-
Maricunga	Чили	Рассолы	0,22	0,092
Jiajika	Китай	Пегматиты	0,204	0,59
Daoxian			0,182	-
DXC		Рассолы	0,181	0,04
Olaroz	Аргентина	Пегматиты	0,156	0,07
Other (producing)	Бразилия, Канада, Китай, Португалия		0,147	-
Гольцовое	Россия		0,139	-
Полмостундровское			0,139	-
Улуг-Танзекское			0,139	-
Урикское			0,139	-
Koralpa	Австрия		0,1	-
Mibra	Бразилия	0,1	-	
Bikita	Зимбабве	0,0567	-	
Dead Sea	Израиль	Рассолы	-	0,001
Great Salt Lake	США		-	0,004
Searies Lake			-	0,005
Всего			38,33	

4. Подземные рассолы нефтяных и газовых месторождений. Они приурочены обычно к подсолевым и межсолевым комплексам пород в нефтегазоносных областях. По составу это чаще всего хлоридно-кальциево-натриевые рассолы. Содержат, наряду с Li_2O (до 0,08%), Rb, Cs, I, Br, B, Sr. Такие подземные рассолы широко распространены в Припятской нефтегазоносной области в Беларуси (табл. 6-8, рис. 2).

Таблица 6

Промышленные типы месторождений лития и их характеристики

Промышленный и потенциально-промышленный типы месторождений	Промышленный тип руд	Минералы-носители редких металлов (выделены главные)	Основные редкие металлы: содержание, в руде, %; запасы, тыс. т (в оксидах)	Другие полезные компоненты	Месторождения (выделены разрабатываемые)
1	2	3	4	5	6
Литий-танталовый в «редкометалльных гранитах»	Микролит-танталит-сподуменовый вкрапленный силикатный	Танталит-колумбит, микролит, сподумен, амблигонит-монтебразит	Li: 0,8-1,2; 100 п	Nb, Rb, Cs	Алахинское
Бериллий-литий-цезий-танталовый пегматитовый	а) сподумен-берилл-танталитовый; б) поллуцит-сподумен-танталитовый; в) сподумен (петалит)-воджинит-танталитовый; г) лепидолит-микролитовый – вкрапленные, гнездовые, блоковые силикатные	Танталит, танталит-колумбит, микролит, воджинит, поллуцит, петалит, сподумен, эвкрипит, берилл и др.	Li: 0,3-1,5, 10п-100п	Nb, ±Rb ±Sn ±Ga	Вишняковское, Воронье-Тундровское; Берник-Лейк (Канада), Гринбушес (Австралия), Бикита (Зимбабве), Алту-Лигонья, Морруа (Мозамбик), Бакенное (Казахстан)
Литиевый пегматитовый	а) сподуменовый; б) танталит-колумбит-берилл-сподуменовый – блоковые и гнездовые вкрапленные силикатные	Сподумен, танталит-колумбит, берилл, танталитовый касситерит	Li: 0,7->1,5	Nb, ±Sn	Завитинское, Колмозерское, Тастыгское; Кингс-Маунтин (США), месторождения Восточного Афганистана
Литиевый во флюорит-полилитиевый метасоматитах	Флюорит-полилитиевый-среднезернистый	Полилитиевый, тайниолит, литиевый фенгит	Li: 0,25-0,5; 100п	Rb Cs, флюорит	Шаванский (Узбекистан)
Бериллий-литиевый грейзеновый	а) изумруд-берилловый слюдистый гнездово-вкрапленный	Берилл, Вемаргарит, фенакит, хризоберилл, бертрандит, бавенит, Li-флогопит	Li: 0,15-0,5 10п	Изумруд, александрит, Rb, Cs	Малышевское, Сретенское, Первомайское; Ажмид (Индия), Забара (АРЕ)



1	2	3	4	5	6
Литий-цезиевый в околопегматитовых метасоматитах	Гольмквистит-литиево-цезиево-слюдистый, зернистый	Цезиевый биотит, цезиевый протолитионит, литиевый фенгит	Li: 0,1-0,2; n-Юп	Rb	Гольцовое
Стронциевый хемогенно-осадочный	Целестиновый массивный зернистый	Целестин		В	Вихтовское; Цейт (Великобритания)
Стронциевый стратиформный эпигенетический	Целестиновый массивный зернистый, прожилково-вкрапленный	Целестин		Гипс, халцедон	Монтевиве (Испания), Сивас (Турция), Бени-Мансур (Алжир), Тор-реон Сан-Агустин (Мексика)
Литий-содержащие озерные рассолы	а) карбонатный	CO ₃ -Cl-Na	Li ^{**} : 100-500 г/м ³	W	Серлс (США)
	б) сульфатный	SO ₄ -Cl-Mg-Na	Общая минерализация (Li, Br, J, сульфаты Na и Mg): 100 кг/м ³	Li	Сильвер-Пик (США)
	в) хлоридный	Cl-K-Na	Общая минерализация (Li, Br, J, NaCl и MgCl): > 300 кг/м ³		Атакама (Чили)
Литий-содержащие минерализованные воды, глубокозалегающие	Хлоридный	Cl-Ca-Na Cl-Na-Ca Cl-Mg-Ca Cl-Ca	Общая минерализация: 70-540 кг/м ³ ; Li ^{**} – 24-385 г/м ³ ; Sr ^{**} – 260-5780 г/м ³	Li, Sr, В, Br, J, Cs, Rb	Иркутский амфитеатр (Знаменская площадь и др.), Ангаро-Ленский бассейн, Восточный Предкавказский артезианский бассейн

Таблица 7

Динамика цен на литиевую продукцию в 2002-2012 гг.

Год	4,2% Li ₂ O, петалит, \$/т	>7,25% Li ₂ O, сподумен, \$/м.т	5% Li ₂ O, сподумен, стек. сорта * \$/т	Карбонат лития	
				\$/а.ф.	\$/кг
2002	165-260	385-390	-	-	-
2003	165-260	330-350	195-200	0,9-1,20	1,98-2,65
2004	165-260	330-350	195-200	0,95-1,40	2,09-3,09
2005	165-260	330-350	195-200	0,95-2,5	2,09-5,51
2006	165-260	460-490	270-310	1,8-3,0	3,97-6,61
2007	165-260	460-490	270-310	2,7-3,0	5,95-6,61
2008	165-260	620-680	340-390	2,7-3,0	5,95-6,61
2009	165-260	650-700	400-450	2,8-3,0	6,17-6,61
2010	165-260	650-700	430-480	2,3-2,4	5,07-5,29
2011	165-260	720-770	460-510	2,3-2,4	5,07-5,29
2012	165-260	720-770	460-510	-	-
2013	212,5	821,22	-	-	6,89
2014	214,72	810,51	-	-	6,56

Применение лития

Продукт 1	Традиционное 2	Нетрадиционное 3
Карбонат лития	В качестве флюса при нанесении фарфоровой эмали, в производстве специальных закаленных стекол и алюминия	Литий-ионные аккумуляторные батареи. В медицинской практике
Оксид лития	Добавляют в глазури и эмали для повышения химической и термической стойкости и прочности, снижения вязкости расплавов	Компонент для рентгенопрозрачных стекол и стекол с небольшим температурным коэффициентом линейного расширения
Пероксид лития		В космических аппаратах для получения кислорода
Гидроксид лития	В производстве смазок на основе стеарата лития и для поглощения диоксида углерода в закрытых помещениях, например, космических кораблях и на подводных лодках	Добавка к электролиту щелочных аккумуляторов, примерно на одну пятую увеличивает их емкость и в 2-3 раза срок службы
Нитрат лития		В виде низкотемпературных расплавов в лабораторных термостабах, пиротехнических смесях
Фторид лития	В качестве компонента электролитов при получении алюминия и фтора, входит в состав эмалей, глазурей, керамики	В рентгеновской и γ -дозиметрии, в производстве оптических приборов. Входит в состав люминофоров и лазерных материалов. Моноизотопное соединение лития (${}^7\text{LiF}$) для растворения соединений урана и тория непосредственно в реакторах
Хлорид лития	Для осушения воздуха, в т. ч. кондиционерах. Сырье для получения металлического лития, в качестве флюса при пайке алюминиевых частей автомобиля, в производстве флотационных жидкостей как катализатор органического синтеза. Средство против обледенения самолетов	Твердый электролит в химических источниках тока для имплантированных кардиостимуляторов
Гидрид лития	Для получения водорода, которым наполняют метеорологические шары-зонды в полевых условиях	
Дейтерид лития ${}^6\text{Li}$		В ядерной энергетике. Изотоп ${}^6\text{Li}$ – единственный промышленный источник для производства трития
Стеарат лития	Загуститель и желирующий агент при превращении масел в консистентные смазки	
Металлоорганические соединения лития	Катализатор полимеризации, алкилирующий агент	
Сплав сульфидов лития и меди		Эффективный полупроводник для термоэлектродпреобразователей
Кобальтат и молибдат лития		Положительные электроды литиевых аккумуляторов
Перхлорат лития	В качестве окислителя	
Лития сульфат		В дефектоскопии
Триборат лития-цезия		Оптический материал в радиоэлектронике

1	2	3
Кристаллические ниобат и танталат лития		Нелинейный оптический материал
Оксибутират, сульфат, ацетат, йодид, бромид, хлорид лития		Для лечения нервно-психических расстройств, регуляции обменных процессов в составе фармакологических препаратов
Концентраты	Керамическая и стекольная промышленности, сырье для получения карбоната лития и других соединений	
Сплавы лития с другими металлами		



Рис. 2. Мировой рынок лития.

Оценка прогнозных ресурсов подземных промышленных литиевых вод Узбекистана

Подземные промышленные литиевые воды характеризуются большим разнообразием общей минерализации, химического состава, содержания полезных компонентов и их количественного соотношения, а также газового состава и температуры. Рентабельность промышленного получения лития из гидроминерального сырья определяется не только его концентрацией, но и глубиной залегания ПВ и соответственно эксплуатационных скважин, фильтрационными свойствами водовмещающих отложений, дебитами эксплуатационных скважин, величиной эксплуатационных запасов и т. д. На экономические показатели эксплуатации существенно влияет способ утилизации отработанных вод, что определяет затраты на охрану окружающей среды. Произведена оценка прогнозных эксплуатационных запасов литийсодержащих ПВ по пяти артезианским бассейнам, в т. ч. БКАБ, по 23-м месторождениям (Шорбулак, Сюзьма, Узуншор, Хаджи, Шуртан, Шады, Хаузак, Денгизкуль, Уртабулак, Северный Уртабулак, Зеварды, Гумбулак, Чанлыр, Тегермен, Умид, Кувачи, Северный Денгизкуль, Северный Зекры, Западный Хаджи, Балянкудук, Южный Зекры, Ходжиказган) (рис. 3, 4). Общие прогнозные эксплуатационные запасы по литию на этих месторождениях составляют 2042 т/год при понижении на 400 м уровня ПВ глубинными центробежными насосами. Предварительные данные позволяют считать, что подземные литийсодержащие воды БКАБ могут быть надежным сырьевым ресурсом для организации добычи лития (табл. 9) (Бакиев, 2012).

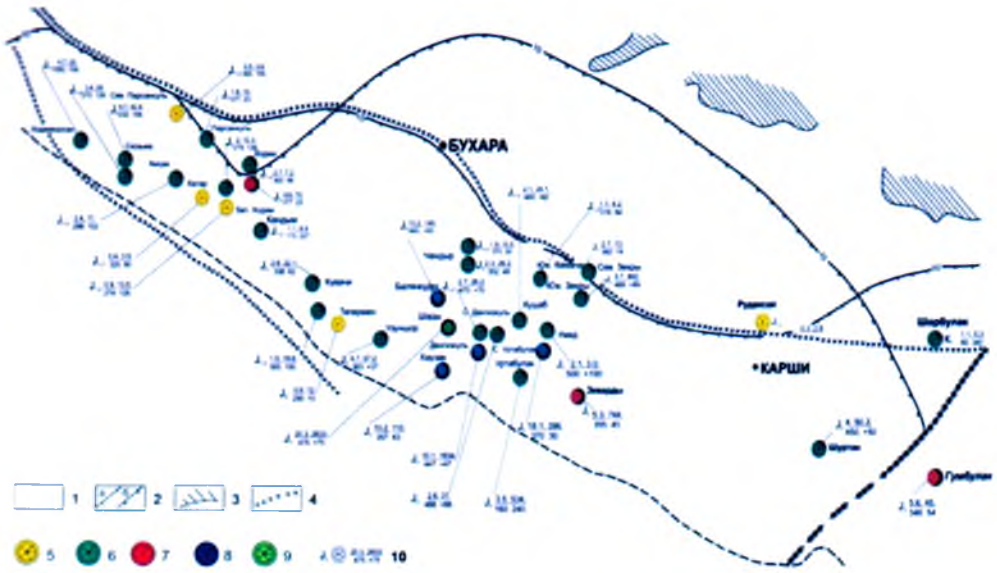


Рис. 3. Схема картирования прогнозных ресурсов промышленных литиевых вод юрских отложений Бухаро-Каршинского артезианского бассейна. 1 – районы распространения промышленных литиевых вод. Концентрации лития, мг/л: а – для верхнеюрского, б – нижнеюрского водоносных комплексов: 2 – литий ≥ 10 ; 3 – выходы фундамента на поверхность; 4 – разломы. Запасы подземных вод, тыс. м³/сут: 5 – < 1 ; 6 – от 1 до 5; 7 – от 5 до 10; 8 – от 10 до 20; 9 – от 20 и более; 10 – эксплуатационный участок с прогнозными запасами воды и редких элементов. Слева от знака возраст водоносного комплекса, справа – в числителе размеры прогнозных эксплуатационных запасов ПВ, тыс. м³/сут; запасы лития, т/год; знаменателе предельное понижение уровня в процессе эксплуатации и понижение уровня относительно поверхности земли.

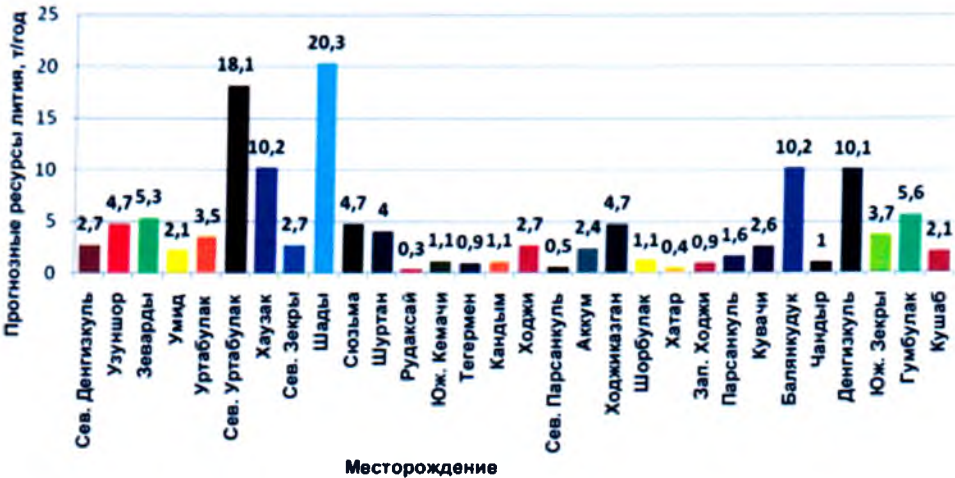


Рис. 4. Гистограмма месторождений промышленных литиевых вод Узбекистана.

Прогнозные ресурсы подземных промышленных литиевых вод Узбекистана

Регион	Прогнозные ресурсы воды, тыс. м ³ /сут	Прогнозные ресурсы лития, тыс. т/год / средние концентрации лития, мг/л
Устюрт	949,52	1,11/ 1,96
Бухаро-Каршинский артезианский бассейн (верхнеюрский и коньяк-аптский водоносные комплексы)	280,98	2,81/ 26,2
Сурхандарьинский артезианский бассейн (альб-сенноман-туронский, сенон-палеоценовый и алайский водоносные комплексы)	70,16	0,10/ 12,25
Ферганский артезианский бассейн (массагетский водоносный комплекс)	11,19	0,002/ 15,56
Южно-Приаральский артезианский бассейн (водоносные горизонты мела)	25,6	-
Итого	1337,45	4,022

Утвержденные запасы подземных промышленных вод Республики Узбекистан

В 1986 г. произведена комплексная оценка подземных вод месторождения Джарчи и перспектив их использования в народном хозяйстве. Месторождение находится на территории БКАБ, в административном отношении – в Бахаристанском районе Кашкадарьинской области. На промышленные воды опробованы XV-Р и XV-НР горизонты. Из 29-ти опробованных интервалов на глубине 2550-2850 м из 16-ти получен самоизлив воды с расходом 1,4-29 м³/сут, из 10 – 0,3-16 м³/сут при динамических уровнях 40-242 м от поверхности земли, из 3-х интервалов притоков не получено (табл. 10).

Промышленные воды представлены рассолами с минерализацией 86,4-183,4 г/л хлоридного натриевого состава с высокими концентрациями йода, брома, лития, цезия, стронция и бора. Подсчет эксплуатационных запасов выполнен гидродинамическим методом, основанном на прогнозе изменения дебита и уровня с учетом параметров водоносных пород на период 10000 сут (27,4 лет). Расчет производился для схемы неограниченного пласта-круга. Использованы расчетные гидрогеологические параметры, полученные при пробных выпусках пластовых вод из горизонта XV-Р на соседнем месторождении Умид. Предельная глубина понижения уровня принята равной 400 м с учетом использования электропогружного насоса, обеспечивающего дебит воды 250 м³/сут.

Протоколом ГКЗ 39921 от 14.02.1986 г. утверждены эксплуатационные запасы промышленных вод юрского водоносного комплекса (горизонты XV-Р и XV-НР) месторождения Джарчи по состоянию изученности на 01.01.1986 г. на 27-летний срок эксплуатации по категории С₂ (табл. 11). Произведена приблизительная технико-экономическая оценка переработки промышленных вод. В основу расчетов положена технологическая схема переработки воды на примере площади Умид, основанная на электрохимическом методе и разработанная институтом ГИДРОИНГЕО на лабо-

Таблица 10

Содержание микрокомпонентов в подземных водах месторождения Джарчи
(по данным С.А.Бакиева, 1985)

Но- мер скв.	Интервал опро- бования, м	Дата отбора	рН	Минера- лизация, г/л	Содержание, мг/л						
		Дата анализа			Li	Rb	Cs	Sr	I	Br	B ₂ O ₃
2	2750-2770	31.10.80	5,8	94	25	2,1	0,22	442,5	28,64	348,9	180,8
		02.03.81									
2		18.11.80	5,8	97,1	36,8	2,2	0,21	571	37,85	464,2	292
		02.03.81									
2		25.11.80	5,2	94,2	38	1,56	0,625	437	40,41	451,9	264,2
		02.03.81									
6	2645-2649	15.07.83	6,2	94,3	23,5	1,8	Сл.	250	31,6	439,2	147,8

Таблица 11

Эксплуатационные запасы промышленных вод месторождения Джарчи

Горизонт	Промыш- ленные воды, м ³ /сут	Содержание компонента, мг/л						
		I	Br	Li	Rb	Cs	Sr	B ₂ O ₃
XV-Р	2193	26,6	325,4	24,7	1,71	0,172	405,7	193,2
XV-НР	1949	28,7	321,5	30,4	1,11	0,441	311	188
Всего	4142	55,3	646,9	55,1	2,83	0,613	716,7	377,2

даторном уровне (В.Б.Шереметьева и др., 1982-1986 гг.). Проведенные исследования показали рентабельность комплексного извлечения йода, брома, лития и других компонентов. Ожидаемая прибыль от переработки 1 м³ воды составляла 6,66 руб (в ценах 1985 г.).

В 1987 г. произведена комплексная оценка ПВ месторождения Крук и перспектив их использования в народном хозяйстве. Месторождение также находится в пределах БКАБ. В его пределах на промышленные воды опробованы воды ниже-средне- и верхнеюрских отложений (XV-ПР, XV-Р и XV-НР горизонты). Промышленные воды представлены рассолами с минерализацией 70,5-165,4 г/л хлоридного натриевого, кальциево-натриевого состава с высокими концентрациями микрокомпонентов (табл. 12).

Прогнозные эксплуатационные запасы промышленных вод рассчитаны по наиболее перспективному и водообильному верхнеюрскому рифовому горизонту по методу, аналогичному для структуры Джарчи, для XV-Р горизонта верхней юры месторождения Крук по состоянию на 01.04.1987 г. они составляют 9282,2 м³/сут, содержание компонентов, т/год: Rb – 6,8; Cs – 1,02; Sr – 765,7; Ge – 1,36; I – 94,5; Br – 1226; B₂O₃ – 786 (табл. 13).

Для оценки интенсивности водной миграции и концентрации элементов используется коэффициент водной миграции K_x , равный отношению содержания химического элемента в минеральном остатке воды к его содержанию в водовмещающих породах или кларку земной коры (А.И.Перельман, 1989):

$$K_x = \frac{m_x \cdot 100}{a \cdot n_x}$$

Таблица 12

Содержание микрокомпонентов в подземных водах месторождения Крук

Но- мер скв	Интервал опробования, м		Содержание элементов, мг/л							
			Li	Rb	Cs	Sr	Ge	I	Br	B ₂ O ₃
1	J ₁₋₂	3363-3357	15	7,4	Сл	4,5		16,8	773,6	31,29
1	J ₁₋₂	3310-3300	4,46	3,75	Нет	5,8		10,5	779,6	38,24
1	J ₁₋₂	2904-2910	16	3		3,25		15,7	707,3	86,91
1	J ₂ XV-P	2430-2426	0,3	1,5		175		29,4	260,9	165,1
1	J ₂ XV-P	2406-2402	21	1,6		193	0,04			
3	J ₂ XV-P	2431-2427	21,6	1,6		278	Нет			114,7
3	J ₂ XV-P	2418-2413	11,5	0,83		150	0,013			
4	J ₂ XV-P	2440-2446	31,05	2,13		0,4	250	0,35	26,2	265,6
5	J ₂ XV-P	2440-2444	22,5	1,71	0,3	186	0,02	26	293	215
5	J ₂ XV-P	2424-2420	33	2,4	0,3	285	0,01	25	325,3	215
6	J ₂ XV-P	2430-2434	25	1,9	0,4	200	Нет	17,8	236,2	180,6
8	J ₂ XV-P	2440-2444	25	2	0,5	250	0,01	26	325,3	223,6
9	J ₂ XV-P	2462-2456	27,6	1,75	0,2	250	Сл	26,1	353,8	223,6
9	J ₂ XV-P	2434-2437	27,5	1,92	0,3	262	Нет	13	163	79,12

Таблица 13

Основные расчетные параметры при подсчете прогнозных эксплуатационных запасов промышленных вод и редких элементов XV-P рифового горизонта верхней юры месторождения Крук

Предел глубины опробо- вания, м	Содержание, мг/л								Эфф. мощ- ность, м	Стат. ур., м Пони- жение, м	K _ф , м/сут	a, м ² /сут	Площадь место- рождения, км ²
	Li	Rb	Cs	Sr	Ge	I	Br	B ₂ O ₃					
2376,8-2548	30	2	0,3	226	0,4	27	362	232	110	128 400	0,173	2,42·10 ⁶	6,5

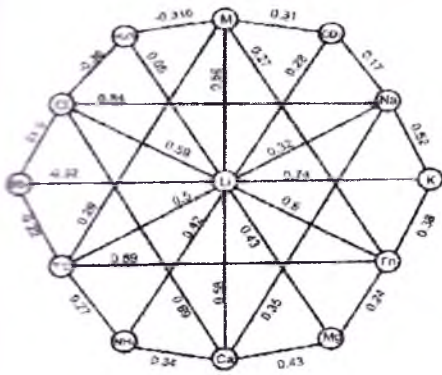
Для вод зоны активной циркуляции K_x характеризует интенсивность миграции, для застойных вод интенсивность накопления, так как представляет кларк концентрации элементов (КК) в минеральном остатке воды. Поэтому K_x можно использовать для определения степени концентрации элементов в морских и ПВ глубоких горизонтов (табл. 14).

Таблица 14

Интенсивность миграции микрокомпонентов в ПВ

1. В результате статистического анализа выявлена парная и множественная корреляционная связь лития с микро-, макрокомпонентным составом, рН, температурой ПВ и глубиной. Рассчитаны коэффициенты водной миграции лития для верхнеюрского водоносного комплекса Бухарской и Чарджоуской ступеней (рис. 5). Минимальные значения коэффициентов водной миграции

Интенсивность концентрирования и рассеяния	K _x	Состав ряда
Концентрация:		
очень сильная	700-1000000	Cl, Br
сильная	20-70	S
средняя	1-20	Na, Mg, I, B
Рассеяние:		
слабое	0,05-1	Co, K, Sr, Li, Ag, Mo
сильное	0,001-0,05	As, Se, Ni, Zn, Cd, Sn, Ge, Sb, V, F, P, W



(Kx Li) отмечены в Бухарской ступени – от 3,2 до 11, максимальные в Чарджоуской ступени – от 1,1 до 25,9. Коэффициент водной миграции показывает, что накопление лития в верхнеюрском водоносном комплексе идет интенсивнее.

2. На основании экспериментальных исследований установлено влияние техногенных факторов на содержание лития.

3. Для верхнеюрского комплекса установлены критерии связи лития с хлором (29,9%), минерализацией (25,5%), калием (16,4%), магнием (14,9%) (рис. 6).

Рис. 5. Корреляционная связь лития с химическим составом, pH, глубиной и температурой подземных вод БКАБ. Уравнение множественной регрессии для верхнеюрского водоносного комплекса:

$$Y(Li) = 25,243\,518 - 0,000\,939 \times M + 0,000\,588 \times Ca - 0,031\,373 \times Mg - 0,026423 \times Na + 0,026\,423 \times K + 0,001\,82 \times Cl - 0,003\,355 \times SO_4 + 0,005\,179 \times HSO_3 + 0,074\,913 \times NH_4 + 0,005\,751 \times CO_2 - 4,52081 \times pH + 0,019\,217 \times T_{глуб} - 0,34282 \times T^{\circ}C.$$

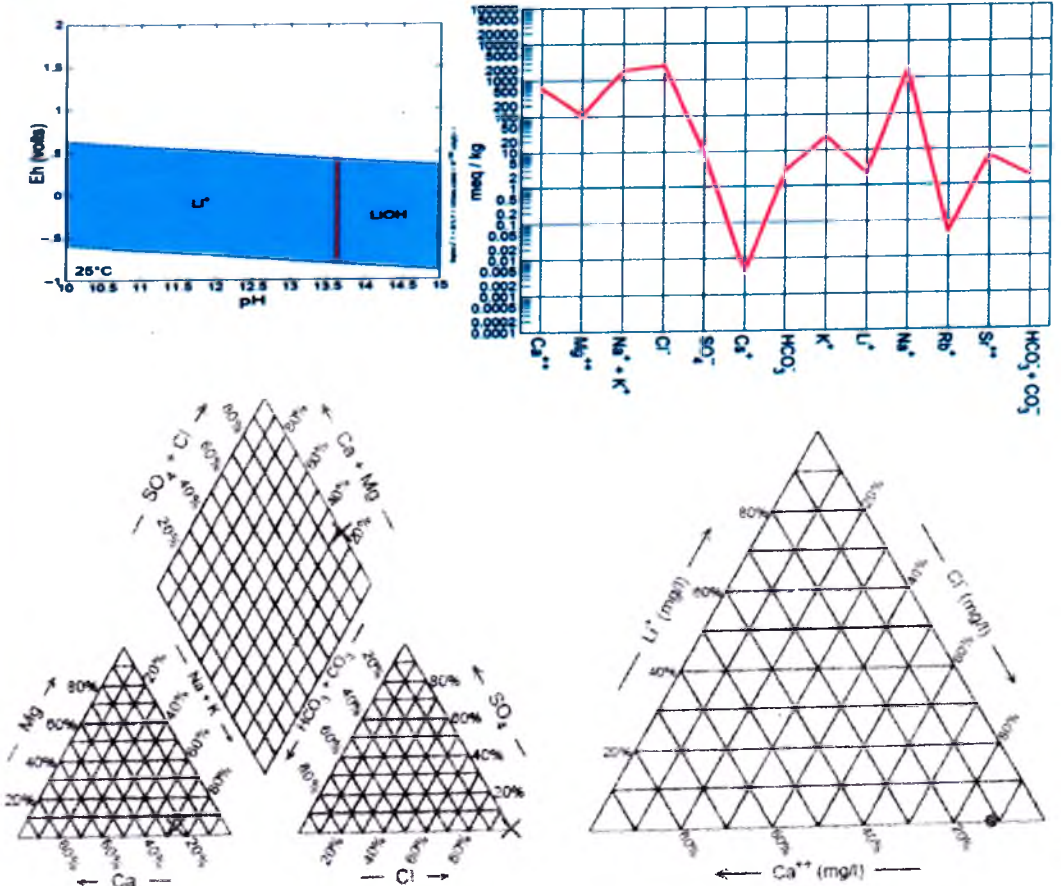


Рис. 6. Парная и множественная корреляционная связь лития с микро-, макрокомпонентным составом, pH, Eh и др.

Глава III. ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ, ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ, СОДЕРЖАНИЕ ЛИТИЯ В ПОДЗЕМНЫХ ВОДАХ

Бухаро-Каршинский артезианский бассейн

БКАБ на севере граничит с Сырдарьинским и Центрально-Кызылкумским, на северо-востоке и востоке – Зарафшанским артезианскими бассейнами и Гиссаро-Зарафшанской группой бассейнов трещинных вод, на западе и юго-западе бассейн продолжает свое распространение на территории Туркменистана.

Геологическое строение

Изучением стратиграфии покровных отложений БКАБ занимались П.П.Чуенко (1931), С.Н.Симаков (1952), Т.А.Сикстель (1955, 1960, 1964), Ю.М.Кузичкина (1958), К.А.Сотириади (1961, 1964).

Отложения четвертичного, неогенового, палеогенового, мелового, юрского и триасового возраста подстилаются в разной степени метаморфизованными изверженными породами палеозоя (рис. 7). Палеозойскими отложениями сложены горные сооружения, обрамляющие территорию. Их толща представлена метаморфизованными осалочными породами, интенсивно дислоцированными, частично прорванными интрузиями кислого, основного и ультраосновного состава. Кроме того, палеозойские отложения вскрыты разведочными скважинами в сводах антиклинальных структур и состоят из магматических и метаморфических пород: гранитов, порфиров, гранитоидов, кристаллических сланцев и др.

Пермско-триасовые отложения установлены бурением в разрезе Питнякского поднятия и характеризуются толщей углистых песчано-глинистых пород континентального происхождения мощностью около 200 м, а также, предположительно, на Чарджууском поднятии (Фараб), где они представлены мощной толщей красцветных конгломератов, песчаников, аргиллитов с максимально вскрытой мощностью 245 м. Условно пермско-триасовые отложения выделяются в Бешкентском прогибе (по материалам сейсморазведки).

Юрские отложения с резким угловым несогласием залегают на подстилающих породах и включают три толщи: *терригенную* (J_1-J_2); *карбонатную* (J_3k1-J_3ox); *галогенную* (J_3km-J_3t).

Нижнеюрские отложения на изучаемой территории развиты слабо (максимальная мощность вскрыта в Кимиреке, скв. 4 – 265 м), совершенно отсутствуют на Бухарской ступени, незначительной мощности обнаружены в ряде скважин Карабаира, Ак-Тепе и Азляртепе. Они сложены аргиллитами и глинами, иногда с прослойками песчаника и алевролита. Среднеюрские отложения более развиты, их общая мощность колеб-

лется от 0 до 510 м, состоят из переслаивающихся песчаников, алевролитов, глин, реже, гравелитов темно-, зеленовато-серых, реже, пестроцветных тонов.

Краткая характеристика геологического строения месторождения Кандым

В геологическом строении месторождения Кандым участвуют палеозойские, мезозойские и кайнозойские образования.

Палеозойские отложения (Pz) представлены серыми, темно-серыми мелкозернистыми полимиктовыми песчаниками с базальным кальцитовым и пленочным гидрослюдистым цементом, аргиллитами и сланцами, плотными, крепкими. Максимальная вскрытая мощность – 82 м.

Мезозойские отложения (Mz). Юрская система (J). Юрские отложения залегают на породах палеозойского возраста и в пределах месторождения Кандым вскрыты всеми разведочными скважинами. По условиям образования и литологическому составу они подразделяются на терригенную, карбонатную и соляно-ангидритовую толщи. *Терригенная* относится к нерасчлененному нижнему и среднему, а *карбонатная* и *соляно-ангидритовая* – верхнему ее отделам.

Нижне- и среднеюрские отложения (J₁₊₂) со стратиграфическим и угловым несогласием залегают на отложениях палеозоя и состоят из чередующихся песчаников, алевролитов и глин: В разрезе выделяются XIX, XVIII, XVII пронцаемые горизонты: XIX горизонт характеризуется переслаиванием темно- и зелено-серых, иногда, глинистых песчаников и плотных, крепких зелено-серых, серых до черных алевролитов и глин мощностью 80-90 м. XVIII горизонт сложен переслаивающимися серыми, зелено-серыми среднезернистыми, плотными песчаниками, плотными алевролитами и аргиллитами, темно-серыми известняками мощностью 100-120 м. XVII горизонт характеризуется переслаиванием темно- и зелено-серых плотных песчаников и аргиллитов темно-серого цвета мощностью 60-70 м. Общая мощность J₁₊₂ колеблется от 61 (в своде) до 274 м (на восточном погружении).

Верхнеюрские отложения (J₃). Келловой-оксфордский ярус (J₃к-о). Отложения верхнего отдела распространены более широко и представлены морскими, лагунными и континентальными образованиями. В разрезе выделяются XVI, XV-а, XV-3,

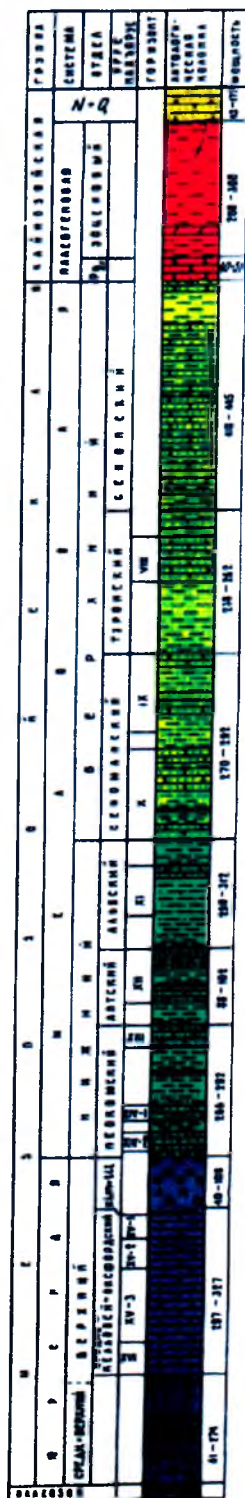


Рис. 7. Сводный литолого-стратиграфический разрез месторождения Кандым.

XV-2, XV-1 горизонты. XVI горизонт характеризуется плотными темно-серыми глинистыми известняками, среди которых встречаются проницаемые разности. Мощность горизонта изменяется от 44 до 64 м.

Меловые отложения подразделяются на нижний и верхний отделы. Нижнемеловые представлены неоком-аптскими образованиями, состоящими из песчано-глинистых пород преимущественно прибрежно-морского происхождения, нижняя часть сложена континентальными красноцветными породами.

Альбские отложения начинаются 5-30-метровой толщей гравийных песчаников, иногда, гравелитов, алевролитов и ракушников с маломощными прослоями глин; выше залегает повсеместно распространенная пачка алевролитовых глин темно- и зеленовато-серой окраски (80-100 м); над ней – глинисто-карбонатная толща с прослойками алевролитов, ракушников, реже, песчаников.

Верхнемеловые отложения начинаются сеноманом, отложения которого подобны верхней пачке альба со всеми закономерностями фациального замещения.

Отложения нижнего турона представлены глинами и алевролитами серого, зеленовато-серого, иногда, темно-серого цвета с подчиненными прослоями алевролитов, песчаников и ракушников, *верхний турон* – песчано-глинистой пачкой.

Сенонские отложения сложены часто переслаивающимися пластами песчаников, алевролитов, глин, реже, мергелей, известняков серого цвета. Максимальная мощность верхнемеловых отложений наблюдается в юго-западных отрогах Гиссарского хребта, в пределах Газлинского и Каганского поднятий их мощность 800 м.

Палеогеновые отложения подразделяются на палеоценовые, эоценовые и олигоценые. Палеоцен (бухарские слои) характеризуется доломитами, известняками с прослоями гипса и песчаника мощностью от 13 до 70 м. Отложения эоцена и олигоцена представлены глинами с прослоями карбонатных пород и песчаников, их мощность не превышает первых сотен метров.

Неогеновые отложения сложены континентальной красноцветной толщей терригенных пород, в основном грубообломочных мощностью от 3500 до 200 м.

Гидрогеологические условия

В гидрогеологическом отношении изучаемая территория расположена в восточной части сложного Амударьинского артезианского бассейна и выделена как артезианский бассейн второго порядка, называемый Бухаро-Каршинским (Б.В. Митгарц, Н.И. Толстихин, 1961 г.). Горные районы, окаймляющие бассейн полукругом с востока и севера, являются областями, в которых формируются поверхностный и подземный сток.

Тектоническое строение артезианского бассейна благоприятно для образования в отложениях мезо-кайнозойского возраста напорных межпластовых водоносных горизонтов. Этому способствует и состав толщи, характеризующийся переслаиванием пород различной водопроницаемости: песков, песчаников, редко, мергелей, ангидридов и известняков с глинами.

В пределах БКАБ выделяются водоносные комплексы и водоупорные толщи. Водоносные комплексы литологически неоднородные. В их разрезе обычно наблю-

дается чередование песчано-алевритовых, глинисто-аргиллитовых и карбонатных пород. Следует отметить, что преобладает чередование песчано-алевритовых пород. В связи с этим существуют некоторые разногласия у исследователей в выделении водоносных комплексов. Авторы придерживаются расчленения Л.Е. Михайлова, который выделяет водоносные комплексы:

- в юрских карбонатных и терригенных отложениях;
- в неоком-аптских и нижнеальбских терригенных отложениях;
- в средне-верхнеальбских и сеноманских терригенных и карбонатных породах;
- в неогеновых и четвертичных отложениях.

Водоносные комплексы разделены друг от друга относительно водоупорными толщами верхнеюрской гипсово-ангидритовой свиты мощностью 25-100 м и более, нижнеальбской глинистой свиты мощностью до 100 м, нижнетуронской, преимущественно, глинистой пачкой мощностью от 60 до 150 м и палеогеновой, преимущественно, глинистой толщей мощностью до 240 м. В I, II, III, IV водоносных комплексах заключены порово-трещинно-пластовые подземные воды, преимущественно, в терригенных породах различной цементации, и только в южной части бассейна, в IV комплексе, кроме названных, появляются карстово-пластовые воды в палеоценовых известняках. Между средними высотами горных сооружений, где находится область питания, и мезозойскими водоносными горизонтами существует перепад отметок, равный 2000-3000 м, что создает высокие гидростатические напоры. В направлении с юго-востока на запад и северо-запад наблюдается снижение напоров, что свидетельствует о движении в этом направлении.

Юрский водоносный комплекс залегает на большой глубине – от 800 (Шурчи) до 1994 м (Уртабулак). Вскрытая мощность юрских отложений в районе Уртабулака – 1414 м. Отложения юрского возраста с резким угловым несогласием залегают на палеозойском фундаменте и имеют широкое распространение в пределах бассейна. От вышележащих комплексов отделены практически водонепроницаемой соляно-гипсово-ангидритовой толщей, а на участках, где последняя отсутствует, нижне-неокомскими глинами. В юрском водоносном комплексе выделяются водоносные горизонты: XVIII – J_{1,2}; XVII – J_{1,2}; XVI – J₃; XVa – J₃; XV – J₃.

XVIII и XVII горизонты развиты в нижнее-среднеюрских отложениях, в которых по литолого-фациальным признакам выделяются две пачки; нижняя сложена гравелистами и микроконгломератами (Мубарекское поднятие), песчаниками с прослоями аргиллитов (Зекры, Уч-Кыр) и аргиллитами (Алат). Верхняя пачка состоит из глинистых аргиллитов и алевритов и лишь на некоторых структурах Каганского поднятия – песчаников, развитых локально. Суммарная мощность XVIII и XVII водоносных горизонтов на площади Ходжи – 130 м. XVI и XV горизонты выделяются в разрезе верхнеюрских отложений. Водовмещающие породы представлены глинистыми массивными известняками, которые в северной части переходят в известковистые песчаники. Мощность водовмещающих пород горизонтов изменяется от 50 (Аузбай) до 217 м (Аккум). Следует отметить, что водоносные горизонты юрских отложений отличаются невыдержанностью по простиранию и фациальной изменчивостью, что обуславливает гидравлическую связь между ними, поэтому всеми исследователями они объединяются в единый водоносный комплекс (рис. 8). Подземные воды обла-

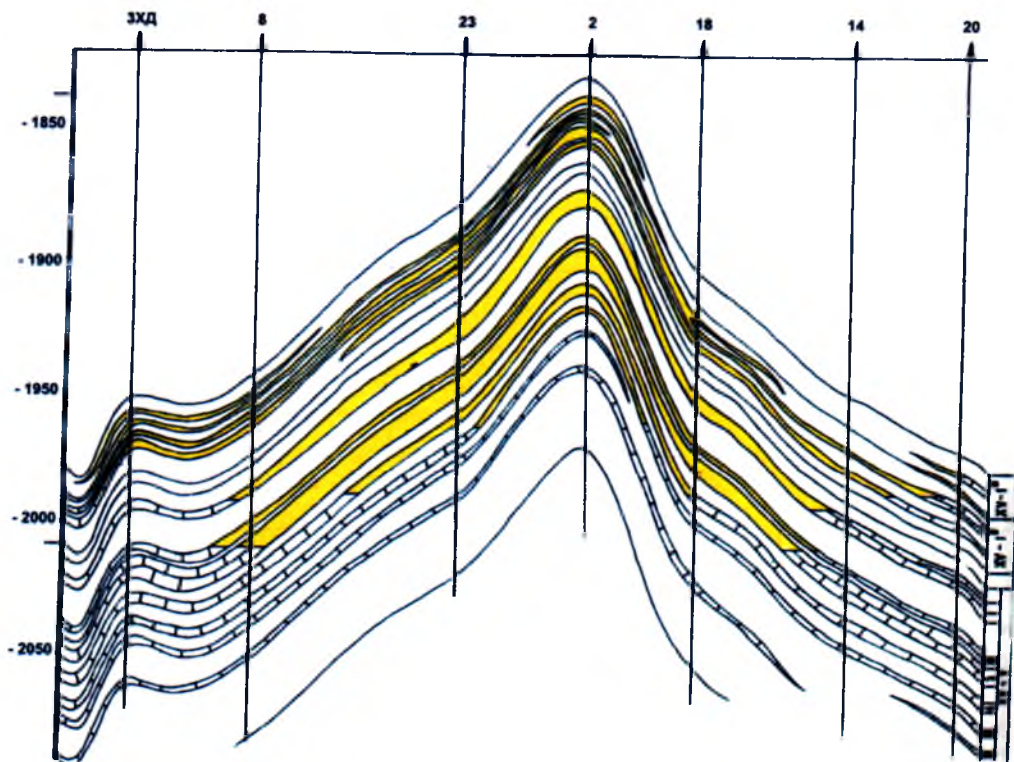


Рис. 8. Геологический профиль месторождения Кандым (по линии скважин 8-2-20).

дают большими напорами (800-2000 м). Пьезометрический уровень устанавливается на глубине 50-150 м ниже поверхности земли, а иногда выше на 10-15 м (Кара-Чукур, Мамаджургаты).

Водообильность юрских отложений резко уменьшается в западном направлении за счет ухудшения коллекторских свойств. Подземные воды юрских отложений отличаются высокой минерализацией, изменяющейся в широких пределах от 12-18 (Шурасан, Майдаджой) до 440 г/л (Нишан). Минерализация ПВ возрастает по мере погружения пластов, а также с удалением от горного обрамления артезианского бассейна. В этом же направлении происходит увеличение температуры воды до 122°C (Камачи – Зекры). В водах трещиноватых и кавернозных верхнеюрских известняков происходят на небольших расстояниях довольно резкие изменения величины минерализации по площади. По мнению Л.Е.Михайлова, это, вероятно, объясняется сильной изменчивостью фильтрационных свойств, различной засоленностью пород и замедленностью, а иногда и отсутствием водообмена. В солевом составе ПВ юрских отложений в северо-восточной и центральной частях бассейна резко преобладают хлориды натрия, значительных концентраций достигают иногда хлориды кальция. Характерны очень низкая концентрация сульфатного иона и часто полное отсутствие гидрокарбонатного.

Неоком-аптский водоносный комплекс (включая нижнеальбские отложения) в пределах территории распространен повсеместно. Он залегает между верхнеюрскими ангидритами и толщей нижнеальбских глин с прослоями алевролитов и песчаников, причем последние часто выклиниваются. Мощность почти постоянная (около 100 м), уменьшается на север до 50-75 м. Погружение кровли водоносного комплекса изменяется от 180 до 420 м с последовательным уменьшением в северо-восточном направлении за счет выпадения из разреза более древних горизонтов.

В отложениях неокома, апта и альба регионально прослеживаются три водоносных горизонта: XIV; XIII; XII. Водовмещающие породы XIV и XIII горизонтов литологически сложены мелкозернистыми песчаниками и алевролитами с прослоями глин и песков. В северной части отмечаются плохая окатанность и отсортированность зерен, а также линзовидное залегание отдельных слоев. Мощность водоносных горизонтов увеличивается в юго-восточном направлении от 30-50 до 200-300 м. XII водоносный горизонт имеет двучленное строение. Верхняя часть представлена базальным слоем серых разномерных песчаников с мелкогалечным конгломератом, нижняя характеризуется серыми мелкозернистыми песчаниками с прослоями глин. Мощность песчаников увеличивается в северном направлении от 30-35 до 50-80 м.

Подземные воды обладают значительными напорами, статический уровень устанавливается на 17 м (Майдаджой), 69 м (Южный Мубарек) выше поверхности земли. На остальной территории глубина залегания пьезометрического уровня – 20-100 м. Минерализация ПВ увеличивается в западном и юго-западном направлениях от 1,4 до 224-228 г/л. По составу воды преимущественно хлоридно-натриевые и хлоридно-натриево-кальциевые. На северо-востоке и востоке в водах увеличивается содержание сульфатов. Температура воды возрастает по мере погружения пластов до 94,5°С в средней части водоносного комплекса. Водовмещающие породы XI горизонта состоят из двух пачек разномерных песчаников, разделенных глинистыми образованиями.

Подземные воды альб-сеноманского горизонта обладают большими напорами, пьезометрический уровень устанавливается на 10-15 м выше поверхности земли. На остальной территории его глубина – 10-70 м ниже поверхности земли. Водообильность пород возрастает в северо-восточном направлении по мере приближения к верхнемеловым областям сноса, и расходы скважин при самоизливе достигают 8,5 л/с (Кара-Баир). Коэффициенты фильтрации, рассчитанные по данным опытных откачек из самоизливающих скважин, изменяются в значительных пределах – от 0,13 (Кызыл-Рават) до 12 м /сут (Кара-Баир). Рост минерализации наблюдается в южном направлении от 1,4 (Майдаджой) до 58 г/л (Култук). В этом же направлении сульфатно-натриевый тип минерализации сменяется хлоридно-натриевым. Температура ПВ возрастает по падению пластов от 400 (Ходжикудук) до 870°С (Айзават).

Палеоцен-верхнетуронский водоносный комплекс распространен повсеместно, его отложения – регионально в пределах района. Они выходят на дневную поверхность вдоль склонов горных сооружений, в сводах и крыльевых частях брахиантиклинальных структур. Водовмещающие породы – песчаники и известняки, их мощность изменяется от 50-100 до 230 м. Кровлей водоносного комплекса является глинистая толща эоценового возраста мощностью до 170 м. Глубина залегания уровня колеблется в больших пределах – от 0 до 800 м. Подземные воды обладают большими на-

порами, и пьезометрические уровни устанавливаются на 10-15 м ниже поверхности земли, в непосредственной близости к областям питания, и на 20-30 м выше поверхности земли в юго-западной части территории. Удельные дебиты скважин изменяются от 0,1-0,3 до 1,3 л/с, в среднем 0,6-0,7 л/с. Коэффициенты фильтрации, рассчитанные по данным откачек из одиночных скважин, колеблются от 0,2-0,3 до 4-3 м/сут. Минерализация ПВ изменяется от 1,5 до 9,6 г/л, увеличиваясь по пути их движения в западном направлении. По химическому составу воды в основном сульфатно-натриевые с повышенным содержанием хлоридов.

Водоносный комплекс неоген-четвертичных отложений имеет свободную поверхность уровня и рассматривается как комплекс грунтовых вод. Отложения неогена представлены глинами, рыхлыми песчаниками, галечниками, конгломератами, часто сменяющими друг друга и залегающими нередко линзообразно. Четвертичные отложения сложены аллювиальными, пролювиальными, делювиальными, эоловыми и химическими образованиями и состоят из песков, суглинков, глин, галечников и др. Непостоянство литологического состава и линзообразное залегание пород определяют наличие серии водоносных слоев и линз, за исключением аллювиальных отложений, где прослеживается выдержанный водоносный горизонт.

Грунтовые воды залегают на глубине от 1 до 60 м в зависимости от рельефа местности, водоупорного ложа и мощности отложений. Формируясь в условиях резко континентального засушливого климата и широкого распространения ирригационных систем, эти воды имеют большое разнообразие солевого состава и минерализации. Пресные воды связаны с аллювиальными отложениями рек Зарафшана и Кашкадарьи,

пролювиальными и аллювиально-пролювиальными образованиями подгорных шлейфов, а также с массивами эоловых песков, где создаются благоприятные условия для инфильтрации атмосферных осадков и конденсации влаги. Вдали от гор и по окраинам конусов выноса воды сильносоленоватые и соленые. В бессточных впадинах ГВ залегают на глубине 2-50 м и имеют минерализацию до 170 г/л и больше (рис. 9). По составу ГВ степных и полупустынных районов обычно хлоридно-сульфатные, кальциево-натриевые.



Рис. 9. Озеро Денгизкуль, май 2012 г.

Содержание лития в подземных водах

В пределах БКАБ гидрохимическому опробованию подвергнуты подземные воды ниже-среднеюрского, верхнеюрского, ниже-верхнемелового и палеогенового водо-

носных комплексов (табл. 15). В гидрогеологическом разрезе артезианского бассейна редкие элементы в промышленных содержаниях концентрируются в водоносных комплексах юрских отложений повсеместно и частично в нижнемеловых структурах Аузбай и Шорбулак.

Нижне-среднеюрский водоносный комплекс опробован по разведочным скважинам нефтяников в пределах Чарджоуской ступени на восьми структурах. Нижнеюрские отложения в пределах БКАБ развиты в основном на Чарджоуской ступени и совершенно отсутствуют на Бухарской. Среднеюрские развиты несколько больше и вскрываются на некоторых структурах Бухарской ступени.

В целом, по имеющимся данным, подземные воды комплекса характеризуются средним значением содержания лития – 33 мг/л. Литий распространен регионально. На всех опробованных структурах и во всех пробах его содержания превышают кондиционные требования в два-три и даже восемь раз и изменяются от 14 до 86 мг/л. Наиболее высокие содержания лития в хлоридных натриево-кальциевых водах с минерализацией 100-150 г/л на структурах:

Аккум, скв. 13 (интервал 2202-2225 м) до 86 мг/л;

Кандым, скв. 2 (интервал 2355-2345 м) до 75 мг/л;

Хатар, скв. 1 (интервал 2541-2534 м) до 48 мг/л.

*Средние содержания лития (мг/л) в подземных водах
отдельных водоносных комплексов БКАБ*

Верхнеюрский водоносный комплекс опробован почти на всей площади Чарджоуской ступени разведочными скважинами нефтяников на 21-й структуре. Средние содержания лития в водах – 39 мг/л, как в нижне-среднеюрском комплексе. Высокие содержания лития в ПВ распространены регионально, наиболее высокие встречены в рассолах структур, мг/л: Кандым – 2-0175, Хаузак – 10-75, Денгизкуль – 26-93, Уртабулак – 73-107, Зеварды – 67-96. Средние содержания лития в водах этих структур в 5-9 раз превышают кондиционные требования (рис. 10, 11).

Весьма крепкие рассолы соленосной толщи верхней юры. В практике поисковых работ на нефть и газ в пределах БКАБ при бурении отдельные скважины вскрывают высокоминерализованные насыщенные рассолы, приуроченные к кимеридж-титонскому ярусу верхней юры. Минерализация рассолов достигает 400-480 г/л при хлоридно-натриево-кальциевом составе. Рассолы, как правило, самоизливаются, но по истечении одной-двух недель самоизлив прекращается вследствие осаждения солей в стволе скважины, возможно, и в самом пласте около нее. Рассолы характеризуются чрезвычайно высокими концентрациями лития. Так, скв. 19 на структуре Денгизкуль изливала рассол с минерализацией 394 г/л. В начале самоизлива отобрана проба, химический анализ которой показал содержание лития – 242 мг/л.

Нижнемеловой водоносный комплекс распространен повсеместно в пределах БКАБ. В отложениях нижнего мела регионально прослеживаются три водоносных горизонта: XIV, XIII, XII, которые охвачены гидрогеохимическим опробованием на различных структурах. Концентрации редких элементов в них отличаются постоянством

Таблица 15

Содержание лития в подземных водах ниже-, средне-, верхнеюрского, ниже-, верхнемелового и палеогенового водоносных комплексов Бухаро-Каршинского артезианского бассейна

Номер на карте/ номер пробы	Структура, водопункт	Номер скважины	Глубина интервала опробования, м	Номер горизонта	Стратиграфический возраст (индекс) опробованных пород	Температура воды, °С		рН	Минерализация, г/л	Li, мг/л
						платовая	на изливе			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1/315		1	2070-2050	II	J ₂					7,00
2/314	Хорезмская	1	1734-1790	X	J ₂					13,70
3/313		1	1990-1909	IX	J ₂					21,40
4/352		1	1759-1742		J ₃	80	18			18,40
5/150		Оз. Султансанджар				Q			7,3	384,160
6/152	Солончак Акяр				Q			7,3	374,840	2,31
7/24	Аузбай	1	1444-1417	XII	Cr ₁ ne-art			6,5	168,547	3380
8/269	Янгикудук				Pd			7,3	2,688	0,18
9			100-110		Cr ₂ ^{Sh}	42		> 8,2	1,72	0,14
10/158	Газли	198	850	IX	Cr ₂ ^{Сm}	22		7,7	8,1	0,78
11		225	1103-1107	XII	Cr ₁ ^{al}	53,8	24			0,26
12/46	Учкуйр	34	1715-1700	XIV-2	J ₃ карб.			7,0	116,9	34,80
13/43		4	1940-1906	XV-2	J ₃					4,66
14/70	Даяхатын	8	2014-2002	XV-2	J ₃	85,1				35,00
15/27		5	2021-2031	XV-3	J ₃					45,00
		7	1922-1928 1211-1906	XV-1	J ₃			7,0	100,6	71,40
17/58	Кульбешкак	16	Гл. 1800 (1920-1910)	XV-2	J ₃			7,0	96,6	60,90
18/59		9	Гл. 1800 (1923-1887)	XV-1	J ₃	230		8,0	128,3	30,00
19/57		17	Гл. 1900 (1948-1936)	XV-1	J ₃			6,2	130,8	58,00
20/54		Ходжиказган	2	Гл. 2289 2292-2288		Тер-юра J ₃₋₂	89,7	25	5,8	162,9
21/55		3	2049-2043	XV-2	J ₃	84	30			20,20

№	п	3	4	б	6	7	8	9	10	11
22/32		1	2055-1998	XV-2	J ₁					70,60
23/122	Ходжиказган	3	2120-2112	XV-3	J ₁	85,5	40			10,20
24/122		3	2282-2272	XVI	J ₂	89,5	27,0	6,9	139,2	0,25
25/53		1						>8,4	9,2	0,06
26/64	К-3 «Искра» Каракульского района	5					21,5	7,4	3,1	> 0,02
27/65		11					36	7,8	4,4	> 0,02
28/212	Кимерек	1	Самозлиив	IX	Cr ₂ Сm			> 8,2	5,2	0,30
29/211	Рахматбобо		Самозлиив		Cr ₂ -рД			> 8,2	11,4	0,64
30/213		1	Самозлиив		Cr ₂ -рД			> 8,2	11,7	0,50
31/335		3	2226-2219	XV-3	J ₆		31			5,20
32/338		4	2132-2126	XV-1	J ₆					50,00
33/334	Парсанкуль	1	2136-2114	XV-2	J ₆	91	19,5	7,1	93,1	
34/337		1	2141-2139	XI-2	J ₆					34,0
35/336		1	2149-2134			91	24	6,8		37,0
36/83			Пл. 2290	XV-1	J ₁		26	6,8	106,9	30,10
37/25			2065-2175	XV-1	J ₁					8,00
38/341		1	2100-2123	XV-2	J ₁	88	29	6,8	138,7	
39/36		1	2118-2115	XV-2	J ₁	87,0		4	122,2	42,90
40/340		1	2125 (2116-2126)	XV	J ₃					38,20
41/339		1	2159-2155	XV-2	J ₁			7,2	46,8	15,15
42/42		1	2212-2180	XV-2	J ₁		20		125,5	64,70
43/45		1	2225-2213	XV-2	J ₁			6,8	114,0	52,00
44/28	Аккум	1	2332-2297	XV-2	J ₁	95,4	18,5	6,8	94,2	38,80
45/41		1	2402-2397	XVI	J ₂	96		7,1	148,0	71,20
46/30		1	2444-2324	XV-a	J ₁		15	6,6	98,5	39,70
47/14		1	2202-2225		J тер J _{2,3}					86,10
48/12		1	2307-2288		J тер J _{2,3}			6,8	117,0	
49/16		1	2307-2288		J тер J _{2,3}					0,31
50/26		1	2325-2334		J тер J _{2,3}					55,50
51/29		1	2410-2470		J тер J _{2,3}					16,60
52/33		1	2563-2304		J тер J _{2,3}					22,00

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
53/38		4	2705-2675 (2472-2224)		J тер J _{1,2}			5,4	145	38,10
54/35	Аккум	7								
55/71		9								
56/72		7								
53/282		2	2239-2229 2213-2204	XV-1	J ₃	93	26,3	7,0	115,9	5,50
58/283	Узбеккудук	1	2381-2352 (2366-2349)	XV-2	J ₃	95	24	69	108,3	53,0
59/284		2	2380-2395	XV-3	J ₃	96	24	5,6	114,9	38,55
60/281		1	Гл. 2640 2645-2639	XVI	J ₃	103	23		158,7	41,40
61/418		2	2187-2174	XV-2	J ₃	92,5		6,1	1,0623	37,50
62/257		2	2297-2290	XV-2	J ₃			6,7	69,7	3,89
63/266	Хатар	2	2297-2290	XV-2	J ₃					27,7
65/09		1	2482-2472	XVIII	J _{1,2}			6,7	146	48,00
66/265		1	2482-2472	XVIII	J _{1,2}					48,0
67/98		1	2541-2534	XVIII	J _{1,2}			5,7	149	43,00
68/1		1	2330-2310	XVI	J карб. J ₃ ^{РР-ОХ}			7,0	103,2	73,00
69/4	Ходжи	1	2330-2310	XVI	J карб. J ₃ ^{РР-ОХ}			7,0	103,1	25,00
70/2		2	2648-2621		J тер J _{1,2}			5,2	167,8	16,00
71/319		1	2373-2361	XV-2	J _{1,2}	102,0	20,5	7,0	93,7	32,20
72/317		1	2439-2449	XV-a	J ₂	104	19	6,6	104,2	24,20
73/318	Хасанкуль	1	2523-2510	XV-a	J ₂	105	21,7	6,4	111,1	24,10
74/135		1	2650-2640		J ₃	109	30	6,7	120,7	28,00
75/136		1	2780-2769 2754-2742	XVII-4 XVIII-5	J ₃	113,5	23	6,1	124,4	29,00
76/289		24	2175-2163	XV-1	J ₃	86,5				57,20
77/143		22	2178-2152	XV-1	J ₃	92	32	6,3	190,3	121,70
78/293		18	2182-2176	XV-2	J ₃	93	43			5,00
79/80	Кандым	24	2186-2178	XV-1	J ₁	96	24,5			28,30
80/295		16	2186-2192	XV-2	J ₁	93,5	26	5,8	124,2	66,40
81/291		18	2190-2186	XV-2	J ₃	94		6,6	123,0	66,30

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
82/286		15	2199-2188	XV-2a	J ₂	95	26	6,9	101,8	50,0
83/287		25	2200-2186	XV-2	J ₂	96	24,5			37,5
84/288		14	2200-2192	XV-2	J ₂	95	20	7,0	129,8	104,0
85/77		5	2200 (2228-2223)	XV-2	J ₃		18	7,2	127,8	51,90
86/102		20	2204-2210	XV-2	J ₂			7,1	155	38,80
87/79		24	2217-2197	XV-1	J ₂	96	24,5			50,90
88/290		26	2218-2221	XV-1	J ₂					175,0
89/285		15	2219-2215 2210-2211	XV-2	J ₃	96	22	5,5	115,2	41,80
90/100		20	2224-2230	XV-2	J ₃			8,2	176	1,55
91/81		9	Гл. 2200 2236-2226		J ₃	93,2	22,3	4	113,1	35,50
92/294		27	2254-2245	XV-2	J ₂					30,40
93/8		4	2293-2275	XV-a	J ₂		30			55,70
94/292		8	2300-2310	XV-3	J ₃	96	23	4,0	103,5	34,00
95/37		4	2360-2255	XV-3	J ₃		29	7,4	107,5	52,10
96/7		4	244-2429 (2360-2355)	XVI	J ₃			7,4	107,6	30,00
97/78		6	Гл. 2450 (2457-2451)			97	30			14,15
98/31		2	2355-2345		J тер J _{1,2}		24	6,6	131,7	50,80
99/17		2	2355-2345		J тер J _{1,2}		24	6,6	131,7	75,00
100/9		7	2459-2442		J тер J _{1,2}			6,6	124,8	35,30
101/22		3	2390-2351							42,80
102/23		5	2520-2512		J тер J _{1,2}	97,5	23		151,0	43,00
103/347		3	1017-1013	XII	Cr ₁ ^{al}					
104/346			1056-1038							
105/348	Куюмзар	11	1104-1088	XIV	J ₁	69	26	7,3	17,4	
106/94			1340-1310		Тер - Юра	77,5	24	6,4	56,0	30,20
107/207	Оз. Тудакуль				Q					0,15
108/250	Западный Караиз	1	420-392	IX	Cr ₂ ^{am}			7,0	7,2	1,67
109/248		1	600-590	XI	Cr ₂ ^{al} , Cr ₃			7,1	10,7	0,33

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
110/117		1	718-708	XII	Cr ^{al} ₁			> 8,2	13,7	1,1	
111/115		1	734-732	XII	Cr ^{al} ₁			7,2	12,7	6,11	
112/101		1	768-760	XIII	Cr ^{тн-эрт} ₂			7,2	12,5	4,61	
113/106		1	788-774	XIII	Cr ^{тн-эрт} ₁			7,2	12,2	6,52	
114/105		1	826-806	XIV	Cr ^{тн-эрт} ₁			> 8,2	13,2	4,66	
115/262	Западный Караиз	1	936-912	XV	J ₄					23,0	
116/263		1	962-943	XV	J ₃					16,55	
117/260		1	998-978	XVI	J ₃					23,8	
118/259		1	1009-1023	XVII	J _{1,2}					22,2	
119/261		1	1070-1058		Pz					24,0	
120/215		Махаса	1					30	8,2	2,7	0,10
121/431			1	1470-1466	XV-2	J ₁			6,2	9,4	35,20
122/421		1	1518-1522	XV-2	J ₃			6,7	9,1	32,80	
123/258		1	1542-1543	XV-2	J ₃			6,7	8,8	2,90	
124/256		1	1548-1558	XV-2	J ₃			5,8	102	3,24	
125/254	Чукуркуль	1	1591-1587	XV-3	J ₃			8,2	97	2,09	
126/253		1	1614-1609	XV-3	J ₃			6,9	83	1,75	
127/249		1	1698-1690 1683-1675	XVI	J ₃				6,9	69	3,58
128/247		1	1727-1718		Pz			6,0	100	3,55	
129/210	Караулбазар-Сарыташ	3			Cr ₂			8,2	1,6	0,02	
130/156	Карачукур	2	835-820	IX	Cr ^{сн} ₂		50	> 8,2	1,1	0,15	
131/216	Хамза II						39	> 8,2	7,0	0,03	
132/13		2	Самоизлив		Pg ^{шт} ₁		32	6,5	6,9	0,03	
133/39		1	Самоизлив		Pg ^{шт} ₁		28	6,8	6,7	< 0,02	
134/345	Хаузак	5	2498-2492	XV-р	J ₃	102,5		6,6	86,4	75,00	
135/429		7	2520-2514	XV-пр	J ₃	101		7,1	87	9,65	
136/426		9	2543-2541	XV-р	J ₃	J ₃	100		6,7		63,60
137/217					Q			> 8,2	27	0,45	
138/11	Оз. Денгизкуль	9	Самоизлив 171-183		Pg ^{шт} ₁		26	6,9	6,6	0,05	
139/219		19	600		Pg ^{шт} ₁		21	> 8,2	6,3	0,19	

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
140/428		16	2505-2498 2494-2486	XV-1	J ₃	39,5		6,7	80	93,30
141/88		11	2525-2516	XV-P	J ₃	105	36			60,40
142/427		16	2520-2510	XV-1	J ₃	103,5				90,35
143/87		1	2530-2538	XV-P	J ₃	105	28			77,30
144/422		1 _b	2540-2535	XV-3	J ₃	106		6,2	87	87,40
145/142	Оз. Денгликуль	4	2650-2635	XV	J карб. J ₃ ^{ке-ок}			6,8	109,2	26,20
146/206		1 _l			J ₃ ^{кпч}			5,4	394,2	242,2
147/310		1 _l	Самоизлив		Pg ₃ ^{ah}					0,33
148/311		1	Самоизлив		Pg ₃ ^{ah}					0,40
149/312		1	Самоизлив		Pg ₃ ^{ah}					0,30
150/221		102	371		Pg ₃ ^{ah}			> 8,2	6	0,16
151/95	Уртабулак	2 ₂	2545-2523	XV-P	J ₃	103		6,9	58,9	73,50
152/272		2	Самоизлив	XV	J карб. J ₃ ^{ке-ок}			7,4	166,9	107,1
153/271		25в	Самоизлив		Pg		25	6,8	6,4	0,30
154/131		2	2925-2913	XVI	J ₃			6,6	100,2	69,80
155/132	Зеварды	2	2962-2950	XVI	J ₃		14	6,2	106,3	95,90
156/408	Памук	3	2815-2820	XV	J ₃	111		6,6	106,5	49,00
		7								132,6
157/155		1	945-988	XII-IX	Cr ₁ ^{al}		47	7,7	1,284	0,28
158/196	Юлдузак	3	994-998	XIII	Cr ₁ ^{не-ар}			8,2	1,176	0,16
159/198		3	1225-1263	XV	J ₃			4,4	4,996	0,45
160/116			831-836	XII	Cr ₁ ^{al}			7,6	11,7	3,75
161/14	Игричи		862-850	XIII	Cr ₁ ^{не-ар}			8,2	12,5	5,23
162/104			924-915	XIV	Cr ₁ ^{не-ар}			7,3	13,5	8,62
163/154	Шуртепе	1	1060-1140	IX	Cr ₂ ^{em}		51,0	8,2	0,960	0,20
164/153		1	1075-1060	IX	Cr ₂ ^{em}		51,6	7,7	1,0	0,15
165/199	Шумак		1380-1372 1308-1361	XII	Cr ₁ ^{al}			8,2	2,9	0,20
166/159	Южный Муборек	21	820-801	IX	Cr ₂ ^{em}		51	> 8,2	1,5	0,19
167/160	Ходжихайрам	1	932-915 892-883	IX	Cr ₂ ^{em}		48	8,0	1,3	0,19

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
168/165	Кызылправат	1	778-754	IX	Cr ₂ ^{cm}			> 8,2	1,0	0,29
169/161	Актеле	1	908-871	IX	Cr ₂ ^{cm}		49	> 8,2	1,4	0,19
170/15	Каракум	2	2084-2070	XV	J ₁					18,70
171/162	Карабаир	1	738-730	IX	Cr ₂ ^{cm}			> 8,2	1,2	0,37
172/163	Байбурек	1	932-901	IX	Cr ₂ ^{cm}			> 8,2	1,0	0,35
173/164	Майдадждой	1	905-866	IX	Cr ₂ ^{cm}			> 8,2	0,8	0,27
174/76		1ор	Пл. 700 м 771-811	IX	Cr ₂ ^{cm}		40	7,2	0,7	0,05
175/246	Ходжикудук		900	IX	Cr ₂ ^{cm}		50	7,7	0,64	0,07
176/166		1	964-520 515-508	IX	Cr ₂ ^{cm}			> 8,2	0,4	0,07
177/40		4	1601-1615	XV	J ₁					46,60
178/21	Сарына	5	1642-1634	XV	J ₂					
179/406		12	1039-1031	XII	Cr ₂ ^{al}	65°		7,4	1,5	0,31
180/420		12	1067-1062	XII	Cr ₂ ^{al}	65		7,2	1,5	3,09
181/419		12	1082-1077	XII	Cr ₂ ^{al}	65		7,2	1,1	0,27
182/51		7	1186-1182	XII	Cr ₂ ^{al}	69°		7,80	4,2	0,571
183/108		12	1109-1103	XIII	Cr ₁ ^{ne-ap}			7,1	2,6	1,95
184/399		11	1135-1127	XIII	Cr ₁ ^{ne-ap}	67		> 8,2	0,9	0,28
185/53		4	1136-1131	XIII	Cr ₁ ^{ne-ap}	67	24	6,0	2,6	1,40
186/398		11	1148-1140	XIII	Cr ₁ ^{ne-ap}	67		> 8,2	1,6	0,02
187/113		11	1157-1153	XIII	Cr ₁ ^{ne-ap}			7,7	0,9	0,03
188/111	Западный Ташлы	11	1175-1166	XIII	Cr ₁ ^{ne-ap}			7,7	1,1	1,25
189/50		7	1205-1196	XII	Cr ₂ ^{al}	67		7,40	3,8	3,33
190/414		14	1561-1660	XIII	Cr ₁ ^{ne-ap}	87,5		> 8,2	93,5	47,10
191/423			1142-1138	XIII				> 8,2	1,04	0,26
192/52			1232-1218	XV-a	J ₃	52	18			1,25
193/107			1473-1463	XV	J ₁			> 8,2	1,4	0,21
194/425			1507-1502	XV-a	J ₃	76		6,8	30,8	10,25
195/49			1526-1514	XV-a	J ₃			5,8	53,2	22,00
196/48			1526-1514	XV-a	J ₂			4,0	79,10	15,00
197/415		14	1564-1555	XV-a	J ₁	87		6,8	67	18,30

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
198/409	Западный Ташлы	13	1608-1594			80		7,8	53,7	24,60	
199/405		13	1696-1651	XV	J ₂	80		7,1	73,7	33,00	
200/200	Род. на дор. Камашин-Лянгар				Cr ₂			7,7	1,192	0,05	
201/201	Род. в центре п. Лянгар				Cr ₁ ^{vh}			7,7	1,146	0,06	
202/202	Род. Кулурбулак по дор. Лянгар-Байкурган				Pg			7,7	2,870	0,10	
203/424		1	2560-11522	IX	Cr ₂ sm			6,8	1,34	0,17	
204/416		1	2630-2610		Cr ₁			5,0	44,15	7,80	
205/413		1	2800-2782		Cr ₁			6,4	102,3	24,20	
206/412		1	2924-2908		Cr ₁			6,4	106	30,60	
207/411		1	2950-2942		Cr ₁			6,4	134,6	30,00	
208/410		1	2970-2960		Cr ₁			6,9	80,2	21,40	
209/407		1	3010-3000		Cr ₁			6,6	88,97	13,00	
210/404		1	3040-3024	XII	Cr ₁ ^{al}		113		6,3	107,8	19,40
211/403		1	3102-3088	XIII	Cr ₁ ^{не-ар}		114		6,6	99,2	20,00
212/402		Шорбулак	1	3102-3088	XIII	Cr ₁ ^{не-ар}	114		7,2	110,84	40,40
213/401	1	3208-3200	XIII	Cr ₁ ^{не-ар}		119		5,6	161,21	39,00	
214/400	1	3300-3294	XIII	Cr ₁ ^{не-ар}		124		5,8	162,2	34,00	
215/112	1	3334-3328	XIII	Cr ₁ ^{не-ар}				6,8	187	44,40	
216/321	1	3334-3328	XIII	Cr ₁ ^{не-ар}						45,20	
217/110	1	3360-3356	XIII	Cr ₁ ^{не-ар}				5,5	200	31,40	
218/109	1	3376-3700	XIII	Cr ₁				6,5	165	33,80	
219/322	1	3376-3370	XIII	Cr ₁						41,40	
220/320										50,0	
221/140										0,90	
222/203	Род. Шорбулак в 10 км на запад от п. Байкурган				Cr ₂ ^{Sn}					0,12	
223/204	Род. Шакарлыката в 5 км на запад-северо-запад от кшл. Гумбулак				Cr ₂ ^{Sn}		19	7,9	3,90	0,10	

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
224/205	Русло р. Кичикдарьи в 10 км от Дехканабада на запад вниз по течению				Cr ₂ -рД		13	7,6	3,16	0,16
225/276		8	2125-2137	XV	J ₂			5,7	373,0	290,0
226/274		5	2386-2376	XV-a	J ₂					56,5
227/273		9	2488-2468	XV	J ₃					3,90
228/273		5	2490-2486	XV-a	J ₄	92	17	7,2	92,8	19,5
229/75	Гумбулак	9	2504-2499	XV-a	J ₃	96	30	6,6	79,9	3,50
230/74		9	2522-2512	XV-a	J ₄	96	38	6,8	89,9	2,80
231/275		10	2530-2516	XV	J ₄					0,15
232/18		1	2556-2760	XVI XV-a	J ₃					1,90
233/137	Мобик	3	2578-2570	XV-a	J ₁	83	19	8,2	90,1	1,80
234/6	Адамташ	19	2183-2140	XVII	J _{1,2}					5,00
235/350	Акбаш	1	982-966 960-650	XV-a	J ₃		190	7,4	18,00	2,00
236/192	Скв., 22 км юго-западнее г. Дехканабада	2	210-230		Cr ₁ ^{пл}		21	8,2	3,3	0,17
237/193	Ходжилик- Дехканабадский				J ₃ ^{эк}		20,5	8,2	60,2	0,20
238/194	Скв. в р-не род. Ходжилик Дехканабадский	4	180-370		SPZ ₃		16	6,3	312,5	1,50
239/223	Род. (перевал Тахтакарача)						7	7,6	0,1	сл

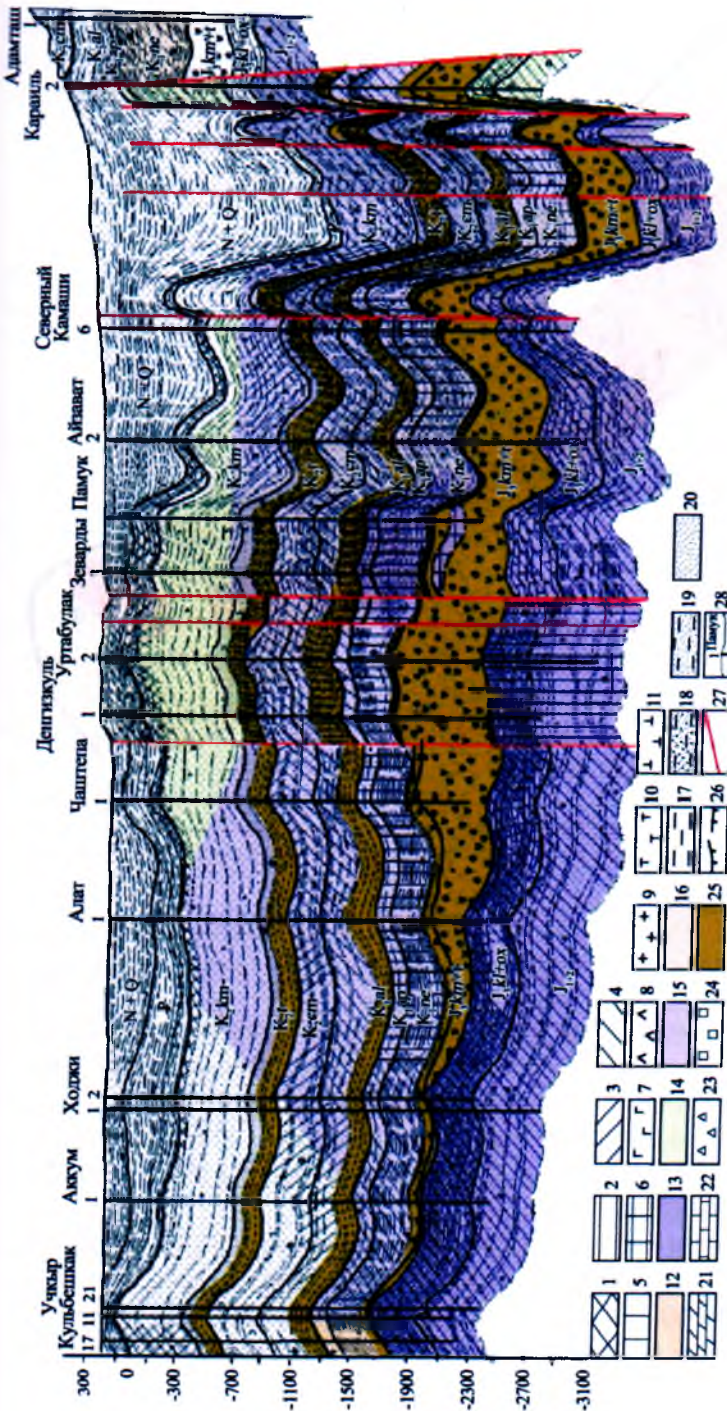


Рис. 10. Геолого-гидрохимический разрез БКАБ по линии Кульбешак—Алагат. Минерализация подземных вод, г/л. 1—слабо- и умеренно соленые (2,5-7), 2—сильно- и весьма сильно соленые (7-15), 3—переходные от соленых к рассолам (15-36), 4—слабые рассолы (36-150), 5—крепкие (150-320), 6—весьма крепкие (320-500). Химический состав подземных вод: 7—хлоридно-сульфатные натриевые, 8—хлоридно-сульфатные натриево-кальциевые, 9—хлоридные натриевые, 10—сульфатно-хлоридно-гидрокарбонатные натриево-кальциевые, 11—сульфатно-хлоридные натриевые, натриево-кальциевые натриевые, натриево-кальциевые натриевые. Типы вод по содержанию йода и брома, мг/л: а) преимущественное распространение по содержанию йода и брома: 14—йодные ($I > 10$, $Br > 200$), б) преимущественное распространение вод специфических по содержанию йода и брома: 12—бромные ($I > 250$), 13—йодо-бромные ($I > 10$, $Br > 200$), 16—бромные ($I > 10$, $Br > 200$), 17—глинистые, 18—глинисто-песчаные, 19—глинисто-песчаные, 20—пески, 21—мергель, 22—известняк, 23—ангидрид, типе, 24—каменная соль, 25—региональные водоупоры, 26—глубина залегания палеозойского фундамента, по данным сейсморазведки, 27—разрывные нарушения, 28—название структуры, нефтегазоразведочная скважина и ее номер.

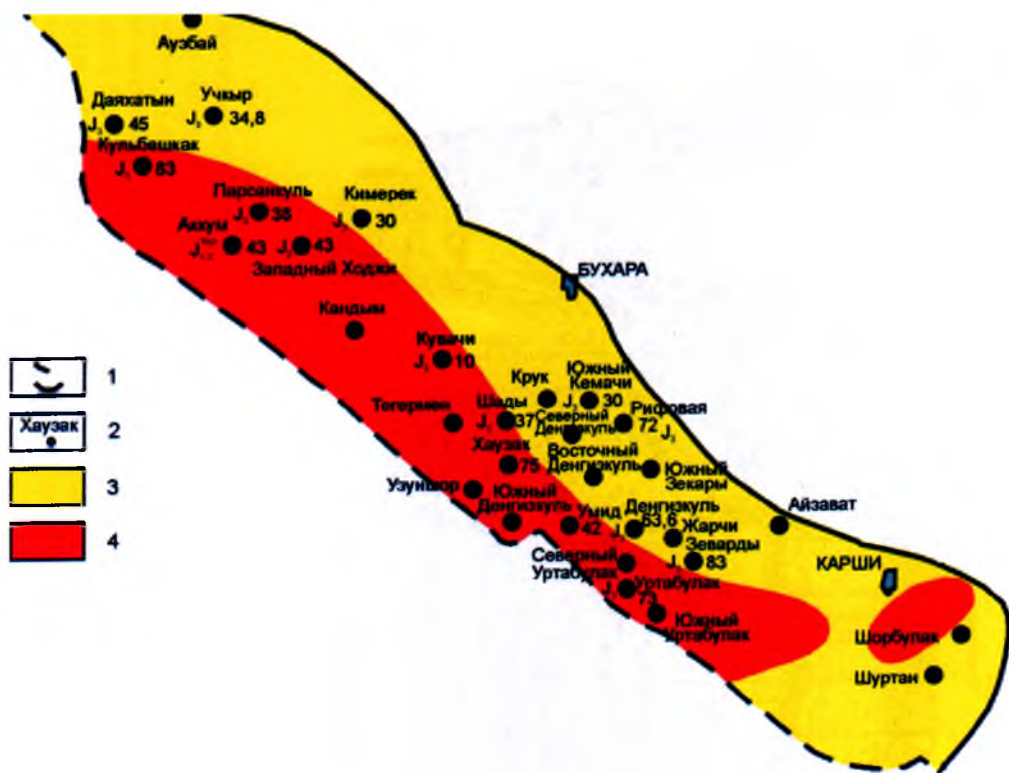


Рис. 11. Схема распространения лития в попутных водах верхнеюрского водоносного комплекса БКАБ. 1 – государственная граница; 2 – структура; содержание лития в подземных водах, мг/л: 3 – до 10; 4 – от 20 до 60 и выше.

низких содержаний как по площади, так и разрезу. Воды сульфатно-гидрокарбонатные и сульфатно-хлоридные с общей минерализацией от 2 до 15 г/л, средние содержания лития в них – 3 мг/л. С изменением химического состава на углеводородно-кальциевый и увеличением общей минерализации вод комплекса до 80-200 г/л содержания лития значительно увеличиваются и достигают промышленных концентраций. На структуре Аузбай (скв. 1, интервал 1444-1417 м) лития 33,8 мг/л, общая минерализация – 168 г/л. На структуре Шорбулак опробованы XIII и XII горизонты, залегающие на глубине 3400-2900 м. При общей минерализации вод от 80 до 200 г/л среднее содержание лития – 30 мг/л.

Верхнемеловой и палеогеновый водоносные комплексы БКАБ характеризуются чрезвычайно низкими содержаниями лития в водах и практического интереса не представляют. Таким образом, анализ имеющегося фактического материала по литию в подземных водах БКАБ позволяет рассматривать этот бассейн перспективным на литий в пределах структур:

Нижне-среднеюрский водоносный комплекс: Ходжиказган, Аккум, Хатар, Ходжи, Кандым.

Верхнеюрский водоносный комплекс: Даяхотын, Кульбешкак, Ходжиказган, Парсанкуль, Аккум, Узбеккудук, Хатар, Ходжи, Хасанкуль, Кандым, Западный Караиз, Чукуркуль, Хаузак, Денгизкуль, Уртабулак, Зеварды, Памук, Западный Ташлы, Тумбулак.

Нижнемеловой водоносный комплекс: Аузбай, Учкыр, Шорбулак.

Ферганский артезианский бассейн

Ферганский бассейн расположен в Ферганской депрессии и представляет крупную межгорную впадину, со всех сторон ограниченную горными сооружениями Тянь-Шаня.

Геологическое строение

В геологическом строении Ферганы участвует мощный комплекс пород от палеозоя до четвертичных. *Палеозойские породы* слагают борта впадины, в центральной части бассейна погружены на глубину 10-12 км, представлены сильнодислоцированной, метаморфизованной толщей известняков, сланцев, песчаников, алевролитов, конгломератов с пластовыми залежами эффузивных образований.

Юрские отложения значительны по распространению и мощности, сложены исключительно континентальными осадками, главным образом, конгломератами, песчаниками, алевролитами и глинами с пластами угля.

Меловые отложения для различных районов Ферганы неодинаковы по составу. В Северной Фергане весь разрез мела характеризуется грубообломочными образованиями – конгломератами, песчано-галечниками и глинами мощностью 600-800 м. В остальных районах разрез мела представлен карбонатно-терригенными (морские, песчано-глинистые и карбонатные породы) и лагунными (гипсы, ангидриты, гипсоносные песчаники) отложениями мощностью до 600 м.

Палеогеновые отложения сложены пластами относительно водоупорных глинистых пород с прослоями карбонатных и терригенных, отдельные разности которых отличаются хорошей выдержанностью по площади. В разрезе палеогеновых отложений Ферганы выделено до девяти продуктивных горизонтов, большинство из которых содержит промышленные залежи нефти, иногда газа. Мощность палеогеновых отложений – 600-1000 м.

Неогеновые отложения, по схеме О.С.Вялова, расчленяются на массагетскую (верхний олигоцен) и бактрийскую (плиоцен) свиты. Массагетская характеризуется преимущественно глинами, мергелями, алевролитами с подчиненными им пластами песчаников, гравелитов и конгломератов максимальной мощностью 3500 м. Бактрийская свита представлена глинисто-мергелистыми отложениями, песчаниками и конгломератами мощностью до 3000 м.

Четвертичные отложения развиты широко и включают все четыре комплекса. Общепринятой схемы тектонического районирования Ферганской впадины до настоящего времени еще нет, хотя существует несколько схем разных авторов. Наиболее простая и приемлемая для практических целей схема В.Г.Клейнберга и С.Н.Симакова, в схеме альпийской тектоники Ферганы они выделяют четыре зоны:

- I – Южную, примерно совпадающую с «адырной зоной Южной Ферганы»;
- II – Северную, с максимальной мощностью неогеновых отложений (более 3500 м);
- III – Центральную, как область максимального погружения Ферганской впадины в четвертичный период;
- IV – Куршабскую, с минимальной мощностью палеогеновых отложений.

В строении Ферганской впадины четко выделяются два структурных этажа: герцинский и альпийский. Причем складки верхнего этажа прогнуты почти всегда в соответствии с поверхностью герцинских образований и, как правило, разбиты разломами на блоки. Все выделенные к настоящему времени складки мезо-кайнозойского чехла приурочены, главным образом, к прибортовым частям впадины и простираются обычно параллельно основным горным хребтам палеозойского обрамления. Большинство складок асимметричного строения, их крутые крылья обычно осложнены разрывами и надвигами. По морфологическим признакам В.Г.Клейнберг разделяет складки Ферганы на открытые и закрытые. Открытые складки, в свою очередь, подразделяются на размытые до палеозойского ядра (явные складки облегания) и размытые до палеогена или мела. Закрытые складки перекрыты бактрийским или сохскими молассами. Размеры антиклинальных складок Ферганы колеблются в широких пределах. Наряду с небольшими, карликовыми, складками длиной несколько сотен метров встречаются крупные длиной 35–40 км. Небольшие по размерам складки часто располагаются на крыльях крупных антиклинальных поднятий.

В развитии территории большую роль играли тектонические нарушения. Разломы относительно основных альпийских структур подразделяют на параллельные (тяньшаньские), ортогональные (антитяньшаньские) и диагональные. Их большая часть была активна в рет-юрское-антропогеновое время. Возрожденные разломы разделяют на глубинные и приповерхностные, они разбивают Ферганскую долину на блоковые поля, отличающиеся своеобразием тектонического развития и строения.

Гидрогеологические условия

В гидрогеологическом отношении Фергана представляет межгорный артезианский бассейн, рассматриваемый в качестве II порядка в Сырдарьинском артезианском бассейне. В мезо-кайнозойской части водонапорной системы А.Н.Султанходжаевым (1963, 1975) выделяются гидрогеологические структуры III порядка: Центрально-Ферганский артезианский бассейн, артезианские бассейны заадырных и межаадырных впадин Северной и Южной Ферганы, Восточно-Ферганский склон, артезианские бассейны внутригорных впадин.

В пределах Ферганского артезианского бассейна гидрогеологический разрез делится на три части. Самый нижний этаж сложен сильнодислоцированными и значительно метаморфизованными осадочными породами докембрия и палеозоя. В горно-складчатом обрамлении бассейна с ними связаны трещинно-жильные и трещинно-карстовые пресные воды. В его центральной части воды этих образований погружены на значительную глубину (10–11 км) и совершенно не изучены. Средний этаж представлен породами мезозоя, палеогена и неогена. Эта мощная осадочная толща в центральной части впадины (6–7 км) по мере приближения к бортам выкли-

ивается. В ней содержится несколько водоносных комплексов с высокоминерализованными напорными водами. С отложениями этого этажа связаны основные залежи нефти, газа и промышленные воды, содержащие редкие элементы. К верхнему этажу приурочены преимущественно пресные воды четвертичных *отложений* мощностью в центральной части депрессии до 3 тыс. м.

Поскольку среди ПВ Ферганского артезианского бассейна наиболее перспективны промышленные литиевые воды среднего этажа, опишем его воды более подробно. *Водоносный комплекс юрских отложений* приурочен к песчаникам и конгломератам, его водоносность изучена недостаточно и крайне неравномерно. В пределах горного обрамления из юрских отложений наблюдается выклинивание множества родников с тресной водой, их расходы изменяются от тысячных долей до первых десятков литров в секунду. По мере удаления от областей питания наблюдается постепенное погружение водоносного комплекса с одновременным увеличением минерализации до растворов хлоридно-натриевого состава. Температура воды юрского комплекса в адырной зоне – 50-700°C, в центральной части бассейна увеличивается до 1000°C и более.

Водоносный комплекс меловых отложений приурочен к известнякам и песчаникам. В пределах области меловые отложения залегают на большой глубине и изучены слабо. Лучшее мел изучен в пределах предгорий Южной, Восточной и Северо-Восточной Ферганы за пределами республики, где он обнажается на поверхности или залегает на доступных бурению глубинах в полосе адырных поднятий. В адырной зоне меловые отложения залегают на глубине до 1000 м, являются напорными и часто самоизливающимися; в Центральной и Северной Фергане глубина залегания мела достигает 5-7 км. По минерализации и химическому составу подземные воды мела пестрые, но, в общем, менее минерализованы, чем воды палеогена. Их минерализация колеблется от 1-3 до 8 г/л в периферических частях бассейна и увеличивается до 45 г/л при погружении водоносного комплекса к центру депрессии. Химический состав воды изменяется с сульфатно-хлоридного натриево-кальциевого на хлоридно-натриевый. В наиболее минерализованных водах мела отмечается несколько повышенное содержание лития. Температура воды изменяется от 27-500°C близ областей питания до 450°C в адырной зоне и до 80-1000°C в центральной части депрессии. Водообильность водоносных горизонтов мела в связи с изменчивостью фациальных условий, литологического состава пород по площади и мощности, гидродинамических условий изменчива. В целом расходы скважин незначительные и составляют тысячные и десятые доли литров в секунду, лишь скважины, вскрывающие трещиноватые известняки, имеют дебит до 8 л/с.

Водоносный комплекс палеогеновых отложений приурочен к известнякам и песчаникам сумсарской, риштанской, туркестанской, алайской и бухарской свит. Залегают они в адырной зоне на глубине 400-1000 м, равниной – на глубине 4000 м и более. Воды палеогена высоконапорные, самоизливающиеся. Для комплекса, в целом, характерна слабая водообильность. Дебиты скважин при самоизливе колеблются от сотых до десятых долей литра в секунду. Области питания водоносного комплекса расположены на периферии Ферганской депрессии, где его породы выходят на поверхность. Минерализация увеличивается от областей питания к центру впадины с изменением химического состава воды от сульфатного к хлоридному. Общая мине-

реализация пластовых вод варьирует в широких пределах – от пресных и слабоминерализованных до рассолов (300 г/л). Для вод большинства структур, приуроченных к туркестанским, алайским и бухарским слоям, характерны высокое содержание сероводорода и высокая минерализация. Воды палеогена термальны, с температурой 400°С, увеличивающейся до 70-900°С в центральной части впадины.

На площади Чимион в известняках с прослоями песчаников туркестанской свиты вскрыты напорные, но не самоизливающиеся воды хлоридно-натриево-магниевые состава с минерализацией 50-10 г/л. В известняках алайской свиты вскрыты самоизливающиеся воды с минерализацией 14-20 г/л. На площади Андижан в отложениях туркестанской и алайской свит вскрыты напорные хлоридно-натриевые воды с минерализацией до 187 г/л. Аналогичные воды вскрыты на структурах Ким, Южный Аламышык, Шорсу, Хартум и др.

Водоносный комплекс олигоцен-миоценовых отложений (массагетская свита) распространен широко и представлен преимущественно красноцветными глинами, мергелями, алевролитами с подчиненными пластами песчаников, гравелитов и конгломератов. Воды напорные, самоизливающиеся, залегают в зависимости от структурного положения на глубинах от 600-900 до 2500-3500 м. Дебиты отдельных скважин при самоизливе, как правило, не превышают 1-2,5 л/с, в большинстве случаев составляют сотые и десятые доли литра в секунду. Минерализация ПВ колеблется в широких пределах – от нескольких десятков до 235 г/л, по типу хлоридные натриево-кальциевые. По мере приближения к осевым частям структур минерализация вод увеличивается. Воды массагетской свиты высокотермальные, газируют преимущественно азотом.

Водоносный комплекс плиоценовых отложений (бактрийская свита) приурочен к разнозернистым пескам, реже, галечникам. Мощность бактрийской свиты 500-1000 м. Воды напорные, самоизливающиеся, залегают на глубине от 350-500 до 1000-1200 м. Область питания комплекса расположена на периферии депрессии в районах выхода пород на дневную поверхность. При вскрытии в интервалах от 400 до 1000 м самоизливают с дебитом от 3 до 7 тыс. м³/сут. Минерализация вод в зависимости от местоположения исследуемого объекта изменяется от десятых долей до 2-3 г/л. По химическому составу воды сульфатно-гидрокарбонатно-натриевые. Присутствие нефти в ряде структур этого комплекса обязано миграции из нижележащих отложений. Этим же вызвано увеличение минерализации вод на структурах Южной Аламышык, Бостон, Ходжабад, Андижан и др., достигающей в некоторых скважинах 50-60 г/л. В целом плотный остаток ПВ бактрийской серии в большинстве скважин этих площадей измеряется величинами порядка 25-35 г/л. По типу воды хлоридные натриево-кальциевые.

Содержание лития в подземных водах

В пределах Ферганского артезианского бассейна на литий опробованы подземные воды действующих нефтепромыслов и курортов Северной и Южной Ферганы. *Водоносный комплекс юрских отложений* опробован на структуре Южный Аламышык. Вода в скважину поступает с интервала 1345-1315 м, по химическому составу хлорид-

но-натриевая с минерализацией 35,3 г/л. Содержание лития – 2,7 мг/л. **Водоносный комплекс меловых отложений** опробован на структурах Ходжиясман, Ходжиаблад и Южный Аламышик. Подземные воды отличаются слабой минерализацией (3,4-10,8 г/л) при гидрокарбонатно-хлоридно-натриевом и хлоридно-натриевом составе.

Водоносный комплекс палеогеновых отложений опробован почти на всех нефтепромыслах Ферганы в пределах границ Узбекистана. Среди редких щелочных элементов только литий в водах присутствует в ощутимых количествах – от 1 до 33 мг/л. Однако его средние значения по многим структурам, как правило, не превышают кондиционные требования (10 мг/л). Наиболее значительные содержания (мг/л) свойственны высокоминерализованным рассолам хлоридно-натриево-кальциевого состава с минерализацией 182-224 г/л на структурах Хартум (56), Палванташ (33), Наманган (30), а также самоизливающимся водам озокеритового рудника Шорсу (25) (табл. 16). Особое внимание обращает проба воды из скважины, расположенной в карьере озокеритового рудника Шорсу. Скважина пройдена по палеогеновым отложениям и самоизливает с расходом 1,5 л/с. Вода чистая, прозрачная, с сильным запахом сероводорода, минерализация – 67 г/л, хлоридно-натриевая. Содержание лития – 25 мг/л. При неизменном режиме расхода, постоянстве концентраций и 100% извлекаемости запасы лития по этой скважине при расходе 1,5 л/с составят 1,3 т/год.

Подземные воды **неогенового водоносного комплекса** не содержат литий выше кондиционных требований, его концентрация не превышает 7 мг/л. Промышленными концентрациями лития характеризуются высокоминерализованные хлоридно-натриевые воды **палеогенового водоносного комплекса**. В подземных водах юры и мела (единичные данные) литий встречен в чрезвычайно низких концентрациях и для промышленного использования интереса не представляет (рис. 12).

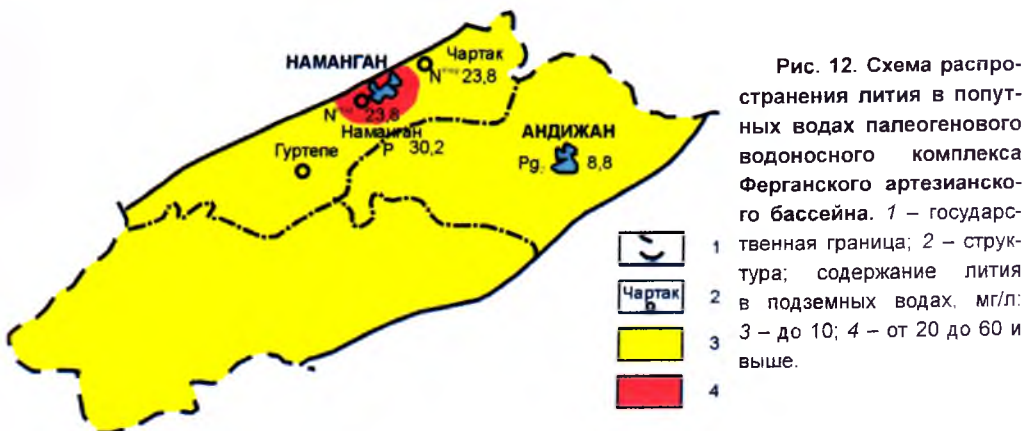


Рис. 12. Схема распространения лития в попутных водах палеогенового водоносного комплекса Ферганского артезианского бассейна. 1 – государственная граница; 2 – структура; содержание лития в подземных водах, мг/л: 3 – до 10; 4 – от 20 до 60 и выше.

Таким образом, воды Ферганского артезианского бассейна могут рассматриваться как перспективные на литий в пределах структур палеогенового и неогенового водоносных комплексов: палеогеновый водоносный комплекс – Северный Сох, Чимшон, Ханкыз, Западный Палванташ, Палванташ. Андижан, Хартум, Наманган, Шорсу; неогеновый водоносный комплекс не содержит литий в промышленных концентрациях.

Содержание лития в подземных водах разведываемых и эксплуатируемых нефтегазовых месторождений Ферганского артезианского бассейна

Номер на карте/ номер пробы	Структура, водопункт	Номер скважины	Глубина интервала опробования, м	Номер горизонта	Стратиграфический возраст (индекс) опробованных пород	Температура воды, °С		pH	Минерализация, г/л	Li, мг/л
						платовая	на изливе			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
297/379	Северный Сох	138	Гл 1200	II	Pg			6,9	101	13,00
298/378		89	271-289	V	Pg		25°	7,0	5	0,30
299/353	Чимшон	1	542-560 605-623 653-720	VII-VIII	Pg		22	6,8	66	9,50
300/121		6			Pg		21,5	5,4	6,3	0,62
301/354		26	1306-1333	II	Pg			7,2	220	13,80
302/138	Ханкыз	26	1314-1339	II пласт	Pg		30,1	7,0	14,5	7,70
303/331		31			Pg					12,40
304/332		100			Pg					7,40
305/335	Восточный Ауваля			V	Pg ^{IV}			6,8	151	5,20
306/371		100	1272-1263 1256-1250		N			7,0	175,3	7,40
307/370	Западный Паланташ	90	1821-1831	II	Pg			6,6	223,4	22,4
308/369		29	2140-2155 2117-2107	V-VI	Pg			6,8	147	12
309/129		46	2214-2195	VII	Pg					11

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
310/128		47	2230-2203		Pg					9,6
311/127	Западный Палванташ	128	1242-1225 1265-1242		N		25,5	6,6	174	0,5
312/368		40	2370-2350 2346-2330	VIII-IX	Pg			7,2	41,2	4,65
313/373	Палванташ	201	770-784	VII	Pg			6,8	224	32,7
314/372	Ходжиясман			XVIII	Cr ₁			4,0	10,8	1,02
315 328		724	209-137	I	N			7,2	40,2	1,85
316/364		150	293-365	I	N			6,8	40,2	1,80
317/124		100	390-385	I	N		24	5,6	43	0,85
318/125		757	422-388	I	N		26	6,8	324	0,45
319/365	Андижан	575	492-505	I	N			7,2	58,8	3,30
320/123		52	747-749	VII	Pg ₂		36	7,3	189450	11,90
321/366		82	759-770	VII	Pg ₂					8,80
322/329		215	785-776	V	Pg ₂		38	6,9	8,7	0,70
323/330		86	841-829	VI	Pg ₂					
324/356		1	2950-1894		N ₁ ^{ms}		15	8,0	28,2	1,90
325/133	Харабек	1	974-959				25	7,1	12,9	
326/130	Хартум	12		VI	Pg ₂					
327/126	Холжиябад	548	706-716	III	Pg ₁					3,6
328/362					VII	Pg		7,0	7	0,55

Продолжение табл. 16

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
329/363		408	766-771	VII	Pg			7,0	12,2	0,67
330/361	Ходжабад	745	1942-1959	XVIII	Cr ₁		33	8,2	4,8	1,35
331/360		658	2171-2220	XXI	Cr ₁			7,6	3,6	0,27
332/139	Бостон	411	630-654 659-665	III			23	6,8	137,7	
333/118		290	322-489	I	N		23	6,9	64,16	3,05
334/66		224	363-357	III	Pg		23	6,3	34,1	0,63
335/68		317	664-651	III	Pg		21	6,7	92	1,60
336/119		716	1008-990	XVIII	Cr ₁		26	7,6	8,2	1,101
337/358	Южный Аламышик	705	1033-1025	XVII	Cr ₁			8,0	3,4	1,55
338/69		705	1033-1025	XVIII	Cr ₁		26	7,7	3,6	0,72
339/357		698	1345-1315	XXIII	J		22 ⁰	7,2	35,3	2,70
340/67		279	430-449	I	N					0,27
341/359		726	1262-1239	XXI	Cr ₁	63 ⁰		8,0	44	4,05
342/374	Город Наманган	1	1780-1773 1765-1760		N ^{нес}		54 ⁰	8,0	20,3	1,20
343/375	Нефтепромысел «Наманган»	13	3577-3566	V	Pg			7,6	182	30,00
344/376		2	1248-1264 1546-1540		N ^{нес}		48	7,6	58,8	2,90
345/377	Чартак	3 ^а	1704-1736		N ^{нес}		51,4	8,0	28,8	1,80
346/120		13			N ^{нес}					23,80
347/380	Род. Шорсу		Самозлив		Pg ₁₋₂		16	7,1	67,1	25,00

Сурхандарьинский артезианский бассейн

Сурхандарьинский артезианский бассейн расположен на юге Узбекистана, у южных склонов Гиссарского хребта, в пределах Сурхандарьинской и Байсунской депрессий, сазделенных Келиф-Шерабадской и Сарыкамышской грядами.

Геологическое строение

В геологическом строении Сурхандарьинского артезианского бассейна участвуют горды различного возраста, генезиса и литологического состава, здесь встречены стложения триасового, юрского, мелового, палеогенового, неогенового и четвертичного возрастов, подстилаемые в разной степени метаморфизованными и изверженными породами палеозойского возраста. Стратиграфией мезо-кайнозойских отложений занимались А.Р.Бурачек (1934), К.А.Бабков и У.А.Кухмазов (1950), В.И.Попов (1938, 1956), Л.С.Балашов (1960) и др.

Палеозойские отложения были изучены в Гиссарском хребте и его юго-западных отрогах (Кугитангтау, Байсунтау, Сурхантау) С.К.Овчинниковым (1946) и Е.М.Головиновым (1983). Они представлены розовато-серыми гнейсами, кристаллическими сланцами и мраморами; парагнейсами, переслаивающимися со сланцами; основными и кислыми ортогнейсами, базальными гнейсами; известняками, песчаниками; туфо-брекчиями; аллитами, туфогенными конгломератами; завершают их отложения ханакской свиты, состоящие из конгломератов и песчаников.

Триасовые отложения налегают на размытую поверхность палеозойского фундамента и характеризуются невыдержанной по простиранию и мощности песчано-глинистой бокситоносной толщей.

Юрские отложения обнажаются также за пределами бассейна (Кугитанг, Байсунтау, Чульбаир, Бабатаг) и состоят из трех свит: нижней – терригенной, средней – карбонатной, верхней – галогенной. *Терригенная свита* (J_1 и J_2) сложена континентальными угленосными песчаниками, глинами, аргиллитами и алевролитами, которые с угловым несогласием налегают на размытую поверхность палеозоя или триаса. *Карбонатная свита* (низы J_3) морского происхождения, представлена, по С.И.Левицкому (1935), тремя толщами: нижняя – темными массивными известняками (J_3 kl), средняя – плитчатыми известняками (J_3 ox), верхняя – темно-серыми битуминозными известняками. *Галогенная свита* (верхи J_3) лагунно-морского происхождения, подразделяется на три части: нижняя (переходная) состоит из доломитизированных известняков с прослоями гипса и ангидрита; средняя (пестроцветная) образуется чередованием зеленых и красных гипсов; верхняя (солевая) характеризуется каменной и калийной солями. Возраст свиты предположительно кимеридж-титон. Мощность юрских отложений увеличивается с северо-востока на юго-запад и юг от 350 до 1500 м.

Меловые отложения, особенно верхнего отдела, широко развиты в пределах региона. Граница между меловыми и юрскими осадками проводится условно по кровле маркирующего горизонта гипсов. Отложения нижнего мела на две трети сложены

терригенными континентальными красноцветами – это вишнево-красные, светло-оранжевые кварцевые песчаники, известковисто-железистые алевролиты и песчанистые аргиллиты с подчиненными прослоями известняков, конгломератов и гипсов. Возраст определяется как Карабильский, Альмурадский и Кызылташский.

Выше залегают отложения лагунно-прибрежного и морского происхождения (окузбулакская и калигрекская свиты), сложенные вишнево-красными аргиллитами с прослойками гипса, серыми и бурыми мергелями, переслаивающимися с известковистыми глинами, оолитовыми и устричными известняками, песчаниками и глинами. Еще выше залегают темно-серые морские отложения аулятской свиты, подразделяющиеся на три горизонта: I – пачка гравийных конгломератов и разнозернистых песчаников с подчиненными прослоями глин и известняков мощностью 14-40 м; II – пачка (горизонт) темно-серых глин с конкрециями сидерита (этот горизонт известен как региональный водоупор нижеальбских глин) мощностью 30-160 м; III – пачка (горизонт) чередующихся прослоев устричника, глин, песчаников, известняков мощностью 27-90 м. Общая мощность нижнего мела изменяется с юго-запада на северо-восток от 239 до 910 м.

Верхнемеловые отложения мощностью 750-900 м представлены толщей морского происхождения, сеноманским и туронским ярусами и сеноманским надъярусом. Сеноман сложен темно-серыми, иногда, серыми песчанистыми известняками, переслаивающимися с серыми, буроватыми, реже, красными и зелеными глинами с прослойками гипса. Турон, не имея отчетливой границы с сеноманом, в целом существенно от него отличается и имеет двучленное строение: нижняя часть характеризуется темными мергелистыми глинами, верхняя – известняками и грубым мелом. Сенон представлен переслаиванием гипсоносных глин и известняков, иногда встречаются прослои гипса.

Палеогеновые отложения без видимого углового несогласия, но, отделяясь эрозией от поверхности, налегают на подстилающие породы верхнего мела. Толща палеоценового возраста сложена карбонатными образованиями мощностью 60-100 м, а эоценового и олигоценного – чередованием глин органогенных известняков, реже, гипсов мощностью 180-370 м.

Неогеновые красноцветные континентальные образования почти повсеместно перекрывают морские и лагунно-морские отложения палеогена и подразделяются на три свиты: *I свита* характеризуется красными мелкозернистыми косослоистыми песчаниками, алевролитами с прослоями светло-красных песчаников, коричнево-красных алевролитов, глин и светло-зеленых песчаников мощностью 830 м. *II свита* залегает на размытой поверхности 1-ой свиты и содержит в подошве конгломерат, представлена зеленовато-серыми песчаниками с линзами и прослоями глин, конгломератов с галькой палеозойских и третичных пород. Мощность – 1100 м. *III свита* сложена бурыми плотными загипсованными алевролитами, переслаивающимися с красновато-бурными песчаниками, содержащими обломки бурых глин и гальки палеогеновых известняков. Мощность – 1500 м.

Четвертичные и отложения современного возраста занимают обширное пространство и достигают огромной мощности. Они характеризуются разнообразными аллювиальными, делювиальными, элювиальными, золовыми образованиями и осадками современных болот и озер.

Гидрогеологические условия

Сурхандарьинский артезианский бассейн является обособленным межгорным бассейном Таджикской депрессии. К югу он сливается с Амударьинским артезианским бассейном, на северо-востоке депрессия без видимого перегиба сливается с широтно вытянутой Гиссарской впадиной. Напорные водоносные горизонты распространены здесь повсеместно.

С.Талиповым (1964) в пределах бассейна выделены пять водоносных комплексов I – алайский, II – сенон-палеоценовый, III – сеноман-альбский, IV – нижнемеловой и V – юрский.

Водоносный комплекс юрских отложений. Отложения юры обнажаются вдоль юго-западных склонов Гиссарского хребта на абс. отм. 2000-3000 м, где зафиксированы в большом количестве источники. Песчано-сланцевая континентальная толща нижней и средней юры содержит незначительное количество воды. Известковая толща верхней юры более водообильная. Расходы источников достигают 990 л/с (Ходжа-Кайнар), 500 л/с (Дарай-Дара). Воды пресные, с минерализацией от 0,16 до 0,80 г/л, по составу гидрокарбонатно-кальциевые и гидрокарбонатно-сульфатно-кальциевые. Зафиксированы так же источники с минерализацией до 2,5 г/л. Это, нередко, высокодебитные восходящие источники хлоридно-сульфатно-карбонатного состава. Примером служит род. Ходжа-Ипак (Байсунский), расположенный в 28 км на северо-восток от с. Байсун, с дебитом 200 л/с. Минерализация воды – 2,2 г/л. Содержание сероводорода – до 24 мг/л.

Воды верхнеюрской соленосной толщи резко отличаются от вод других горизонтов. Источники в этих отложениях редки и приурочены к областям развития соленосных пород в районах Кугитанга, Куляба, Бабатага. Минерализация воды достигает 314 г/л, в составе преобладает хлорид натрия. Данные о водоносном комплексе в центральной части депрессии почти отсутствуют. На площади Андыген производилось опробование юрского водоносного комплекса. Абсолютная отметка пьезометрического уровня воды в скважинах колеблется в пределах 1511-1679 м, что свидетельствует о значительном напоре юрских вод на этом участке. Минерализация вод в пределах этой площади – 19,9-38,2 г/л, по составу хлоридно-кальциевые. Вскрытые скважинами воды юрского комплекса в пределах юго-западных отрогов Гиссарского хребта представляют крепкие хлоридно-кальциевые рассолы с минерализацией 179,2-320,2 г/л.

Нижнемеловой водоносный комплекс. Подземные воды опробованы в пределах Гиссарского прогиба и юго-западного борта депрессии (Етым-Таг). Минерализация вод – от 23,8-46,4 (Гиссарский прогиб) до 131,7 г/л (Етым-Таг), по составу хлоридно-кальциевые. В пределах Гиссарского прогиба (Андыген) из неокон-аптских песчаников получен незначительный приток пластовых вод, сопровождающийся незначительным газопроявлением. Абсолютная отметка приведенного напора в среднем 1292,5 м. Источники, связанные с нижнемеловыми отложениями, редки и малодебитны. Воды с повышенной минерализацией.

Сеноман-альбский водоносный комплекс (Л.А.Калабугин и др. называют его альб-сеноман-туронским, так как захватывает низы турона) в гидрогеологическом отношении изучен более широко. Минерализация ПВ альбского горизонта изменяется от 20,3-29,7 в пределах Гиссарского прогиба (Андыген, Комсомольская площадь) до 155,4 г/л (Хаудаг). Состав воды – от сульфатно-натриевого и хлоридно-магниевого на структурах Гиссарского прогиба до хлоридно-натриево-кальциевого на остальной площади. Подземные воды сеноманского горизонта имеют минерализацию от 29,2-44,1 (Гиссарский прогиб) до 244,7 г/л (Хаудаг). Состав воды соответственно меняется от хлоридно-магниевого и сульфатно-натриевого до хлоридно-натриево-кальциевого.

Воды нижних горизонтов турона представлены рассолами с минерализацией 215-240 г/л, по составу хлоридно-натриево-кальциевые. Наименее минерализованы рассолы в пределах структуры Хаудаг (160,6-188,5 г/л). К востоку и югу от Хаудага происходят увеличение минерализации и рост метаморфизации вод. Рассолы с высокой минерализацией получены на площади Уч-Кызыл. Средняя величина минерализации вод альб-сеноман-туронского водоносного комплекса достигает 287 мг/л (Уч-Кызыл), по составу хлоридно-натриево-кальциевые и сульфатно-натриевые.

Сенон-палеоценовый водоносный комплекс. Воды сенонского горизонта характеризуются хлоридно-натриево-кальциевыми рассолами с минерализацией до 94,4-175,4 г/л. Воды палеоценового и сенонского горизонтов однотипны, что объясняется отсутствием между ними надежного водоупора. Из палеоценового горизонта получены хлоридно-натриево-кальциевые воды с минерализацией 126-148,9 г/л. Менее минерализованы воды в южной части артезианского бассейна и в районе Гиссарского прогиба, где минерализация – 8-11 г/л. По многим структурам верхней части палеоценовых известняков выделяются от трех до пяти водоносных горизонтов, с которыми связаны залежи нефти и газа. Минерализация вод верхних горизонтов – до 38,4 г/л (Ляль-Микар), нижних – до 95,1-119 г/л.

Алайский водоносный комплекс залегает на мощной толще Сузакских глин и сверху перекрыт не менее мощной толщей Туркестанских глин, что обуславливает высокие напоры водоносного комплекса. Минерализация вод колеблется от 8-12 (Комсомольская структура) до 38,7 г/л (Македонская), в пределах Гиссарского прогиба они менее минерализованы. На юге происходит увеличение минерализации и метаморфизации вод. Состав хлоридно-натриево-кальциевый, сульфатно-хлоридно-натриево-кальциевый, хлоридно-натриевый. По мнению С.Талипова, основной область питания алайских вод служат горные сооружения северного обрамления, а областями разгрузки являются районы Сурханно-Мезаришерифской впадины, что подтверждается гидрохимическими данными.

Содержание лития в подземных водах

В пределах межгорного Сурхандарьинского артезианского бассейна опробованы подземные воды юрских, палеоценовых, алайских отложений. Воды отложений юры опробованы в поверхностных водотоках юго-западных отрогов Гиссара, залегают на глубине до 8000 м, минерализация вод – от 0,3 (род. Сайроб) до 6,1 г/л (род. Ширабад). Содержание лития в воде – от 0,02 до 0,13 мг/л. В центральной части

Бассейна отложения юры в настоящее время не вскрыты, но в юрском водоносном комплексе предполагается наличие высокоминерализованных вод с повышенными концентрациями микроэлементов.

Воды отложений мела опробованы на структурах Хаудаг и Актау. На структуре Хаудаг опробованы воды отложений сеномана, вскрытые на глубине 1507 м. В 1941 г. при вскрытии водоносного горизонта было отмечено водопроявление с избыточным напором на устье скважины (48-50 атм). Воду сопровождал горячий газ. Дебит воды составлял 60 м³/сут, температура – 420°С (Балашов, 1960). При обследовании скважины из отверстия в обсадной трубе выходила вода с расходом 0,05 л/с, в месте ее выхода образовалась соляная корка желтого цвета. Соль представлена преимущественно хлористым натрием – 96,79% (Балашов, 1960). Минерализация воды – 250 г/л. Вода кислая (рН – 5,2), по составу хлоридная натриевая. Содержание лития в воде – 50 мг/л, что выше кондиционного.

На структуре Актау опробованы воды отложений турона, выявленные на глубине 323 м. При вскрытии водоносного горизонта был отмечен самоизлив воды с избыточным давлением в 20 атм на устье скважины и дебитом 142 м³/сут. Коэффициент фильтрации в данном интервале опробования – 0,145 м³/сут. Минерализация воды – 238 г/л. Воды кислые (рН < 4), по составу хлоридные натриево-кальциевые. Концентрация лития в воде – 37,6 мг/л, что выше кондиционной. Таким образом, по данным опробования подземных вод отложений верхнего мела, отмечаются промышленные содержания лития на структурах Хаудаг и Актау (табл. 17).

Подземные воды отложений палеоцена опробованы на структурах Ляльмикар, Хаудаг, Кокайты, Учкизыл, Амударья. В отложениях палеоцена вскрыты воды с минерализацией по интервалам опробования от 9 (Амударья) до 139 г/л (Хаудаг), температурой от 24,5 (Амударья) до 420°С (Хаудаг). Воды от слабокислых до нейтральных (рН – 6,5-8,2), по составу хлоридные натриево-кальциевые и хлоридно-сульфатные натриево-кальциевые (Учкизыл). Содержание лития в воде по интервалам испытаний изменяется от 3,95 (Амударья) до 33,3 мг/л (Кокайты), концентрации, выше кондиционных, вскрыты на структурах Ляльмикар, Хаудаг, Кокайты.

Рассмотрим воды отложений палеоцена по структурам, где отмечены промышленные концентрации микрокомпонентов. На структуре Ляльмикар кровля известняков бухарского яруса в сводовой части вскрыта на глубине 900-1000 м, на небольшом удалении от оси глубина залегания кровли – 1100-1200 м. Средняя мощность отложений палеоцена порядка 250 м. При вскрытии водоносных горизонтов отмечалось избыточное давление до 20 атм над устьем скважины, а уровень воды устанавливался на глубине 3-6 м ниже поверхности земли. Дебиты воды по интервалам испытаний изменяются от 1,2 до 180 м³/сут. Величина пластового давления по интервалам испытаний изменяется от 79 до 120 атм. Пластовая температура воды – до 560°С. Среднее значение коэффициента фильтрации пород – 0,445 м/сут (Куликов, Калабугин, 1971). Воды отложений палеоцена на структуре Ляльмикар имеют минерализацию от 19,4 до 104,2 г/л, нейтральные и слабощелочные (рН – 6,9-8,4), хлоридные натриево-кальциевые. Содержание лития в воде – от 6,5 до 20 мг/л. Таким образом, в водах отложений палеоцена на структуре Ляльмикар отмечены промышленные концентрации лития.

Таблица 17

Содержание лития в подземных водах разведываемых и эксплуатируемых нефтегазовых месторождений
Сурхандарьинского артезианского бассейна

Номер на карте, номер пробы	Структура, водоупункт	Номер скважины	Глубина интервала опробования, м	Номер горизонта	Стратиграфический возраст (индекс) опробованных пород	Температура воды, °С		рН	Минерализация, г/л	Li, мг/л
						пластовая	на изливе			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
24/264	Кашгар	15	1014-1011 1003-992		Pg ₁ ^{al}		23,0	> 8,4	28	0,65
241/187		23	(1118-1100) 1085-1088	II	Pg ₁ ^{ah}		36	7,7	65	14,30
242/188		122	1085-1095	VI	Pg ₁ ^{ah}			7,1	85	17,00
243/184		79	1088-1099	V	Pg ₁ ^{ah}		41	7,3	101	20,0
244/60		135	1098-1102	II	Pg ₁ ^{ah}		32	7,4	62	10,50
245/280		135	1098-1102	II	Pg ₁ ^{ah}					15,15
246/61		129	1105-1102	V	Pg ₁ ^{ah}					6,50
247/185	Ляльмикар	37	1108-1097	III	Pg ₁ ^{ah}			6,9	70	14,20
248/186		78	1112-1109 (1123-1116)	IV	Pg ₁ ^{ah}			7,5	65	17,5
249/277		133	1109-1134	III	Pg ₁ ^{ah}		33	7,5	65	18,25
250/278		132	1110-1100	IV	Pg ₁ ^{ah}		35	7,1	65	14,05
251/279		113	1116-1123	V	Pg ₁ ^{ah}			7,4	5,5	11,65
252/62		134	1136-1132	II	Pg ₁ ^{ah}				39	10,50
253/170	Хаудаг	124	Гл. 1507		Cr ₂ ^{cm}			5,2	250	50,0
254/171	Хаудаг (из сливного бака)				Pg ₁ ^{ah}			6,5	139	28,1
255/188	Кокайты	25	1202-1216	II	Pg ₁ ^{ah}		42	7,1	113	32,4

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
256/182	Қокайты	20	1260-1258 1241-1235	I-II	Pg ₁ ^{ah}		39	7,1	108	32,1
257		58	1263-1258	III	Pg ₁ ^{ah}		38	6,9	121	33,3
258/176	Учкызыл				Pg ₁ ^{ah}		37	7,9	3,1	8,60
259/177		24	396			Pg ₁ ^{ah}		36	7,5	29
260/327	Ақтау	1	623 самоизлив		Cf ₂ ¹			4,0	238	37,00
261/178		29	1210-1200 1127-1110	I-III	Pg ₁ ^{ah}			6,9	18	4,30
262/325		19	1211-1205	II	Pg ₁ ^{ah}					4,65
263/324		25	1198-1188	II	Pg ₁ ^{ah}				9	9
264/326	Амударья	29	1127-1110	I	Pg ₁ ^{ah}		24,5	7,4	19	4,50
265/180		11	1235-1218	III	Pg ₁ ^{ah}			8,2	20	4,25
266/323		11	1232-1223	III	Pg ₁ ^{ah}					5,55
267/179		26	1236-1229	III	Pg ₁ ^{ah}			7,7	21	3,95
268/190	Род. в 10 км на восток от г. Байсуна	8		II	Pg ₃ -N ₁		17	8,2	8	0,57
269/167	Русло р. Ширабад (верховье Ширабаддарья)				J ₃		12	7,6	6,1	0,13
270/168	Род. в центре п. Сайроб				J ₃		9	7,6	0,3	0,02
272/189	Род. Ходжилпак Байсунский				J ₃		18	8,2	2	0,10

На структуре Хаудаг кровля известняков палеоцена в сводовой части антиклина-ли вскрывается на глубине ~ 150 м мощностью порядка 200 м. При вскрытии водонос-ных горизонтов отмечалось избыточное давление до 1,1 атм над устьем скважины, уровень воды устанавливался на глубине до 132,6 м ниже уровня земли. Дебиты воды по интервалам испытаний – до 856 м³/сут. Величина пластового давления – 19,9-22,96 атм. Пластовая температура воды – 270°С. Среднее значение коэффи-циента фильтрации пород – 0,303 м/сут.

На структуре Кокайты при вскрытии водоносных горизонтов палеоцена уровень устанавливался на глубинах от +65 до –95 м. Дебиты воды – 16-20 м³/сут. Пластовая температура воды – 38-42°С. Среднее значение коэффициента фильтрации по-род – 0,357 м/сут. Воды имеют минерализацию от 45,34 до 135,7 г/л, слабокислые и нейтральные (рН – 6,4-7,2), хлоридные натриево-кальциевые. Содержание лития в воде – 32,1-33,3 мг/л. Таким образом, в водах отложений палеоцена на структуре Кокайты отмечены промышленные концентрации лития (рис. 13).

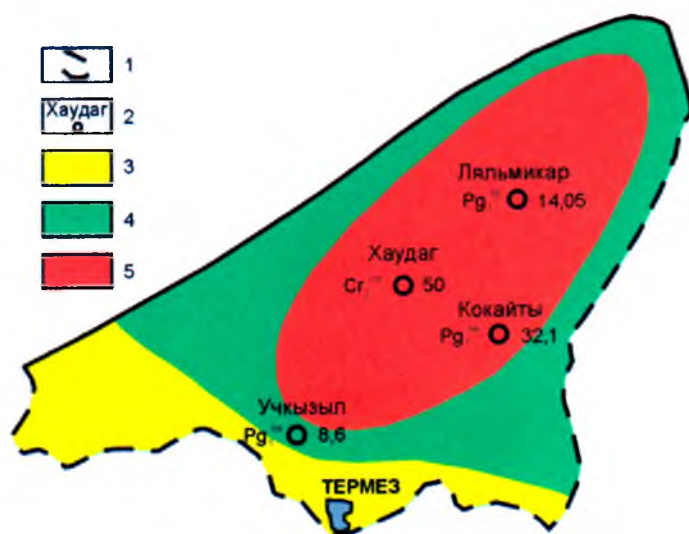


Рис. 13. Схема распространения лития в попутных водах палеоген-юрского водоносного комплекса Сурхандарьинского артезианского бассейна. 1 – государственная граница; 2 – структура Хаудаг; содержание лития в подземных водах, мг/л: 3 – до 10; 4 – от 10 до 20; 5 – от 20 до 60 и выше.

При проведении поисковых работ воды отложений алайского возраста были опробованы на структуре Коштар. Содержание лития в воде ниже кондиционного. На структуре Ляльмикар кровля отложений алайского возраста вскрыта на глубине 600-900 м. При вскрытии водоносного горизонта отмечалось избыточное давление до 27 атм над устьем скважины. Дебиты воды по интервалам испытаний изменяются от 6,3 до 3000 м³/сут. Величина пластового давления – 88-108 атм. Температура воды – 45-46°С. Коэффициент фильтрации водосодержащих пород – 1,065 м/сут. Воды отложений алая на структуре Ляльмикар имеют минерализацию от 18,02 до 38,85 г/л, нейтральные и слабощелочные (рН – 6,9-7,6), по составу хлоридно-сульфатные натриевые.

Исходя из вышеизложенного, по имеющимся химическим анализам, подземные воды Сурхандарьинского артезианского бассейна могут рассматриваться как перспективные на литий в пределах структур: альб-сеноман-туронский водоносный комплекс – Хаудаг, Актау; сенон-палеоценовый водоносный комплекс – Ляльмикар, Хаудаг, Кокайты (см. рис. 13).

Артезианский бассейн Плато Устюрт

На обширной территории плато Устюрт располагается Устюртская группа артезианских бассейнов.

Геологическое строение

В строении плато Устюрт участвуют мезо-кайнозойские, преимущественно, морские отложения мощностью до 3-50 км и более, перекрывающие складчатое основание – герцинский фундамент. Разрез мезо-кайнозоя представлен триасовыми, юрскими, меловыми, палеогеновыми и неогеновыми отложениями. Изучением геологии этого района в разное время занимались Н.И.Андрюсов (1905), К.К.Машрыков (1957), В.В.Мокрынский (1952), М.М.Чарыгин и Ю.М.Васильев (1963) и др.

Пермско-триасовые отложения характеризуются красноцветными песчано-глинистыми осадками мощностью до 2000 м в понижениях до полного выклинивания в Центрально-Устюртской системе поднятий. Юрские отложения сложены морскими мелко- и глубоководными и континентально-озерными, болотными и речными. На исследуемой территории юра включает все три отдела.

Нижнеюрские отложения с размывом залегают на пермско-триасовых и палеозойских и имеют ограниченное развитие. Литологически они представлены песчаниками, переходящими в гравийный конгломерат с прослоями серых глин, мощностью от 0 до 780 м. Среднеюрские отложения распространены более южнее, вскрыты на структурах Байтерек, Теренгкудук, Барсакельмес, Шахпахты, Хоскудук и др. Эти осадки характеризуются монотонной песчано-алевролитоглинистой толщей озерно-болотистого происхождения с максимальной вскрытой мощностью 570-670 м. Осадки верхнеюрского отдела широко распространены на плато Устюрт и сложены снизу глинами, алевролитами, песчаниками с редкими прослоями известняков; сверху – известняками, доломитами, ангидритами, глинами с прослоями песчаников. Минимальная мощность (129 м) наблюдается на Актумсукском выступе, а максимальная (443 м) – на структуре Шахпахты.

Меловые отложения широко распространены на плато Устюрт и включают все ярусы. Нижнемеловой отдел представлен континентальными и морскими отложениями неокома (чередование песков, песчаников, алевролитов) и сероцветными морскими осадками апта и альба (глины, алевролиты, пески и песчаники) общей мощностью до 1200 м. Верхнемеловые отложения характеризуются осадками всех ярусов. По литологическим признакам они делятся на два комплекса – нижний песчаный (сеноман-турон) и верхний карбонатный (сенон-дат) общей мощностью 600-750 м.

Сенонан-туронские отложения сложены разнозернистыми песчаниками с прослоями аргиллитоподобных глин и плотных алевролитов. Осадки сенон-дата резко отличаются от подстилающих и состоят из известковистых песчаников, мергелей, известняков.

Палеогеновые отложения налегают на размытую поверхность подстилающих пород, представлены двумя толщами – палеоцен-эоценовой (известняки, мергели, глины) и олигоценовой (глины с редкими прослоями известняков), развиты на участках прогибания. Так, в Барсакельмесском прогибе их мощность достигает 636 м, а в поднятых районах (Карабаир) они отсутствуют.

Неогеновые отложения развиты повсеместно и имеют выдержанную мощность, залегают с редким стратиграфическим несогласием на разновозрастных породах и характеризуются осадками тортонского и сарматского ярусов, сложенных преимущественно морскими карбонатно-терригенными осадками (пески, глины, мергели, известняки) мощностью 100-150 м.

Четвертичные отложения представлены рыхлыми континентальными накоплениями незначительной мощности.

В геоструктурном отношении на плате Устюрт четко выделяются две крупные синеклизы – Северо- и Южно-Устюртская, разделенные Центрально-Устюртской системой поднятий. По структурному положению они представляют артезианские бассейны второго порядка. Северо-Устюртская впадина отличается более полным стратиграфическим разрезом и увеличенной мощностью осадочного чехла. В ее пределах выделяются Барсакельмесский, Косбулакский, Самский и Судочий прогибы, разделенные Аламбекским, Теренгкудукским, Кассарминским поднятиями. Южно-Устюртская впадина – структура с глубиной залегания палеозоя 3000 м, в ее восточной части выделяется Ассакеаудан-Сарыкамышский прогиб.

В формировании современного структурного плана большую роль сыграли разломы, преимущественно, двух направлений – субмеридионального и субширотного, причем последнее направление доминирующее. Большинство из них проявилось в палеозойском фундаменте с затуханием в пермско-триасовое и юрское время, но некоторые продолжали обновляться в меловое, палеогеновое и неогеновое. Особенностью глубинных разломов исследуемого региона является их падение в сторону погружения фундамента, что способствовало образованию обширных прогибов и горстообразных зон поднятий.

Гидрогеологические условия

В пределах Северо- и Южно-Устюртских артезианских бассейнов выделяются водоносные комплексы в четвертичных, неогеновых, меловых, юрских и пермско-триасовых отложениях. Подземные воды меловых, юрских и пермско-триасовых образований обладают, как правило, высокими напорами и минерализацией и вскрываются скважинами на значительной глубине.

Водоносный комплекс пермско-триасовых отложений вскрыт на Устюрте лишь глубокими параметрическими скважинами на отдельных участках положительных структур, отложения комплекса – глубокими нефтеразведочными скважинами на структурах Теренгкудук, Байтерек и Шахпахты на глубине 2000-2500 м. Пьезометрический уро-

вень вод на Теренгкудуке (скв. 2) устанавливается на глубине 140 м ниже поверхности земли (интервал опробования 2401-2420 м). Приток воды при опробовании – 0,2 л/с. Общая минерализация ПВ – 103 г/л. Опробование пермско-триасовых отложений на структуре Шахпахты на разных интервалах показало различные водопритоки в скважину, характеризующиеся величинами 0,65 и 0,02 л/с, при этом минерализация вод – 150 и 93 г/л. Таким образом, подземные воды пермско-триасовых образований, как и юрских, – высокоминерализованные хлоридно-натриево-кальциевые рассолы. В ионно-солевом составе содержание хлора достигает 99 экв.%. Среди катионов натрия – 74-76 экв. %, кальция – 20-22 экв. %.

Водоносный комплекс юрских отложений приурочен к толще переслаивающихся глин, песчаников и алевролитов, залегающих на большой глубине, и даже на положительных структурах глубина их вскрытия достигает 1000-1500 м и более. Воды комплекса напорные, пьезометрические уровни устанавливаются на глубинах от 120 (Шахпахты) до 218 м (Кокбахты). Минерализация вод юрского комплекса изменяется от 36 (Кокбахты) до 203 г/л (Ассакеаудан). Воды – рассолы, типичные хлоридно-натриевые с повышенным содержанием кальция. При анализе пластовых давлений по ниже- и среднеюрскому горизонтам Э.Кудашевым установлено наличие максимальных давлений в наиболее погруженных частях впадин. С увеличением глубины залегания наблюдается рост приведенных давлений. На Аламбекской структуре, где среднеюрские отложения залегают на низших отметках, зафиксировано наибольшее приведенное давление – 301,2 *ата* и аномальное – 350-360 *ата*.

На приподнятых участках территории Устюрта давления обычно имеют меньшие значения. Карабаурский вал по значениям приведенных давлений ? в среднеюрском горизонте представляет зону пьезометрического минимума, приуроченную к разломам по северному и южному крыльям. Пьезометрические минимумы для среднеюрского горизонта так же приурочены к разломам в районе Теренгкудукского вала и Шахпахтинской ступени. Распределение приведенных давлений по верхнеюрскому горизонту указывает на относительную близость давлений на различных структурах. Зоны пьезометрических минимумов приурочены к зонам разломов на Теренгкудукском валу, Шахпахтинской ступени, южном крыле Кокбахтинской структуры и северном крыле Хоскудукского вала. Зоны максимальных давлений верхнеюрского горизонта находятся в наиболее погруженных его частях.

Водоносный комплекс нижнемеловых отложений приурочен к красноцветным полимиктовым песчаникам, местами, к мелкогалечным конгломератам. Мощность отложений нижнего мела изменяется от 300 м на Центрально-Устюртском поднятии до 900-1200 м в прогибах. Залегают они на незначительной глубине, водообильность пород невысокая. Дебиты скважин – 0,3-0,4 л/с при понижении 6-10 м. Коэффициенты фильтрации изменяются от 0,8 до 1,2 м/сут. Воды нижнего мела относятся к рассолам хлоридно-натриево-кальциевого состава с минерализацией от 26,9 (Кок-Бахты) до 196 г/л (Аламбек). Пьезометрические уровни на участках структурных поднятий устанавливаются на глубине 180-200 м. Для нижнемелового комплекса, как и юрского, перепады давлений между структурами незначительны. В погруженных структурах наблюдается повышение давлений (Аламбек 223,8 *ата*), что свойственно седиментационным этапам развития водонапорных систем.

Водоносный комплекс верхнемеловых отложений. Отложения верхнего мела распространены широко. По литологическому составу выделяются две толщи: верхняя – карбонатная – относится к сенону, нижняя – терригенная – к сеноман-турону. Сенонские отложения характеризуются постоянством литологического состава и представлены мергелями с незначительными, маломощными прослоями глинистых песчаников и практически представляют совместно с глинистой толщей палеогена водоупор. Сеноман-туронские отложения сложены в нижней части разреза глинами и алевролитами с прослоями песчаников и песков, в верхней – кварцево-глауконитовыми песками с незначительными пропластками глин и песчаников. Глубина залегания их кровли определяется структурным положением разреза. В сводовых частях положительных структур она вскрывается на глубине 80-120 м, на крыльях – 600-700 м. При этом мощность отложений увеличивается от 20-80 до 400-500 м, а мощность водосодержащих – от 10-20 в сводовых частях структур до 200-250 м в тектонических прогибах.

Водообильность сеноман-туронских отложений невысокая. Расходы скважин при снижении уровня на 20-40 м составляют 0,5-20 л/с. Коэффициенты фильтрации изменяются от 0,8-1 до 3-4 м/сут. Исключением являются зоны разломов (впадина Шахпахты), где расходы скважин – 40-50 л/с. Минерализация ПВ комплекса изменяется в широких пределах (от 5-10 до 70-130 г/л), но для большей части района составляет 10-12 г/л. Наибольшую минерализацию имеют воды в пределах Барсакельмесской впадины. По мере приближения к Центрально-Устюртскому валу степень их минерализации резко снижается до 10-12 г/л. По химическому составу ПВ хлоридно-сульфатные натриевые и хлоридно-натриевые.

Подземные воды четвертичных и неогеновых отложений имеют грунтовый характер, находятся в тесной связи с атмосферной влагой и не представляют интереса как промышленные редкометалльные воды. В связи с этим описание водоносных комплексов этих отложений опускается.

Содержание лития в подземных водах

В пределах плато Устюрт на редкие элементы опробованы подземные воды юрского водоносного комплекса на структурах Чурук, Куаныш, Каракудук, Кунград, Южный Тасаюк, Шахпахты, Восточный Ассакеаудан и Николаевская и пермско-триасового – на структуре Южный Тасаюк, а также соли щора Барсакельмес и оз. Караумбет.

Пермско-триасовый водоносный комплекс опробован в скв. 2 на структуре Южный Тасаюк в интервале 2387-2408 и 2304-2373 м. Высокоминерализованный рассол хлоридно-натриево-кальциевого состава включает литий ~ 10 мг/л.

Прежде чем приступить к описанию распределения редких элементов в водах опробованных структур юрского водоносного комплекса, сразу отметим, что германий в водах практически не обнаруживается.

Содержание лития в подземных водах юрского водоносного комплекса характеризуется наиболее стабильными содержаниями (мг/л), как правило, удовлетворяющими кондиционные требования (Чурук – 10-15, Южный Тасаюк – 80-13, Шахпахты – 12-14), а в ряде случаев превышающими их в два, три и даже пять раз (Куаныш – 38-54, Каракудук – 32, Кунград – 18, Восточный Ассакеаудан – 3-20, Николаевская – 26) (табл. 18).

Таблица 18

Содержание лития в подземных водах разведываемых и эксплуатируемых нефтегазовых месторождений артезианских бассейнов плато Устюрт

Номер на карте, номер пробы	Структура, водоупункт	Номер скважины	Глубина интервала опробования, м	Номер горизонта	Стратиграфический возраст (индекс) опробованных пород	Температура воды, °С		рН	Минерализация, г/л	Li, мг/л
						платовая	на изливе			
1	2	3	4	5	6	7	8	19	10	11
273		3	2839-2812		J ₁₋₂	105,5 ⁰	21 ⁰		141	14,80
274/298		3	2927-2914 2902-2892	IV	J ₁₋₂	103 ⁰	27	5,7	130	14,00
275/299	Чурук	3	2942-2936		J ₁₋₂	95	34	6,9	110	9,32
276/297		3	3076-3065 3036-3024		J ₁₋₂	99	25,5	4	126	0,10
277/300		2	2937-2924		J ₂	117,5	31	5,4	149	38,6
278/301		2	2982-2947		J ₂	115	29	6,4	155	43,20
279/302		2	3172-3133		J ₂	130 ⁰	27	7,0	125	34,60
280/304	Уканыш	9	3216-3280		J ₂	133,5 ⁰	27			54,00
281/141		9	Отобрана с гл. 2500		J ₂		27			53,70
282/303		4	3454-3434		J ₁	128	35	6,3	159	51,20
283/316	Каракудук	1	3722-3650							32,40
284/96	Кунград	1	3000-2500		J			6,6	115	18,30
285/309		2	1822-1802 1798-1794		J ₃	72,5 ⁰	22			9,90
286/308		2	2216-2196		J ₂	88 ⁰	22			8,0
287/307	Южный Тасюк	2	2293-2283		J ₂	91,3	28	> 8,2	174	13,20
288/305		2	2342-2355		J ₁	95,0	27,0	7,1	162	0,17
289/306		2	2387-2408 2364-2373		P+T	95,7	26,5			9,35
290/342		7	1890-1866					5,0	189	14,20
291/343	Шахпакты	7	1890-1866					5,0	189	14,20
292/344		9	1905-1897					6,5	164	12,60
293/351	Восточный Ассакеаудан	3	1780-1756 1730-1724		J ₃	80	13	5,8	174	20,00

Закономерности распространения и условия формирования
подземных промышленных литиевых вод Узбекистана

Продолжение табл. 18

1	2	3	4	5	6	7	8	19	10	11
294/134	Восточный Ассакеаудан	1	Самоизлив		J ₂	48,07				3,00
295/268	Николаевская	3	3560-3543		J _{1,2}	132	20	5,6	161	26,6
296/148	Оз. Ащиккуль				Q			7,9	12	0,62
361/385	Райцентр Сукетти		Самоизлив		Cr ₂		20	7,8	1,37	0,09
362/386	Месторождение Мурунтау		130		S			7,4	37	0,27
363/387	Месторождение Мурунтау, шахта 5		184		S			7,4	3,1	0,27
67	Аччалак	16	3148-3128		J ₁	124,5	+16	8,5	101,4	190,00
		15	3264-3240			145	21	3,4	164,1	25,00
68	Чингиз	1	3348-3364		J ₁	131,0	38	10,2	92,0	240,00
69		1	3330-3285		J ₁	100	44	7,2	154,0	306,00
	Тахтакаир I	1	2788-2774		J ₂	128,3	38,5	4,4	45,0	2,42
	Насамбек I	1	4123-4103		PZ	181	26	6,7	77,2	16,00
		15	2764-2754			127,5	46	9,2	150,1	27,50
74		16	2385-2373		J ₃	108,6	28	6,8	9,84	130,00
75	Аччалак	16	2499-2491		J ₃	117	26	7,8	143,3	142,6
76		17	2805-2825		J ₂	120	38	7,2	128,9	240,80
78		18	3276-3296		J ₁	147,0	17	6,3	160,0	0,075
79		10	3283-3260		J ₁	141	45	4,8	177,7	7,50
80		10	3230-3205		J ₁	150	47	4,9	182,4	27,50
81	Западный Барсакельмес	10	3162-3193		J ₁	150	54	4,9	176,1	30,00
82		1)	3098-3110 3072-3083		J ₁	150	35	4,5	182,2	27,50
83		1)	3098-3110 3072-3083		J ₁	150	35	4,5	174,5	27,50
84	Аччалак	1	2700-2690		J ₂	121	21	4,6	178,0	30,00
85	Западный Барсакельмес	10	2822-2832 2804-2814		J ₂	117	43	4,5	186,2	15,00
86		10	2732-2744		J ₂	150	45	4,4	184,4	45,00
87	Аччалак	18	3260-3273		J ₁	146,2	43		162,3	35,00

1	2	3	4	5	6	7	8	19	10	11
	Чинк	1	3218-3248		J ₁	145,0	26		181,4	44,62
	Кырккыя	1	3100-3082		J ₂	139	37		169,0	40,37
		1	2835-2815		J ₂	130,0	20		307,8	45,00
91		Чинк	1	3085-3108		J ₂	140	24		184,3
	Кырккыз	1	2790-2750		J ₂	130	28		110,0	25,00
93	Акчалак	18	3250-3220 3192-3273		J ₁	144,0	37		1,597	45,00
94	Кырккыз	1	2706-2688		J ₂	125,2	40		241,1	42,50
95	Акчалак	18	2892-2870		J ₂	132,0	33		149,5	50,00
96	Кырккыз	1	2330-2320		J ₃	111,5	32		110,9	20,00
97	Акчалак	18	2708-2688		J ₂	125,2	39	6,6	69,2	11,70
98		1	2976-2960		J ₂	135,2	29	5,3	146,8	36,80
99		1	2848-2862		J ₂	131,0	28	5,6	238,5	45,00
	Чинк	2	3727-3750		P+T	154	27	7,0	5,7	26,00
		1	3332-3350		J ₁	138,5	12	3,9	140,1	20,00
	Восточный Жаслык	1	3150-3170		J ₂	143	13	8,3	170,0	15,00
			1	3150-3170		J ₂	143	13	8,4	162,0
105	Башчук	1	3090-3110		J ₂	114	23	8,9	106,4	
	Арал	2	3910-3935		J ₁	170,3	20	7,9	160,3	
	Северный Коскала	1	2844-2825		J ₂	129	30	6,8	94,3	
	Урга	4	4190-4197		J ₁	180,3	4	5,0	168,1	
	Чибели	3	3135-3105		J ₁			6,8	113,0	15,00
	Западный Барсакельмес	9	3112-3126		J ₁			7,0	56,4	6,50
	Акчалак	6	3201-3170		J ₁			6,0	12,6	1,62
			2860-2844		J ₂			5,9	113,0	20,00
			2756-2742		J ₂			6,0	107,0	20,15
	Коскала	1	2859-2847		J ₁			8,4	17,4	1,82
	Чибели	3	2635-2658		J ₂			9,3	27,8	13,75
			2810-2832		J ₂			7,0	131,5	0,80
	Акчалак	6	3218-3233		J ₁			5,3	73,6	0,75
			3258-3214		J ₁			7,3	159,4	0,33

1	2	3	4	5	6	7	8	19	10	11
	Акчалак		3258-3214		J ₁			7,6	26,87	0,03
			2872-2842		J ₂			7,6	34,0	3,50
9			2754-2772		J ₂			6,8	31,8	3,50
			2652-2632		J ₂			6,2	117,2	11,50
1	Тахтакаир		2788-2774		J ₁			4,4	45,0	2,42
			2760-2788		J ₂			5,8	92,2	6,31
			2560-2546		J ₃			6,6	56,8	2,47
10	Акчалак		2850-2826		J ₂			6,4	121,3	20,0
			2850-2826		J ₂			5,6	118,0	20,10
1	Насамбек		4123-4103		PZ			6,0	101,6	16,00
			4123-4103		PZ			6,7	17,2	11,25
			4123-4103		PZ			6,8	17,3	9,37
10	Акчалак		3230-3212		J ₁			6,2	153,1	22,50
1	Насамбек		3898-3883		PZ			3,6	128,7	18,75
1			3858-3848		PZ			4,2	145,1	
1			3850-3848		PZ			4,3	155,2	
10	Акчалак		2638-2664		J ₂			4,2	163,2	
1			3728-3741		PZ			5,2	152,6	
			3246-3269		J ₂			6,3	155,5	
	Насамбек		3246-3269		J ₁			5,4	137,5	
			3156-3148		J ₃			2,4	155,4	
			2975-2955		J ₂			5,7	149,4	
			2872-2851		J ₃			3,8	142,5	
			2642-2656		J ₂			6,6	147,9	
11	Акчалак									
1	Северный Караумбет		2655-		J ₂			7,0	69,8	
3	Чибели		3231-3270		J ₁			7,1	158,2	
8	Западный Барсакельмес		2625		J ₂			3,2	80,5	
8			3220		J ₁			3,2	141,4	
1	Южный Куаныш		3390-3374		J ₂			3,2	151,0	
11	Акчалак		2400-2420		J ₁			3,2	110,2	

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
	Южный Куаныш	1	3190-3167		J ₁			5,8	65,0	
	Южный Куаныш	1	2723-2747		J ₂			6,2	54,7	
	Акчалак	13	2963-2950		J ₁			5,8	57,3	
		12	3193-3192		PZ			5,1	78,9	
		14	3292-3261		PZ			2,4	201,9	
			3196-3182		J ₁			9,0	73,2	
			3196-3186		J ₁			5,8	38,6	
		12	3126-3112		J ₁			10,2	97,4	
		13	3115-3104		J ₂			7,2	88,4	
			2824-2815		J ₂			11,0	77,6	
		14			J ₁			9,4	165,8	
		13	2696-2707		J ₂			3,7	107,0	
		14	2824-2815		J ₁			6,4	82,1	
		12	2637-2626		J ₃			4,8	113,2	
		14	2866-2872		J ₂			7,0	133,1	
		15	3264-3240		J ₁			3,4	164,1	
		12	2520-2530		J ₂			3,6	106,6	
		13	2595-2605		J ₃			3,6	121,4	
		14	2813-2792		J ₂			9,6	116,0	
		15	3211-3189		J ₁			5,2	171,2	
			2884-2865		J ₂			8,4	114,9	
		14	3093		J ₁			4,0	128,8	
			2675		J ₂			7,0	168,3	
		15	3126-3112		J ₁			3,8	111,2	
			3109-3093		J ₂			9,2	150,1	
		15	2764-2754		J ₂			8,4	146,9	
			3708-2697		J ₂			6,0	103	
		4	2822-2837		J ₂			6,3	144	
	Западный Барсакельмес		3158-3178		J ₁			<4,0	182	
		2	3180-3200		J ₂			<4,0	165	
	Акчалак		3310-3304		PZ					

По теоретическим предпосылкам высокие концентрации редких щелочных элементов в грунтовых водах могут быть обнаружены в местах разгрузки глубоких водоносных горизонтов на дневную поверхность при одновременном интенсивном проявлении процессов испарительной концентрации. Возможно, такими участками являются впадины Барсакельмес, Сарыкамыш, оз. Караумбет и др. Несмотря на то, что гипотеза о питании этих впадин за счет разгрузки подземных глубоких водоносных горизонтов снизу является маловероятной, нами в процессе поисково-ревизионных работ опробованы соли шора Барсакельмес и оз. Караумбет.

Шор Барсакельмес занимает огромную площадь (около 1000 км²) и расположен в Барсакельмесской впадине. Его поверхность абсолютно ровная и сложена мощным слоем соли, достигающим, по данным «Химгеолнеруд», 50 м. В северной, средней и южной частях солончака, в 500 м от кромки соляного пласта, отобраны пробы солей с поверхности и глубины 30 и 40 см. Их анализ пламенно-фотометрическим методом показал валовое содержание Li₂O, Rb₂O, Cs₂O, их содержание в водорастворимом и нерастворимом осадках меньше чувствительности анализа (т. е. менее 0,0002%).

Озеро Караумбет расположено в 50 км на запад от г. Кунграда и занимает площадь (около 1000x500 м). С севера и юга оно ограничено восточными чинками Устюрта. К моменту опробования озеро с поверхности было сухое, однако грунт оставался влажным. Поверхность его дна ровная и представлена мелкоземистым материалом мощностью до 4 см с соляной корочкой 0,3 мм. Ниже мелкоземистого материала залегает соляной горизонт мощностью 7 см, под которым находится слой черной жидкой грязи толщиной 5 см. Все это подстилается коричневой очень вязкой глиной мощностью более 1,4 м. С глубины 10 см из горизонта солей отобрана проба соли и проанализирована на тот же комплекс элементов, что и соли шора Барсакельмес. Результаты анализов показали, что в солях в заметных количествах содержится литий (Li₂O валовый – 0,0014%, водно-растворимый – 0,0008%, в нерастворенном осадке – 0,0007%).

Озеро Караумбет и шор Барсакельмес являются участками испарительного барьера. Однако процессы испарительной концентрации, приведшие к образованию мощных соляных пластов на Барсакельмесе и незначительных на Караумбете, не способствовали накоплению редких щелочных элементов в промышленном масштабе, что, очевидно, связано с низкими концентрациями этих элементов в исходном растворе. Это обстоятельство лишний раз подтверждает мнение многих исследователей об отсутствии разгрузки глубоких водоносных горизонтов на данных участках. Происхождение солей связано в основном с испарением поверхностных вод.

Таким образом, по анализу имеющихся данных подземные воды юрского водоносного комплекса плато Устюрт могут рассматриваться как перспективные на литий на месторождениях Чурук, Куаныш, Каракудук, Южный Тасаюк, Шапахты, Восточный Ассакеаудан, Николаевская, Кунград (рис. 14).

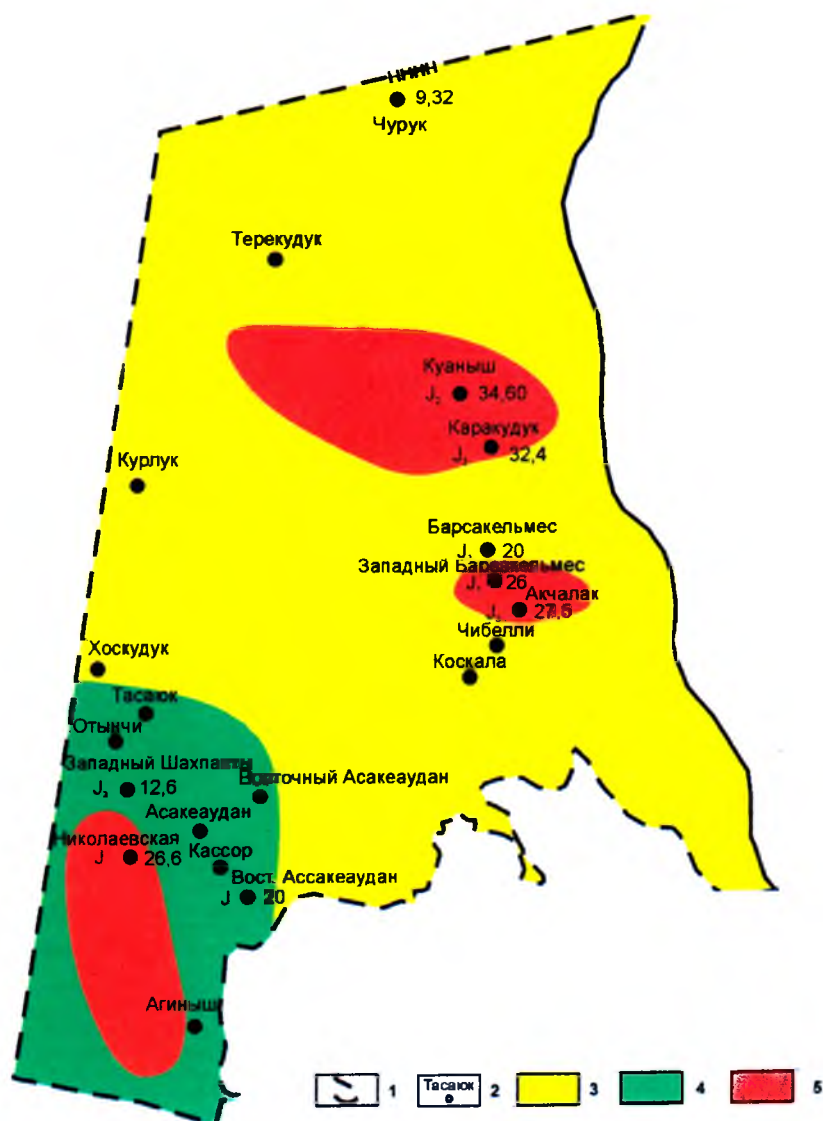


Рис. 14. Схема распространения лития в попутных водах мелового водоносного комплекса плато Уstyurt. 1 – государственная граница; 2 – структура: содержание лития в подземных водах, мг/л: 3 – до 10; 4 – от 10 до 20; 5 – от 20 до 60 и выше.

Глава IV. УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ЛИТИЙСОДЕРЖАЩИХ ВОД

Анализу условий формирования промышленных редкометалльных вод посвящены работы Л.С.Балашова, С.Р.Крайнова, Г.А.Голевой, А.С.Хасанова, Л.А.Калабугина, Л.Г.Борзасековой, Е.В.Пинекера, М.С.Галицына, М.Г.Валяшко, И.К.Зайцева, Н.И.Толстихина, Л.М.Лебедева, В.И.Смирнова, Г.К.Павленко, А.Б.Воронова, А.В.Кудельского, Д.И.Павлова, Г.И.Арсановой и др. Однако, для Бухаро-Каршинского артезианского бассейна (БКАБ) условия формирования промышленных редкометалльных вод оставались до конца невыясненными. Поэтому при их изучении на исследуемой территории необходимо определить влияние палеогеографии, геолого-структурных особенностей, гидродинамических, гидрогеотермических, гидрогеохимических, палеогидрогеологических и генетических зон напряженности водонапорной системы на концентрирование в них лития. Особое внимание при этом уделяется цикличности и круговороту накопления редких щелочных элементов.

Формирование промышленных редкометалльных вод – сложный естественно-исторический процесс. Накопление редких элементов и их количественное и качественное распределение – результат процессов, протекающих не только в настоящее время, но, в известной степени, отражает длительную геолого-гидрогеологическую историю развития территории, начиная со времени образования водовмещающих пород. Поэтому для выявления условий формирования, в первую очередь, необходимо рассмотреть палеогеографию исследуемого и сопредельных ему районов. Палеогеографические условия территории приводятся по данным Г.Х.Дикенштейна (1964-1969), А.Г.Бабаева (1966), В.И.Троицкого (1971), А.С.Хасанова, Н.А.Филипповского, С.Е.Казорез (1971), Л.Г.Борзасековой (1972) и других исследователей. Карты, характеризующие палеогеографическую обстановку в конце периода образования геологической формации, показывают расположение областей сноса, суши, моря, лагуны или солеродного бассейна, а также площадей распространения водоносных горизонтов, отличающихся по характеру исходных вод, и территорий возможного формирования и сохранения рассолоносных горизонтов, содержащих литий в данном периоде.

Гидрогеологическая история рассматривается со времени появления осадочно-го чехла и первых водоносных горизонтов, формирующихся в новообразовавшихся осадках. Имеющиеся достаточно достоверные сведения по условиям наиболее древнего осадконакопления датируются триасом, когда формировалась нижняя молассовая формация. Вся территория южной части Туранской плиты в триасовое время представляла сушу, подвергавшуюся денудации в условиях жаркого климата. Терригенный материал сносился в пониженные участки. К концу триаса длительная денудация привела к значительному выравниванию рельефа и образованию всхолмленной равнины, над которой возвышались отдельные палеозойские структуры Кызылкумов, Приаралья, Центральных Каракумов.

Инфильтрационные воды атмосферных осадков накапливались в отложениях молассовой формации, образуя первые водоносные горизонты, а в районах, служивших областями сноса (свод Центрально-Каракумского поднятия, Кызылкумы, Бухарская ступень), могли существовать только локальные скопления вод в зонах трещиноватости.

К началу юры вся территория представляла сушу. В условиях теплого влажного климата большое распространение получили заболоченные равнины, где формировались боксито- и угленосные осадки нижней юры, содержащие инфильтрационные воды невысокой минерализации. Площади, оставшиеся в нижнеюрское время областями сноса (Зеаглы-Дарвазинское поднятие, Бухарская ступень, Кызылкумы), по-прежнему характеризовались отсутствием водоносных горизонтов площадного распространения.

В среднеюрское время рельеф выровнялся, и бассейн осадконакопления расширился. Большая часть территории представляла низменную равнину с озерами, болотами, реками, которая временами затапливалась морем. Почти повсеместно, за исключением отдельных островов, накапливались в основном континентальные угленосные отложения. Для Бухарской ступени это было время образования первых водоносных горизонтов. Надо полагать, что при гумидном климате в рыхлых терригенных отложениях угленосной формации формировались водообильные горизонты, содержащие слабоминерализованную воду инфильтрационного генезиса.

Во второй половине средней юры усилилось погружение территории, началась трансгрессия моря, которая интенсивно расширялась, и к концу средней юры уже большая часть территории была покрыта мелководным морем нормальной солености. Характеризуя гидрогеологическую обстановку, существовавшую в конце средней юры, можно отметить следующее. Осадочный чехол, сложенный отложениями триаса, нижней и средней юры, содержал обильные водоносные горизонты со свободной единой поверхностью. Приустюртский, Прикызылкумский и Центрально-Кызылкумский районы на протяжении всего периода находились в условиях суши, а их наиболее возвышенные участки служили областью сноса и инфильтрации атмосферных осадков. Водоносные горизонты здесь были заполнены водами инфильтрационного генезиса. На остальной территории подземные воды имели смешанное происхождение, поскольку происходило взаимопроникновение морских вод, захваченных в процессе осадконакопления при среднеюрских трансгрессиях моря, и инфильтрационных вод, накапливающихся в континентальных отложениях. Судя по общей физико-географической обстановке того периода (влажный климат, обилие растительности), литолого-фациальному составу отложившихся осадков (отсутствие отложений повышенной солености) и составу исходных вод (воды атмосферных осадков пресноводных водоемов и морские воды нормальной солености), на большей части территории региона благоприятных условий для формирования рассольных горизонтов не было.

В начале верхней юры морская трансгрессия достигла максимума, почти повсеместно установились морские условия осадконакопления. Лишь на севере (Центрально-Устюртский район) и на востоке (Кызылкумы) осталась суша. Характер осадконакопления на преобладающей части территории изменился: начала формироваться карбонатная формация келловей-оксфорда. Только в северных областях продолжали накапливаться песчано-глинистые отложения. В оксфорде стали замет-

ны восходящие движения, приводящие к обмелению моря. Особенно результативно они сказались на севере региона. Усиливающаяся арилизация климата вызвала здесь превращение отчленившегося обмелевшего моря в лагуну, в которой отлагались соли. К концу оксфорда горизонты нижней и средней юры повсеместно были погребены под толщей отложений и вновь сформированными водосодержащими отложениями. На территории, где образовалась карбонатная формация келловей-оксфорда, исходными для последних послужили воды нормальной солености. На юго-востоке (Предгиссарский район и часть Мургабского района) в оксфорде море имело повышенную соленость. Здесь, видимо, захоранивались воды с минерализацией 50-80 г/л.

Конец юрского периода характеризовался коренным изменением условий осадконакопления на всей территории Средней Азии, что было связано с позднекимерийскими движениями и общим воздыманием земной поверхности. Палеогеографическая обстановка региона резко изменилась на рубеже оксфорда и кимериджа.

Сохранившийся морской бассейн в условиях сухого жаркого климата начал постепенно осолоняться, затем стал лагунным, а на значительной территории и солеродным. При анализе отложений верхней юры наблюдается постепенная смена (снизу вверх) карбонатных сульфатными, галогенными и красноцветными. Это объясняется постепенным осушением бассейна, связанным с общим воздыманием территории, а также с жарким климатом конца юрского периода. Бассейн не был полностью отшнурованной лагуной, а являлся эпиконтинентальным, имевшим связь с Тетисом, откуда поступала вода. Без этого не могла образоваться столь мощная толща хемогенно-соленосных отложений. В центральной, наиболее мобильной, части бассейна, охватывающей значительные площади Предгиссарского, Приамударьинского, Заунгузского, Мургабского районов, формировалась мощная толща осадков от карбонатно-сульфатных до калийно-магнезиальных. Здесь располагалась солеродная часть бассейна, рапа которой, судя по осадкам, имела минерализацию более 330 г/л. На периферии бассейна мощности образовавшихся осадков значительно меньше и состав в основном карбонатно-сульфатный, так как концентрация солей в воде не достигла галитовой стадии. К концу титона бассейн стал менее соленым, и началось обильное поступление терригенного материала.

Юрский этап развития был важен в гидрогеологической истории региона, так как положил начало формированию основных черт современного гидрохимического разреза. Минерализация захораниваемых рассолов определялась крепостью рапы бассейна осадконакопления. Максимальную крепость (более 300 г/л) исходных рассолов имели отложения солеродной части лагуны. На ее периферии захоранивались в основном рассолы с минерализацией ~200-250 г/л. Они не только погребались в ходе седиментации осадков, но и фильтровались в подстилающие отложения. Это могло происходить до того, как сформировалась мощная толща подошвенных ангидритов (Панченко, 1965). Механизм перемещения рассолов из верхних горизонтов в нижние хорошо показан Н.К.Гириным (1958) и М.Г.Валяшко (1963).

Начало нижнемелового времени знаменовалось формированием красноцветного комплекса терригенных пород неоккомского возраста. Эта красноцветная или моласовая формация туранского типа имеет сложное строение, изменяющееся по территории региона. В северо-западных и центральных районах она начинается отложени-

ями мелководного моря, затем сменяется чередованием континентальных и морских осадков. Как видим, для неокома характерно более или менее длительное существование континентальных условий осадконакопления на большей части территории. К концу неокома произошло ее постепенное погружение под уровень моря, и в барреме, в условиях суши, оставалась только полоса, оконтуривающая Каракумский бассейн с севера (Центральный Устюрт – Султанувайс), востока (Кызылкумы, Нуратау, Зарафшан) и частично с юга (Кушкинская зона).

В гидрогеологической истории неокомский период развития рассматривается как время формирования на большей части территории слабых рассолов. Последние служили исходными водами для вновь образующихся горизонтов на суше, поскольку в условиях аридного климата среди грунтовых вод широко распространены рассолы континентального засоления, и море, так как, судя по осадкам, море было мелководным, с повышенной соленостью и часто превращалось в лагуну. Рассолоносных горизонтов, наверное, не было только в окраинных частях бассейна, служивших областями сноса и инфильтрации атмосферных вод.

Начавшаяся в конце неокома трансгрессия моря в апте захватила почти всю территорию, не считая узкой полосы вдоль восточного борта (Кызылкумы, Каратау). Морские условия существовали непрерывно по маастрихт включительно на протяжении более 60 млн. лет. При этом бассейн морского осадконакопления прогрессивно увеличивался. Максимум трансгрессии приходится на сенон. За меловой период накопилась мощная толща морских отложений. Поскольку осадконакопление происходило на фоне непрерывных движений, это привело к сложному строению мелового разреза литологической изменчивости пород по площади.

Меловой этап гидрогеологической истории был наиболее длительным из периодов, когда формировались водоносные горизонты, исходными для них являлись воды моря нормальной солености. Ни до этого времени, ни после него не было в истории развития бассейна такого момента, чтобы на такой обширной территории были захвачены в процессе осадконакопления такие массы морской воды. Сформированная толща морских отложений надежно перекрывала в конце сенона юрские и неокомские рассолосодержащие горизонты, способствуя их сохранению. На границе мела и палеогена (дат-палеоцен) усилились восходящие движения, что привело к сокращению площади морского осадконакопления.

В неогене произошли значительные изменения в сложившейся ранее гидрохимической обстановке на территории, ставшей орогенической областью. Горизонты палеогена, мела и юры, содержащие седиментационные воды, в результате складкообразовательных и денудационных процессов были выведены на дневную поверхность и подвергались промыву инфильтрационными водами. Характерным примером являются события неогена в Предгиссарском районе. В домиоценовое время этот район входил в состав эпигерцинской платформы: хемогенно-соленосная толща кимеридж-титона спокойно залегала под толщей меловых и палеогеновых пород мощностью менее 2500 м. Неогеновый тектогенез, сопровождаемый горообразованием и интенсивной денудацией, привел к тому, что на значительной площади соленосная толща кимеридж-титона оказалась на глубине не более 1000 м, а в Гаурдак-Кугитангской зоне поднятий выведена на дневную поверхность. Здесь соленосные отложения не-

редко залегают выше местного базиса эрозии. В результате инфильтрационные воды имели возможность не только заменить первичные, но и вызвали активное карстообразование. Выщелачивая и растворяя хемогенно-соленосные породы, инфильтрационные воды через непродолжительное время становились рассолами и, проникая в контактирующие отложения, формировали рассолоносные горизонты.

Вся остальная территория областей инфильтрации атмосферных вод, находящихся как в орогенической зоне, так и на платформе, где не было соленосных пород, характеризовалась условиями крайне неблагоприятными для существования рассолов. Таким образом, в донеогеновом периоде преобладал морской тип осадконакопления, и формировались водоносные горизонты, содержащие преимущественно седиментационные воды.

Водоупорная толща пород регионального распространения, сформировавшаяся в конце мела, а на большей части территории в палеогене, перекрыла горизонты мезозоя. Таким образом, до освобождения территории из-под уровня моря мезозойские горизонты были изолированы водоупорной крышкой, что спасло их на значительной территории бассейна от разбавления инфильтрационными водами в неоген-четвертичное время.

Неоген-четвертичный период явился переломным в ходе гидрогеологической истории: морской тип осадконакопления сменился континентальным, и в новообразовавшихся отложениях сформировались горизонты с инфильтрационными водами. В это время окончательно оформились границы бассейна, возникли горно-складчатые сооружения, и на платформенной части отчетливо обозначились поднятия, отделяющие бассейны от смежных гидрогеологических регионов. В бортовых частях на отдельных, интенсивно растущих, поднятиях внутри бассейна шли процессы денудации, сопровождаемые вытеснением седиментогенных вод инфильтрационными. Вследствие разной длительности и интенсивности данные процессы привели к разным результатам: на поднятиях внутренней части бассейна кратковременное разбавление мезозойских вод инфильтрационными вызвало лишь образование гидрохимических аномалий, а в бортовых частях сингенетичные воды были почти полностью заменены инфильтрационными. Радиус действия и интенсивность внедрения молодых инфильтрационных вод в мезозойские горизонты определялся геолого-тектоническим строением и литологическими особенностями прибортовой зоны. На огромной территории бассейна, во много раз превышающей по площади рассмотренные выше зоны, мезозойские горизонты не подвергались влиянию инфильтрационных вод, так как сверху были изолированы водоупорной крышкой, а проникновение инфильтрационных вод по напластованию из областей инфильтрации было невозможно, поскольку высокие пластовые давления в горизонтах мезозоя за прошедшее время еще не успели уравновеситься с гидростатическими (Зайцев, 1970).

Таким образом, анализируя палеогеографическую и палеогидрогеологическую обстановку исследуемого региона, видно, что были созданы благоприятные условия для накопления редких щелочных элементов: сносившийся тонкодисперсный материал с областей сноса накапливался в наиболее погруженных частях бассейна, сформировались соответствующие водоносные горизонты и мощные водоупоры. Большую роль при этом играл юрский и неоген-четвертичный этапы тектонической активизации.

Теперь необходимо выяснить состав сносившегося материала как возможного источника обогащения подземных вод редкими щелочными элементами. Следует отметить, что одним из важных факторов, способствующих формированию промышленных редкометалльных вод, являются породы и минералы, содержащие повышенные концентрации лития и других элементов. В исследованиях С.И.Ибадуллаева (1975, 1981) рассмотрены особенности поведения лития, рубидия и цезия в редкометалльных рудных формациях, в породах главных интрузивных фаз и измененных постмагматическими процессами разновидностях гранитов на территории Тянь-Шаня. Редкощелочные элементы в углеродисто-глинистых отложениях Чаткальских гор исследовались Т.М.Мацокиной-Воронич и Л.М.Глейзером (1974), обосновавшими рудоносность не только Срединно-Тянь-Шаньской структурно-формационной зоны, но и всей Средней Азии.

Главными областями сноса на протяжении всей геологической истории развития для БАБ являются Центрально-Кызылкумские поднятия. Поэтому необходимо подробнее рассмотреть поведение лития, рубидия и цезия в пределах Кульджуктауских гор. В пределах Кульджуктау С.И.Ибадуллаевым и др. (1981) проведено детальное минералого-геохимическое изучение пегматитовых полей ряда участков с целью выявления закономерностей распределения лития, рубидия, цезия и других элементов в гранитоидах, их жильных дериватах, вулканогенных и метаморфических породах с выделением редкометалльной гранитоидной формации (апограниты), определены их минералогические особенности, уточнены структурно-геологические позиции пегматитовых полей, выявлены закономерности распределения в них лития, рубидия, цезия и других элементов. Подробно рассмотрены интрузивные фазы: I – габбро, диориты и кварцевые диориты; II – биотитовые граниты; III – гранитоиды.

Литий, рубидий и цезий в различных породах распределяются неравномерно, что объясняется разным содержанием в породах калиевого полевого шпата, биотита, мусковита, являющихся носителями и накопителями лития, рубидия и цезия (табл. 19-21).

Таблица 19

Средние содержания и коэффициенты концентрации лития, рубидия и цезия в породообразующих минералах гранитоидов (по В.В.Ляхович, 1972)

Минерал	Цезий		Литий		Рубидий	
	Среднее содержание, г/т	Коэффициент концентрации	Среднее содержание, г/т	Коэффициент концентрации	Среднее содержание, г/т	Коэффициент концентрации
Роговая обманка	5	1	27,2	0,7	19	0,1
Биотит	107,1	21,4	916,4	23	1054,2	5,3
Мусковит	518,1	103,6	2677	67	2899	14,5
Плагиоклаз	15	3	24,7	0,6	107	0,5
Калиевый полевой шпат	6,9	1,4	18,2	0,4	552,7	2,8
Кварц	31	6,2	13,2	0,3	33,3	0,17

Таблица 20

Содержание соединений лития в породах Бухаро-Каршинского артезианского бассейна

Структура	Порода и ее возраст	Содержание Li ₂ O, %
Хаузак	Ангидрит (I)	0,0032
	Глина (I)	0,039
	Известковый песчаник (I)	0,0025
	Известняк (I)	0,0032
Денгизкуль	Глина (I)	0,018
	Известняк (I)	0,0090
	Известковый песчаник(I)	0,011
Уртабулак	Аргиллит(I)	0,021
	Глина аргиллитоподобная (I)	0,015
	Песчаник (I)	0,0023
	Аргиллит (Pz)	0,0078
	Туфопесчаник (Pz)	0,0058

Таблица 21

Растворимость некоторых соединений лития (по Ю.Ю.Лурье, 1967)

Соединения лития	Растворимость, г/1000 г при	
	100°С	200°С
Карбонаты Li ₂ CO ₃	14,3	13,3
Сульфаты Li ₂ SO ₄	350,0	342,0
Хлориды LiCl	720,0	785,0

Поведение лития, рубидия, цезия и других элементов в различных генетических типах гранитоидов обобщено в работе В.В.Ляхович (1972). В ней на основании изучения и анализа гранитоидов рассмотрены особенности распределения лития, рубидия, цезия и др. в основных минералах-концентраторах редких элементов в роговой обманке, биотите, мусковите, плагиоклазе, калиевом полевом шпате, кварце. Эти данные приведены в табл. 19. Анализ данных этой таблицы свидетельствует о том, что наиболее уверенно использовать как индикаторы геохимических особенностей гранитной магмы можно только те породообразующие минералы гранитоидов, которые характеризуются наиболее высоким значением коэффициента концентрации. Для лития – мусковит, биотит (коэффициент концентрации 67 и 23 соответственно), для цезия и рубидия – мусковит (коэффициент концентрации 103,6 и 14,5 соответственно).

В породах первой фазы гранитоидного магматизма Кульджуктау (диорит, сиенодиориты, габбро-диориты), включая их жильные производные, литий распределяется следующим образом: его минимальное содержание (0,0005%) отмечается в мелкозернистых диоритах, максимальное (0,004%) – в сиенодиоритах при среднем содержании (по 24-м пробам) 0,0018%. В нефелиновых сиенитах литий распределяется несколько иначе, чем в гранитоидах. Его максимальное содержание (0,01%) отмечается в нефелиновых сиенитах, минимальное (0,0025%) – в щелочных. Среднее

содержание лития в сиенитах (по 21-й пробе) – 0,00975%. Среднее содержание лития в несколько раз превышает кларковое в сиенитовых породах (Б.И.Злобин, В.И.Лебедев, 1960). Кислые породы (биотитовые, двуслюдяные, турманилизированные, лейкократовые граниты содержат от 0,0004 до 0,1% лития при среднем содержании его по 55 пробам 0,0054%, что тоже несколько выше кларкового для кислых пород, по А.П.Виноградову (1962). Распределение в гранитоидных формациях рубидия и цезия следующее: в сиенитах Кульджуктауских гор содержания цезия более равномерны и изменяются в пределах от 0,0005 до 0,0014%; в породах средних фаз герцинского магматизма в пределах Западного Узбекистана его концентрация в 5-10 раз выше кларковой. Таким образом, пегматиты Кульджуктауских гор имеют ярко выраженную специализацию на литий (С.И.Ибадуллаев и др., 1981).

Существенными факторами, способствующими обогащению подземных вод литием, рубидием, цезием, стронцием и другими элементами, являются обогащенность этими элементами водовмещающих пород и минералов и их способность отдавать эти элементы в водный раствор в благоприятных условиях. На обогащение подземных вод микрокомпонентами большое влияние может оказывать и соленосная толща кимеридж-титонского возраста. Исследования А.Г.Бабаева, Т.С.Раубходжаевой (1972) показали, что в ангидрите площади Уртабулак содержание лития достигает 0,03%.

Детальные исследования калийных солей месторождения Акбаш, проведенные М.Н.Набиевым, Р.Г.Осичкиной, У.С.Касымходжаевой, Л.Х.Джураевым (1972), показывают, что в зоне подстилающей каменной соли содержание лития изменяется от 0,08 до $1,33 \times 10^{-3}\%$ и составляет в среднем $0,86 \times 10^{-3}\%$. Наибольшая концентрация лития ($1,03-1,33 \times 10^{-3}\%$) обнаружена на глубине 570-580 м и представлена розовым галитом с глинистым включением. Повышенное содержание лития здесь можно объяснить наличием глинистой части, являющейся хорошим сорбентом по отношению к литию. Среднее содержание лития в промежуточной каменной соли – $0,98 \times 10^{-3}\%$, покровной каменной соли – низкое – от 0 до $0,40 \times 10^{-3}\%$. В Акбаше рубидий встречается в породах обеих калийных зон, распределен неравномерно: в пределах каждой зоны имеются участки, обогащенные или обедненные рубидием. Максимальная концентрация обнаружена в верхнем калийном горизонте, где его среднее содержание – $0,85 \times 10^{-3}\%$.

По данным спектрального и минералого-петрографического изучения солей БКАБ М.Г.Гаврилюк (1980) отмечает, что они содержат значительное количество лития и других элементов. Из анализа приведенных выше данных видно, что литологический состав сносившего терригенного материала был обогащен редкими элементами. Сносившийся материал накапливался в погруженных участках изучаемой территории.

Высокоминерализованные воды и рассолы формируются, главным образом, в результате седиментации в водоемах маточных растворов, растворения и выщелачивания солей, образовавшихся в тех же бассейнах (М.Г.Валяшко и др., 1965, И.Е.Зайцев, 1968). На основании проведенных исследований И.К. Зайцев (1967) считает, что наличие подземных вод с минерализацией до 35 г/кг можно объяснить седиментогенезом в морских бассейнах нормальной солености: до 70-80 г/кг доломитовой стадией галогенеза в осолоняющихся бассейнах, до 140 г/кг гипсовой, до 270 г/кг галитовой, до 350 г/кг и более карналитовой и бишофитовой стадиями солеродных

бассейнов. Эти рассолы в пластах пород образуются за счет седиментационных рассолов, погрузившихся с породой, а также при благоприятных условиях в результате их инфильтрации в породы прибрежной зоны из солеродных бассейнов. М.Г.Валяшко и др. (1965) сделал вывод, что рассолы или воды с минерализацией, заметно выше средней океанической, всегда обязаны процессам поверхностного сгущения и галогенеза. При наличии в разрезе соленосных накоплений или отложений бассейнов повышенной солености под ними распространены рассолы, производные от маточных рассолов солеродного бассейна. Некоторые авторы с этим выводом не соглашаются. Так, например, Д.С.Ибрагимов, К.А.Сабилов, М.Г.Гаврилюк (1975, 1981) объясняют появление высокоминерализованных рассолов и солей за счет их инжекции из глубоких частей земли по разломам. Однако большинство исследователей пришли к выводу, что уже в илах при диагностических процессах морская вода претерпевает большие изменения. А.С.Балашов (1960) считает, что для соленых и рассольных вод хлоридно-кальциево-натриевого типа исходными являются иловые воды эпиконтинентальных морей. В процессе диагенеза при преобразовании осадков на дне водоемов иловая вода становится более щелочной, исчезает SO_4 , накапливаются микроэлементы, часть Na^+ обменивается на Ca^{++} , происходит накопление H_2S , CH_4 , N_2 (А.М.Овчинников, 1963). В дальнейшем, при уплотнении илов, часть раствора переходит в пористые соли, а часть сохраняется, т. е. это и будут седиментационные воды. Их состав может изменяться за геологическое время, так как с ростом осадочных толщ будут увеличиваться температура и давление.

Главная масса маточных рассолов движется вниз, в подстилающие отложения, отжимая пропитывающие их воды к бортам бассейна или вверх. Отжатые вверх воды, достигая соленосной толщи, обогащаются компонентами вследствие выщелачивания солей. При отжатии из соленосной толщи рассолы, как более тяжелые, перемещаются вниз струями, вытесняя оттуда менее плотные вверх, что было отмечено при изучении геохимии и генезиса рассолов Иркутского амфитеатра (М.Г.Валяшко и др., 1965, 1966).

В БКАБ процесс формирования подземных вод, накопление лития, рубидия, цезия, стронция, йода, брома и других элементов в них обусловлен длительной геологической историей развития территории. Из истории развития БКАБ видно, что морская вода, захороненная в морских осадках, является основным источником формирования состава подземных вод. Море, существовавшее со средней юры до кимериджа, было нормальной солености. В кимеридж-титоне его контуры сокращаются, увеличивается соленость вод, т. е. формируется солеродный бассейн, и возникают благоприятные условия для садки (осаждения) солей. Таким образом, начиная со средней юры до кимериджа, происходило захоронение морских седиментационных вод. При уплотнении осадков отжимаемые соленые воды просачивались в проницаемые континентальные отложения нижней и средней юры.

В пределах БКАБ наблюдается ясно выраженная вертикальная и горизонтальная гидрогеохимическая зональность, т. е. закономерный переход соленых вод к рассолам в сторону Чарджоуской ступени и вниз по разрезу вплоть до Багаджинской ступени. В этом же направлении происходит увеличение концентраций лития, рубидия,

цезия, стронция и других элементов. Гидрогеохимическая зональность соответствует региональной гидродинамике. Там, где сказывается влияние инфильтрационных вод, минерализация ПВ и содержание лития, рубидия, цезия и других элементов в них незначительно, при этом увеличиваются значения натрий-хлорного и хлорбромного коэффициентов.

Химический состав вод юрского комплекса изменяется от хлоридно-сульфатно-натриевого (северо-восточнее Бухарской ступени), хлоридно-натриевого (Бухарская и северо-западная часть Чарджоуской ступени) до хлоридно-натриево-кальциевого (Чарджоуская ступень). Наиболее крепкие и метаморфизованные рассолы приурочены к району развития галогенных отложений (Чарджоуская ступень).

А.С.Хасановым, Д.С.Ибрагимовым, К.А.Сабиловым и др. (1981) на основании анализа существующих материалов по гидродинамическим условиям построены карты приведенных напоров (по методике А.И.Силина-Бекчурина) для подсоленосного (верхнегорского карбонатного) и надсоленосного (неоком-аптского терригенного) водоносных комплексов БКАБ. Анализ этих карт показывает, что в пределах БКАБ наблюдаются две зоны создания напоров. Первая зона, характеризующаяся высокими значениями приведенных напоров, охватывает юго-западные отроги Гиссарского хребта и восточные окраины Кашкадарьинской впадины, где отмечаются выходы юрского комплекса на дневную поверхность. В Предгиссарском прогибе максимальные значения приведенных напоров наблюдаются в периферийной части на площадях Адамташ, Акбаш, Пачкамар, Гаурдак и др. К юго-западу от периферийной части напоры закономерно понижаются и на площадях Кызылча, Белисыайнак составляют 930 и 1070 м соответственно. Разгрузка подземных вод верхнеюрского водоносного комплекса происходит в южной части бассейна по Узункудукскому и Гаурдак-Тюбегатанскому, в западной – по Кызылдарьинскому и Лянгарскому разломам.

Вторая зона, характеризующаяся максимальными и аномально высокими величинами приведенных напоров, охватывает центральные части Бешкентской, Приамударьинской и Мургабской впадин. По данным В.А.Кудрякова, Т.Н.Авазова и др. (1978), для Бешкентской впадины абсолютные отметки приведенных напоров колеблются от 1521-1908 м до 2570-2718 м. Максимальные величины наблюдаются на площадях Бешкент (2570 м), Камаши (2644-2718 м) и др. От этих площадей напоры закономерно понижаются в северо-восточном, северном и северо-западном направлениях, и на площадях Уртабулак, Денгизкуль и Умид их значения падают и составляют 698, 338 и 342 м соответственно. Большинство исследователей считают, что указанные высокие напоры в этой зоне, видимо, формируются вследствие отжатия седиментационных вод в процессе уплотнения осадков, обусловленного геостатическим давлением и неотектоническими движениями.

Общее снижение значений приведенных напоров в пределах Бухарской и Чарджоуской ступеней наблюдается в западном и северо-западном направлениях до 200-160 м. Их минимальные значения отмечаются на участках Денгизкульского, Карши-Мубарекского и Каганского поднятий, что вызвано разгрузкой подземных вод в неоком-аптский водоносный комплекс.

Для нижнемелового (неоком-аптского) водоносного комплекса также выделяются две зоны создания напоров (А.С.Хасанов, Д.С.Ибрагимов, К.А.Сабилов и др., 1981).

Первая зона охватывает южную часть Зирабулак-Зиаэтдинских и Зарафшанских гор, юго-западные отроги Гиссара, а также восточную часть Кашкадарьинской впадины, где водоносный комплекс выходит на поверхность. Напоры формируются за счет проникновения в пласты поверхностных инфильтрационных вод. Величины приведенных напоров достигают 1485 м (Шурасан). Здесь отмечаются пониженные концентрации лития, рубидия, цезия и других элементов.

Вторая зона, характеризующаяся высокими значениями приведенных напоров, охватывает южную часть Бешкентской, центральные части Приамударьинской и Мургабской впадин, где пластовые давления значительно превышают гидростатические. Южнее и западнее этих зон идет снижение приведенных напоров. Общее снижение напоров в пределах Бухарской и Чарджоуской ступеней наблюдается в западном направлении.

Таким образом, анализ приведенных напоров показывает, что максимальное приведенное давление наблюдается в периферийных частях бассейна, где водоносные комплексы нижнего мела выходят на поверхность. Кроме того, отмечается, что в наиболее погруженных частях Бешкентской, Приамударьинской и Мургабской впадин пластовые давления в нижнемеловых отложениях значительно превышают гидростатические. Минимальные давления фиксируются в Питнякском, Султансанджарском, Кушкинском и Байрамалинском поднятиях. В этих районах широко развиты тектонические нарушения, по которым происходит разгрузка подземных вод из неоком-апта.

Движение подземных вод в краевых частях бассейнов, подверженных влиянию современной инфильтрации, происходит под воздействием гравитационных и гидростатических процессов зон гравитационной и гидростатической напряженности, по А.С.Хасанову (1975). Гидрогеохимическая обстановка в краевых частях бассейна характеризуется относительно низкой минерализацией вод и обедненностью микрокомпонентами. Далее, в центральной части бассейна, выделяются зоны напряженности геостатического и геодинамического генезиса, где пластовые давления создаются под воздействием геостатических нагрузок пород и упругорелаксирующего режима водовмещающих пород. Воды обогащены газами восстановительной обстановки (метан, тяжелые углеводороды, органический азот, сероводород, углекислый газ), отмечаются повышенные концентрации лития, рубидия, цезия, стронция и других микрокомпонентов.

В пределах БКАБ соляно-гипсово-ангидритовая толща верхней юры (гаурдакская свита) является верхним региональным водоупором для юрского водоносного комплекса. Галогенные отложения обязаны своим происхождением концентрированию в аридных условиях большого количества морской воды. Высокая пластичность солей делает их залежи компактными, невлагоемкими и даже водоупорами. В то же время на некоторых структурах Чарджоуской ступени в соленосной толще вскрыты весьма крепкие и предельно насыщенные рассолы (площади Уртабулак, Нишан, Памук, Денгизкуль, Хаузак, Шады, Северный Уртабулак, Зеварды, Шуртан, Южный Уртабулак и другие). По величине минерализации (более 350 г/кг) эти рассолы соответствуют карналитовой и бишофитовой стадиям галогенеза. Следует особо подчеркнуть, что

именно в этих рассолах мы видим максимальные концентрации всех редких щелочных и других элементов. Однако вопрос о генезисе этих рассолов остается еще открытым, хотя многие исследователи занимались и занимаются этой проблемой. На возможность сохранения в толще галогенных отложений закупоренных рассолов указывают: М.Г.Валяшко и др. (1965) для Иркутского амфитеатра, Л.Я.Славянова, М.С.Галицын (1970) для Прикаспийской впадины, А.С.Хасанов, Л.А.Калабугин (1976) для БКАБ.

Хлоридный кальциевый и хлоридный магниевый состав, обогащенность калием, высокое содержание лития, рубидия, цезия и других микроэлементов, низкие значения натрий-хлорного и хлор-бромного коэффициентов, незначительное содержание сульфатов, а также большие первоначальные дебиты рассолов при самоизливе и высокое пластовое давление существенно отличают рассолы гаурдакской толщи от надсоленосных и подсоленосных рассолов (Л.А.Калабугин, 1976). Это указывает на застойный режим и изолированность этих рассолов от других водоносных горизонтов и дает возможность предположить наличие линз метаморфизованных маточных рассолов. Эту точку зрения отвергают туркменские гидрогеологи (В.Ф.Казаков и др., 1978), утверждающие, что сверхкрепкие рассолы расположены в виде регионально выдержанных водоносных комплексов.

Воды нижнемелового комплекса в северной и северо-восточной частях Бухарской ступени менее минерализованы, чем в юрском комплексе. Это, преимущественно, соленые и переходные от соленых к рассолам воды со средним по разрезу значением минерализации от 1 до 33 г/л. Натрий-хлорный коэффициент в основном более 0,87 (Л.А.Калабугин, 1975). Гидродинамические условия, минерализация и химический состав вод, натрий-хлорный коэффициент говорят о влиянии инфильтрационных вод со стороны горного обрамления. Благодаря лучшим фильтрационным свойствам нижнемеловых отложений, по сравнению с юрскими, инфильтрационные воды со стороны гор проникают на большее расстояние во внутреннюю часть бассейна. Так, по расчетам А.С.Хасанова (1976), воды из областей питания при благоприятных условиях проникают вглубь бассейна на 30-50 км (Мубарек, Каган, Газли).

Минерализованные воды надсоленосного нижнемелового комплекса в пределах Чарджоуской ступени можно рассматривать как седиментационные, где по гидрогеологическим условиям возможна их сохранность. Для платформенных условий характерно образование скрытых очагов разгрузки подземных вод в результате перетекания последних из одного горизонта в другой. В пределах артезианских бассейнов наблюдается также подток рассолов из юрских отложений в нижнемеловые по тектоническим разломам, в результате которого изменяется химический и микрокомпонентный состав вод.

Анализ геологических условий распределения редких щелочных элементов в пластовых водах платформ и их окраинных прогибах, проведенный Г.А.Головой и др. (1981), показал, что повышенные содержания этих элементов приурочены к зонам максимального погружения и внуфриплатформенным прогибам, впадинам. Проведенные исследования показывают, что повышенные концентрации лития, рубидия, цезия, стронция, бора и других элементов приурочиваются к погруженным участкам Чарджоуской ступени и увеличиваются в направлении Бешкентского прогиба.

Большое значение при выяснении условий формирования промышленных редкометалльных вод придается глубинным разломам. Термин “глубинный разлом” был впервые предложен в 1945 г. А.В.Пейве. Под *глубинным разломом* понимают зоны подвижного сочленения крупных блоков земной коры и подстилающей части верхней мантии, обладающие протяженностью до многих сотен и тысяч километров при ширине, достигающей иногда нескольких десятков километров (Геологический словарь, М., 1973, т. 1). При наличии сети глубинных разломов в мезозойские отложения могут поступать из глубинных частей земной коры высокоминерализованные рассолы, обогащенные микрокомпонентами, которые смешиваются с имеющимися в пластах седиментационными водами. Поэтому вблизи отдельных региональных и локальных глубинных разломов наблюдается тенденция к увеличению концентраций лития, рубидия и особенно цезия, а также других элементов, что видно на примере Денгизкульского поднятия Чарджоуской ступени (структуры Шады, Денгизкуль, Северный Уртабулак и др.) и структуры Рудаксай, расположенной на пересечении Бухарского регионального и Касанского локального разломов.

Подземное испарение, несомненно, оказывает воздействие на формирование промышленных редкометалльных вод и преобразование рассолов. Особенно большое значение это имеет в зонах глубинных разломов, приуроченных к закрытым структурам, таким как Северный Уртабулак в пределах Чарджоуской ступени и др., и в местах, где поверхность Мохо расположена близко к поверхности земли (за счет этого может поступать глубинное тепло, несмотря на то, что именно по этим зонам могут поступать металлоносные растворы). А.С.Хасанов (1976) отмечает, что испарительный гидрогеохимический барьер сыграл значительную роль в истории развития Амударьинской водонапорной системы, с чем нельзя не согласиться.

Исследования в области геохимии, минералогии, петрографии, тектоники, гидрогеологии и других наук геологического профиля показывают, что развитие геологических процессов носит циклический характер. В поступательном развитии земной коры различаются эпохи резко повышенной ее подвижности, характеризующиеся отдельными тектоническими импульсами с длительностью в сотни тысяч, реже 1-2 млн. лет (Е.А.Куражковская, 1971).

Не отрицая выводов, сделанных Г.А.Голевой и др. (1981), о том, что максимальные концентрации редких щелочных элементов приурочиваются к наиболее древним породам, мы утверждаем, что здесь главную роль играет тектоническая активизация в юрское и неоген-четвертичное время. Так, на приведенных Г.А.Голевой и др. (1975) графиках видно, что для молодых платформ максимум содержания лития, рубидия, цезия и стронция приходится на юрский период (для БКАБ – это юрский этап тектонической активизации) и палеоген-неогеновый период (неоген-четвертичный этап тектонической активизации для Сурхандарьинского и Ферганского артезианских бассейнов). Здесь явно видна связь накопления лития, рубидия, цезия и других элементов с этапами тектонической активизации.

Анализ материалов, характеризующих накопление редких щелочных элементов в подземных водах, показывает, что в платформах промышленные редкометалльные воды приурочены в основном к терригенным, карбонатным и соленосным отложе-

ниям. Наиболее характерным разрезом является БКАБ. Так, например, в изучаемой территории на размытой поверхности палеозоя залегают глины, песчаники, алевролиты (нижне-среднеюрские терригенные отложения), на них согласно залегают карбонатные отложения (известняки, доломиты, рифовые известняки), на которых залегают соленосные отложения (гаурдакская свита верхней юры). Завершают разрез мезозоя меловые глинистые отложения. Это и есть осадочный цикл. Такая картина наблюдается и на других территориях.

В возрастном отношении этот цикл может быть сдвинут влево или вправо (В.В.Белюсов, 1962; В.Е.Хаин, 1964), но от этого характер и последовательность отложений, к которым приурочиваются промышленные редкометалльные воды, не меняется. На это указано в работах В.В.Белюсова, В.Е.Хаина, М.С.Швецова, Н.М.Страхова, В.Д.Наливкина, Л.В.Пустовалова и других. Эти же исследователи отмечали, что крупным осадочным циклам соответствуют крупные тектонические. Соотношение цикличности и необратимости развития позволяет понять значение циклов как механизма, с помощью которого проявляется тенденция к уравниванию геологической системы в ее сложных взаимодействиях с космическими и внутривоздушными процессами (Н.М.Страхов, 1963).

Детальное изучение закономерностей распространения, условий формирования промышленных редкометалльных вод БКАБ, миграция лития, рубидия, цезия, стронция и других элементов, а также обобщение накопленного фактического материала по редким щелочным элементам позволяет нам проследить глобальную миграцию или *круговорот накопления* редких щелочных элементов в природе. В работе всех исследователей, изучавших редкие элементы в подземных водах, рассмотрены поведения лития, рубидия, цезия, стронция и других элементов в пределах горных частей (С.Р.Крайнов и др., 1973), предгорных равнин, артезианских бассейнов, платформ, а также в вулканических областях (Г.И.Арсланова, 1974).

Что происходит дальше? Куда деваются выветриваемые и сносимые с континентов вместе с терригенными частицами редкие элементы, в т. ч. литий, рубидий и цезий?

Исследования С.Р.Крайнова (1973) показали, что с 1 км² площади грунтовые воды могут вынести до 0,1 кг/сут лития, рубидия до 0,01, цезия до 0,001-0,005; углекислые воды – лития до 100, рубидия до 10, цезия до 10; азотные термальные воды – лития до 0,5-1,0, рубидия до 0,05- 0,1, цезия до 0,02-0,05. Часть сносимого количества редких элементов (от 0,01 до 0,1-0,2%) накапливается и в благоприятных условиях сохраняется в пределах артезианских бассейнов (например, в БКАБ). Примерно от 0,001 до 0,01% сносимого количества редких элементов содержится в водах озер, морей и океанов.

Следовательно, втягиваемые в зону субдукции осадочные отложения были обогащены редкими щелочными и другими элементами. Изучаемый нами элемент литий, попадая в зону плавления вместе с наиболее легколетучими компонентами (хлором, фтором и др.), поднимается вверх по ослабленным участкам или зонам (ими могут быть глубинные разломы, проникающие до мантии, рифтовые зоны, участки вулканической деятельности, тектонической активизации или участки, где происходят горообразовательные процессы и т. д.). В процессе подъема литием обогаща-

ются различные породы, водоносные горизонты и т. п. Детальным изучением физико-химических процессов, происходящих в зонах плавления за счет колоссальных температур, давлений и других параметров геологической среды, куда попадает поднимающийся флюид, содержащий редкие элементы, можно объяснить то, что в одних случаях мы видим вулканические стекла, типично цезиевые (Кавказ), в других вулканогенно-осадочные породы с повышенным содержанием лития (Шавазсай, Республика Узбекистан).

До появления идеи о круговороте накопления редких элементов (лития, рубидия, цезия и др.) предполагалось, что некоторое их количество может поступать из глубины, но откуда, с какой глубины и за счет чего они там оказываются. Теперь мы твердо знаем, что поступающие из глубины редкие щелочные и другие элементы имеют первичное осадочное происхождение, и что они не появляются из ничего и бесследно не исчезают. Следовательно, круговорот редких щелочных элементов существует. Подтверждением этого является круговорот калия, магния, кальция, кремния, описанный по аналогичной схеме в работе Ч.Дрейка, Дж.Имбри, Дж.Кнауца, К.Турекиана (1982).

Таким образом, анализируя проведенные исследования, можно отметить, что выявлены закономерности распространения и условия формирования лития, рубидия и цезия в подземных водах БКАБ, выражающиеся в том, что подземные редкометалльные воды связаны с хлоридными натриево-кальциевыми рассолами нижне-среднеюрского и верхнеюрского водоносных комплексов Чарджоуской и, частично, Бухарской ступеней с максимальными концентрациями в пределах Денгизкульского поднятия. Основными факторами, обуславливающими накопление и сохранение редких щелочных элементов в подземных водах юрских водоносных комплексов, являются особенности геологического развития региона, его литолого-фациальные и гидрогеохимические условия, наличие седиментационных вод хлоридно-натриево-кальциевого состава, глубинных разломов, мощных водоупоров, а также пород с повышенными содержаниями лития, рубидия и цезия. Условия формирования лития в промышленных водах других месторождений аналогичны вышеописанному.

На основании проведенных исследований по выявлению закономерностей распространения лития и условий формирования, а также анализа геолого-тектонических, гидродинамических и гидрогеохимических условий в пределах артезианских бассейнов Узбекистана сделаны выводы теоретического, методического и практического характера.

Выявлены области с высокими концентрациями лития – это подземные воды, приуроченные к отложениям нижней, средней, верхней юры, нижнего мела, палеогена и неогена. Увеличение концентраций лития отмечается в направлении наиболее погруженных частей Чарджоуской тектонической ступени.

Установленная гидрогеохимическая зональность подземных литиевых вод – результат длительной геологической истории развития территории, обусловившей преимущественное формирование седиментационных морских вод. Увеличение концентраций лития связано с ростом минерализации, хлора, калия, магния, температуры, а также наличием углеводов в подземных водах.

Выявлены наиболее перспективные месторождения промышленных литиевых вод Узбекистана:

- по Ферганскому артезианскому бассейну 4 месторождения: Западный Палванташ, Ханкыз, Южный Аламышик, Чартак;
- по артезианским бассейнам плато Устюрт 7 месторождений: Чурук, Куаныш, Южный Тасаюк, Шахпахты, Восточный Ассакеаудан, Кунград, Николаевская;
- по Сурхандарьинскому артезианскому бассейну 4 месторождения: Хаудаг, Ляльмикар, Кокайты, Актау;
- по БКАБ в верхнеюрском водоносном горизонте 25 месторождений, в том числе: Зеварды, Кандым, Западный Караиз, Кульбешкак, Аккум, Узбеккудук, Ходжи, Хатар, Хасанкуль, Парсанкуль, Западный Ташлы, Хорезмская, Даяхатын, Чукуркуль, Денгизкуль, Уртабулак, Шорбулак, Гумбулак, Учкыр, Ходжиказган, Куюмазар, Хаузак, Памук, Каракуль, Сарыча; в ниже-среднеюрском водоносном горизонте 8 месторождений: Хорезмская, Ходжиказган, Аккум, Хатар, Ходжи, Хасанкуль, Кандым, Западный Караиз; в нижнемеловом водоносном горизонте 3 месторождения: Западный Ташлы, Аузбай, Шорбулак.

Даны прогнозные эксплуатационные запасы подземных промышленных литиевых вод по Бухаро-Каршинскому (вода – 280,98 тыс. м³/сут, литий – 2,81 тыс. т/год), Ферганскому (вода – 11,19 тыс. м³/сут, литий – 0,002 тыс. т/год), Сурхандарьинскому (вода – 70,16 тыс. м³/сут, литий – 0,10 тыс. т/год) и артезианским бассейнам плато Устюрт (вода – 949,52 тыс. м³/сут, литий – 1,11 тыс. т/год).

Составлены карты прогнозных эксплуатационных запасов промышленных литиевых вод БКАБ и содержания лития в верхнеюрском водоносном комплексе БКАБ.

Выявлены основные факторы, способствующие накоплению и сохранению лития в подземных водах:

- благоприятная геолого-структурная обстановка, особенности геологического развития, литолого-фациальные, гидрогеохимические условия и др.;
- *наличие*: пород с повышенными концентрациями лития;
- седиментационных вод хлоридного состава, способствующих переходу лития из пород в раствор;
- глубинных разломов и близость поверхности Мохо;
- мощных водоупоров, способствующих накоплению и сохранению лития.
- установлена связь повышенных концентраций лития с циклическими осадочными комплексами, этапами тектонической активизации, водорастворенной органикой, глубинными разломами;
- в результате статистического анализа выявлена парная и множественная корреляционная связи лития с микро-, и макрокомпонентным составом, pH, температурой подземных вод и глубиной их залегания.

Глава V. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СХЕМЫ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ЛИТИЯ

Для комплексной переработки озерной рапы применяют испарительное концентрирование с отбором кристаллизующихся солей. При этом литий концентрируется в остаточных маточниках хлор-кальциевого состава, из которого его можно извлекать методами *ионного обмена* или *экстракции*. Разработаны также варианты селективного извлечения лития из рассолов. Наряду с ионным обменом применяют метод осаждения двойных соединений солей лития с гидроксидом алюминия. Существуют разнообразные способы извлечения лития. Гидрохимическая технология получения лития из гидроминеральных источников оказалась более экономически выгодной, экологически более чистой, по сравнению с термической.

Относительно простая технология извлечения солей лития из минерализованных вод, основанная на естественном частичном выпаривании и последующей экстракции ионообменными смолами, предопределяет значение рассолов как важного источника лития. Для комплексной переработки озерной рапы применяют испарительное концентрирование с отбором кристаллизующихся солей. При этом литий концентрируется в остаточных маточниках хлор-кальциевого состава, из которого его можно извлекать методами ионного обмена или экстракции.

Разработаны также варианты селективного извлечения лития из рассолов. Наряду с ионным обменом применяют метод осаждения двойных соединений солей лития с гидроксидом алюминия. Рассол или рапу обычно концентрируют бассейновым (солнечным) выпариванием, кристаллизующиеся при этом соли являются товарными продуктами. Литий при выпаривании концентрируется в конечной рапе (маточнике) до 1 масс. % (10-14 кг/м³), откуда и производится его выделение по сложной схеме. Выпаривание обычно длится около года. Извлечение лития из рапы сопряжено с меньшими производственными издержками, чем добыча и переработка горнорудного сырья (Кременецкий и др., 1999).

Переработка рапы соляных озер и рассолов морского типа

Основной объем производства и потребления стратегически важного лития приходится на США. Все технологии по переработке рассолов и саларов Американского континента основаны на гелиоконцентрировании. Основу литиевой сырьевой базы США составляют подземные рассолы оз. Силвер-Пик, которые обеспечивают около 20% добычи в стране. Запасы лития в рассолах превышают 7 млн. т при среднем содержании 0,04% Li₂O. Большие ресурсы лития выявлены также в оз. Солтон-Си и Большом Соленом озере. Извлечение лития из рапы осуществляется на химических предприятиях в городах Трона и Силвер-Пик. В Силвер-Пике технологический процесс состоит в поэтапном солнечном выпаривании рассолов в искусственных бассейнах, благодаря чему концентрация лития в рапе повышается с 0,04 до 0,5-

0,6%. На заводе, расположенном поблизости, получают конечный продукт, содержащий более 99% Li_2CO_3 .

В годы второй мировой войны в США началась разработка соляного озера Сёрлс (Сирлс Лейк) в штате Калифорния, где из рапы, в которой хлорид лития находится совместно с солями натрия, калия и бора, – природного насыщенного раствора различных солей – добывают соединения калия, натрия, бора и лития. Здесь под слоем солей разного состава мощностью 14–26 м сохранился концентрированный рассол, обогащенный литием (более 0,015%). Соляную корку пробуривают, рассол выкачивают на поверхность и из него с помощью фосфорной соли осаждают литий в виде нерастворимого натриево-литиевого фосфата. В последние годы в соленых озерах пустыни Атакама (Чили) найдены рассолы с содержанием 0,25% оксида лития и запасами более 2 млн. т. В 6 млн. т оценивается количество лития, растворенного в рассолах Мертвого моря, содержание в них оксида лития 0,004%.

Основной трудностью извлечения лития из морской воды является первичное концентрирование солей, требующее значительных затрат и связанное с определенными потерями лития с солями натрия, магния и кальция, выпадающими при выпаривании воды. Осуществление обширной программы по опреснению морских вод с использованием ядерной энергии, несомненно, облегчит решение проблемы извлечения лития из морской воды. В распоряжении химической промышленности окажутся сотни тысяч тонн солевых рассолов, содержащих, помимо указанных элементов, весьма ценные компоненты (бор, йод, бром, серебро, золото и др.). В этом случае выделение лития из обогащенных рециркуляционных солевых рассолов станет экономически целесообразным.

В настоящее время рассматривается возможность получения лития из океанической воды. Но проблема в том, что его концентрация в ней очень мала, и добыча будет стоить очень дорого, но это – технологии будущего. Сейчас самой перспективной считается добыча из соленых озер, рапы, и здесь доминирует Южная Америка. Правда, недавно включился Китай.

Рассолы России обогащены солями кальция и не могут быть переработаны по известным галургическим схемам, предусматривающим их концентрирование по литию в естественных условиях. Из таких сложных по составу рассолов, как рассолы Сибири, литиевые концентраты, обогащенные LiCl , могут быть получены только путем селективного извлечения с использованием сорбентов. У России так же есть возможность получать литий из рапы, и есть технологии. Они запатентованы, но работают пока только в Китае, в России их до сих пор не опробовали.

Между тем, имеется альтернативная сырьевая база. Ведь рассолы – это не только соленые озера. Они встречаются, например, в алмазных карьерах или при извлечении нефти. Попутно можно получать целую линейку продуктов – бор, магний, магниевые вяжущие, цемент и т. д., что устраняет экономические риски, диверсифицирует продукт. Ведь, если на одни продукты спрос падает, то на другие он может сохраниться и даже вырасти, тем самым не давая производству зачахнуть.

На основании системного анализа имеющейся в мире информации по запасам литиеносного гидроминерального сырья (ЛГМС) предлагается классификация ЛГМС

с точки зрения перспективности его использования для рентабельной промышленной переработки в товарные литиевые продукты.

Особенно значима проблема получения ценных компонентов из гидроминерального сырья. Необходимыми условиями освоения гидроминерального сырья нефтяных месторождений являются достаточная сырьевая база и наличие технологии переработки, реализуемой в непростых условиях нефтепромысла. В промышленно развитых странах проводятся интенсивные исследовательские работы по расширению перечня компонентов, извлекаемых из пластовых вод нефтяных месторождений. Особое внимание уделяется рентабельной технологии получения дефицитных и стратегически важных элементов, в первую очередь, лития. Его извлекают методом хемосорбции на активном гидроксиде алюминия.

В настоящее время решается проблема вовлечения в мировое литиевое производство новых нетрадиционных литиеносных гидроминеральных источников сырья в виде поликомпонентных рассолов хлоридного кальциевого и хлоридного магниевого типа и минерализованных вод, которое возможно только путем поиска новых решений, обеспечивающих возможность осуществления их безреагентного обогащения по литию с получением первичных литиевых концентратов, пригодных для переработки в конкурентоспособные литиевые продукты. На этой основе возможно создание безотходных технологий комплексной переработки поликомпонентных литиеносных рассолов любых типов, предусматривающих производство из них наряду с соединениями лития других востребованных на рынке продуктов. При этом успешное решение

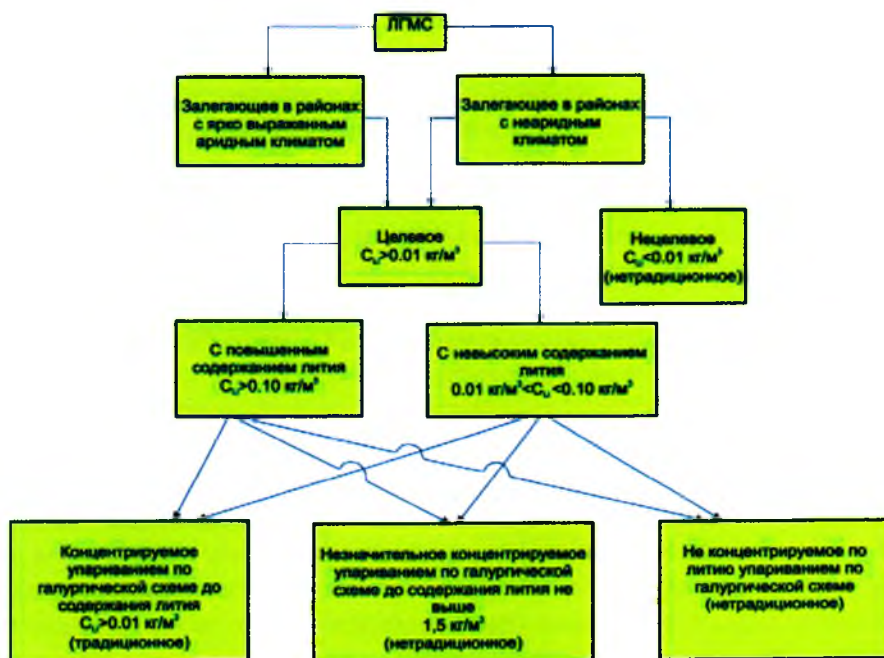


Рис. 15. Классификация литийсодержащего гидроминерального сырья.

проблемы безреагентного обогащения ЛГМС позволит впервые обеспечить освоение и переработку новых нетрадиционных литиеносных гидроминеральных сырьевых источников в конкурентоспособные товарные литиевые продукты (рис. 15).

Способы галургической переработки природных минерализованных вод

Переработка вод месторождения Сёрлс. Межзернистая карбонатно-хлоридная натриевая рапа с литием (концентрированный рассол) – первый тип вод, получивший промышленное значение как источник лития. Наиболее хорошо изученным месторождением данного типа является сухое озеро Сёрлс (США, шт. Калифорния). Оно находится в бессточной котловине в 200 км к северо-востоку от Лос-Анджелеса. Химический состав межзернистой рапы из верхнего соляного пласта следующий (% масс.): NaCl – 16,1; Na_2SO_4 – 6,8; KCl – 5; Na_2CO_3 – 4,8; $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ – 1,6; NaHCO_3 – 0,15; Na_3PO_4 – 0,14; KBr – 0,12; Na_2S – 0,12; P_2O_5 – 0,07; As_2O_3 – 0,026. Общая минерализация рапы – 450 г/л. В верхнем пласте она содержит от 96 до 115 мг/л лития, в нижнем – всего 40 мг/л. Запасы главных полезных компонентов в рапе оз. Сёрлс (округленно): безводной буры – 50 млн. т, калия – 18 млн. т, окиси лития – 400 тыс. т. Промышленная разработка месторождения началась в 1937 г. Химический завод в г. Трона (США) производит из рапы соду, сульфаты натрия и калия, хлорид калия, бром, бромиды щелочных металлов, буру, борную кислоту на 0,5 млрд. долл. в год. Рапа добывается из верхнего и нижнего соляных пластов. В сутки перерабатывается 13,5 тыс. м³ рапы с получением литиевого концентрата (ликонца) – дилитийфосфата натрия. Ликонц получают в качестве побочного продукта в процессе производства ценных солей бора, калия, натрия и в количестве, определяемом спросом на эти основные продукты. Первой стадией переработки рапы является её концентрирование в испарителях. Рассол, предварительно нагретый в теплообменниках вакуум-кристаллизационной установки до 500°С, поступает в вакуумную батарею с принудительной циркуляцией и противоточным движением выпариваемого рассола и греющего пара. В выпарные аппараты вводится некоторое количество жирных кислот. При этом дилитийнатрийфосфат (строго говоря, смесь различных фосфатов с явным преобладанием соединения Li_2NaPO_4) осаждается в виде тонкодисперсных частиц вместе с беркеитом ($\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 2\text{Na}_2\text{SO}_4$), входя в состав кека беркеита, удаляемого из выпарных аппаратов (концентрированный щелок поступает на обработку для получения поташа, буры и брома). В процессе последующего выщелачивания кека беркеита в растворе карбоната натрия получают раствор беркеита, в котором труднорастворимое соединение лития образует труднорастворимую твердую фазу в виде суспензии. Эту суспензию отделяют аэрацией (рис. 16).

Пенный продукт (литийсодержащий шлак) обезвоживают, высушивают и таким образом превращают в концентрат, перерабатываемый на Li_2CO_3 . Осветленный раствор беркеита после завершения фильтрования поступает в дальнейшую переработку. Химический состав концентрата дилитийнатрийфосфата следующий (% масс.): Li_2O – 20-22; Na_2SO_4 – 2; Na_2CO_3 – 17; P_2O_5 – 50; H_2O – 2. Хотя этот богатейший концентрат – не

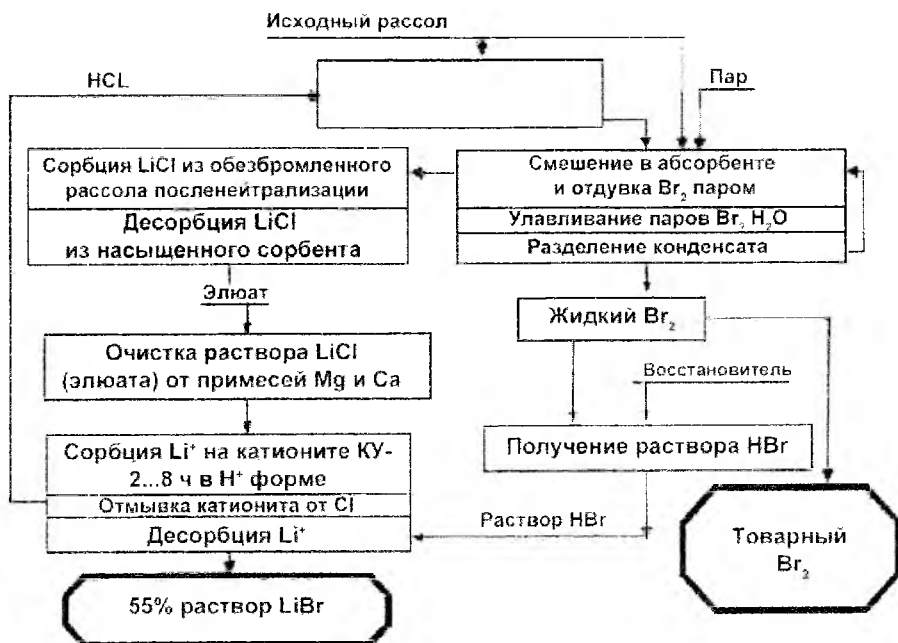


Рис. 16. Принципиальная схема получения лития.

руда, методы его переработки близки к рудной технологии. После обработки в шаровой мельнице ликонц обрабатывают концентрированной серной кислотой, получая смесь твердых сульфатов лития и натрия и разбавленную фосфорную кислоту, которые разделяют центрифугированием. В процессе упаривания разбавленной кислоты, содержащей много лития и натрия, получают 70-80%-ную фосфорную кислоту – ценный побочный продукт производства – и дополнительное количество сульфатов лития и натрия, присоединяемых к основной массе. Смесь сульфатов лития и натрия растворяют в воде, и непрореагировавший фосфат после доведения pH раствора до 9 выпадает в осадок и отделяется от раствора. Для осаждения карбоната лития в чистый раствор смеси сульфатов вливают горячий раствор соды. В 1953 г. было выпущено 153-168 т ликонца в пересчете на литий. В 1966 г. выпуск карбоната лития составил 207,5 т по литию.

Переработка вод месторождения Силвер-Пик. Уникальное по составу месторождение подземных пластовых вод Силвер-Пик находится в районе заброшенных рудников (шт. Невада, США). Природные высокоминерализованные воды месторождения представлены относительно неглубоко погребенной хлоридной натриевой рапой с литием. Месторождение расположено в бессточной долине в 200 км к северу от оз. Сёрлс. Климат аридный, испаряемость – 1700 мм/год. Глубина залегания рассолов – 150-160 м, скважины ненапорные. Общая минерализация рапы – свыше 200 г/л, она содержит (г/кг): Na – 62; K – 8; Ca – 0,5; Mg – 0,4; Li – 0,4; Cl – 100,6; SO₄ – 7,1. Запасы окиси лития в рапе оцениваются Горным Бюро США в 7,4 млн. т при ее среднем содержании свыше 0,08% масс. Из рапы Силвер-Пика добывается только литий. Добыча началась в 1966 г. и на начало 70-х годов достигла 8 тыс. т карбоната

лития. На месторождении ведутся работы по организации промышленной добычи сильвинита, а также производства карбоната натрия и окиси магния. Схема извлечения лития рассчитана на использование солнечной энергии. Испарительная система расположена каскадно на дне высохшего с ледникового периода озера. Рассол извлекается из скважин погружными насосами.

Из скважин диаметром 610 мм с глубины 100-210 м рапа перекачивается в испарительные бассейны 10 и 9 площадью 3076 тыс. м² и глубиной 0,931,2 м, из которых она после упарки последовательно поступает в бассейны 8, 7, 6, где происходит садка галита, а концентрация лития достигает 0,12% масс. В бассейн 6 подается известковое молоко, и после перекачки рапы в бассейн 5 и дальнейшей упарки из нее выпадает сульфат кальция и гидроксид магния. Дальнейшая концентрация в бассейнах 4 и 3 и взаимодействие с углекислотой воздуха позволяют осадить карбонат кальция. Лития в бассейне 3 уже 0,19% масс. В бассейне 2 выпадает в осадок глазерит, бассейнах 1 и концентрированной рапы так же и сильвин. Садка галита, естественно, происходит во всех бассейнах. Лития в бассейне концентрированной рапы содержится 0,5% масс. Испарительный сезон длится с апреля по октябрь. Переток из бассейна в бассейн частично идет самотеком. Таким образом, наиболее энергоемкие процессы осуществляются с помощью солнечной энергии. Концентрированная, богатая литием рапа поступает на завод, расположенный в 3 км от бассейнов, где ее смешивают с кальцинированной содой и известковым молоком для осаждения осадков кальция и магния.

Фильтрат, отделенный от осадка, разогревают до 930°C, чтобы уменьшить растворимость карбоната лития, и с помощью соды последний переводят в осадок. В результате получают технический карбонат, содержащий 99% основного вещества, 0,4% SO и 0,3% Na. К недостаткам этой технологии следует отнести высокий расход извести, необходимой для удаления сульфат-ионов и магния, и образование большого количества отходов в виде CaSO и Mg(OH), которые захватывают с собой значительное количество литийсодержащего рассола, что, в конечном счете, приводит к безвозвратным потерям лития. Другим существенным недостатком этого производства является невысокая достигаемая концентрация лития в рассоле (не выше 10 или 60 кг/м³ LiC₁), поступающем на его содовое осаждение. Карбонат лития содержит 1% масс. примесей, таких как Ca, Mg, Na и SO₄²⁻. По данным 1992 г., в США около 70% масс. добычи лития давали сподуменовые рудники шт. Северная Каролина и 30% масс. – рапа Силвер-Пика. Мощность завода «Силвер-Пик» – 7,28 тыс. т карбоната лития в год.

Переработка вод месторождения Салар-де-Атакама. Самое богатое литием месторождение рассолов открыто в 1969 г. на севере Чили в пределах салара (сухого озера-солончака) Атакама площадью около 3000 км². Салар Атакама расположен на севере Чили на высоте 2300 м и ограничен восточной ветвью Кордильер, с запада – Кордильерой Домейко и пустыней Атакама. Озерные отложения, пропитанные рапой, разведаны до глубины 30 м на половине площади салара. Как и месторождение Силвер-Пик, данное месторождение, видимо, относится к рассолам хлоридно-натриевого типа. Содержание в рапе хлорида калия – 2% масс., а хлорида лития – 0,2% масс. Запасы калийных солей – 12 млн. т, хлорида лития – 2,6 млн. т (около 0,85 млн. т

в пересчете на Li_2O). Испаряемость воды в районе салара – 3200 мм/год, количество атмосферных осадков – 15 мм/год. Продукционные рассолы находятся на глубине 30–40 м. Для предотвращения утечки рассола дно и стенки бассейнов инкрустированы слоем поваренной соли толщиной 0,3 м.

Работы по детальной разведке этого месторождения начаты в 1974 г., когда правительственная корпорация Чили CORFO заключила контракт с Foot Minerals Company (США) на разработку технологии получения карбоната лития из подземных рассолов (Foot Minerals Company располагала к тому времени большим практическим опытом добычи и производства лития из подземных рассолов Силвер-Пика). Разработка проекта производственного комплекса была начата в 1976 г., выпуск карбоната лития осуществлен в 1984 г., капитальные затраты на строительство производственного комплекса составили 60 млн. USD долл. Реализация проекта выполнялась фирмой «Чилено-де-Литио» (при долевом участии капитала: 55% Foot Minerals Company и 45% CORFO). Чилийское предприятие по производству карбоната лития находится вблизи г. Антофагасты и имеет производственную мощность 11,8 тыс. т в год.

Из рассолов Салар-де-Атакамы литий извлекают путем постадийной солнечной упарки, в результате которой его концентрация возрастает с ~1,7 до ~43 г/л. Из концентрированного рассола литий извлекается в виде карбоната под действием соды. Из семи скважин глубиной ~30 м рассолы закачивают в испарительные бассейны. К 1984 г. на месторождении было построено 12 бассейнов-испарителей общей площадью 1 км². При упаривании рассолов до ~43 г/л (по литию) возможны его потери за счет выпадения двойной соли состава KLiSO_4 .

По этой причине поступающие на испарение рассолы частично десульфатизируют, смешивая с рассолами, имеющими повышенную концентрацию хлорида калия. В первом бассейне осаждают в основном CaSO_4 , на следующих стадиях концентрирования из рассолов последовательно выделяют галит, сильвинит, карналлит, бисульфат калия. Очистка бассейнов от донных осадков не предусмотрена. Упаренный раствор закачивают в цистерны и по железнодорожной ветке транспортируют на химический завод в г. Антофагасту (170 км), где очищают от магния и кальция под воздействием известкового молока и соды. Очищенный и нагретый до 800°C рассол обрабатывают содой для выделения карбоната лития. Необходимо отметить, что компания Foot Minerals (США) на рубеже 80–90-х годов прошлого века последовательно увеличила свою долю в чилийском производстве до 100% и перешла от добычи в Северной Каролине (США) к переработке карбоната лития из Чили. Принятая на месторождении технология не обеспечивает выделение из рассолов других ценных компонентов (например, сульфата калия, борной кислоты), хотя их стоимость может быть сопоставима со стоимостью карбоната лития. В связи с этим CORFO с привлечением фирм, имеющих опыт работы с рассолами, организовала дополнительные исследования. MINSAL – консорциум, образованный фирмами CORFO, Molimet (Чили) и AMAX (США), в 1988 г. закончил исследование возможности строительства второго литиевого предприятия на месторождении Салар-де-Атакама. Результаты оценок анализировались, и AMAX в 1990 г. сообщила о решении продать свою долю проекта.

Эту долю во второй половине 1992 г. купила компания SQM, являющаяся чилийским производителем удобрений. SQM осуществляла эту закупку ради получения пота-

ша, который использовался ею как сырьевой материал для принадлежащего компании завода, выпускающего нитрат калия. В результате проведенных в консорциуме MINSAL исследований была разработана оригинальная технология комплексного использования сырья, также основанная на постадийной солнечной упарке рассолов, при которой литий выделяется из раствора в виде кристаллов смешанной соли KLiSO_4 . Извлечение лития в кристаллы при их высаливании составляет ~67% масс. Полученная таким образом соль является по существу химконцентратом лития и калия (содержание лития ~4,9% масс.), который можно транспортировать на любые расстояния. Из такого концентрата легко получить товарные соединения лития и калия: если кристаллы растворить в воде, то под действием хлорида калия можно выделить сульфат калия, а затем под действием соды осадить Li_2CO_3 .

Проектом предусматривалось к 1992 г. организовать производство и выпуск в год 0,5 млн. т хлорида калия, 0,2 млн. т сульфата калия и 30 тыс. т борной кислоты. Количество производимого лития будет определяться конъюнктурными соображениями, однако реальная производительность может достигать от 2 до 13 тыс. т карбоната лития в год. Обращают на себя внимание экономические показатели этого производства и, в частности, низкая стоимость получаемого карбоната лития (табл. 22).

Из данных таблицы следует, что производство из рассолов Салар-де-Атакамы может быть исключительно рентабельным и конкурентоспособным при условии комплексного использования сырья.

Стоимость карбоната лития (2210 \$/т) ниже действующих мировых цен на эту продукцию (3330 \$/т). Доля добываемого в Чили лития в мировом производстве литиевого сырья в конце 1992 г. оценивалась в 16% масс. (для сравнения, добыча сподумена в Австралии в это же время обеспечивала потребности мирового рынка в литиевом сырье ориентировочно на 22% масс.).

Необходимо отметить, что Li_2CO_3 , получаемый в Чили, недостаточно высокого качества, что заставило Японию в 1995 г. отказаться от его импорта. Недостаточно высокое качество чилийского карбоната лития можно объяснить неотработанностью применяемых технологических схем.

Существенными недостатками литиевого производства, организованного по схеме Foot Minerals, являются, во-первых, наличие большого количества полученных отходов (гипс и осадки солей), которые не перерабатываются в товарные, а по существу, просто захораниваются в испарительных картах, что приводит к постоянному засолению и загрязнению салара. Во-вторых, требуются постоянные затраты на организацию новых испарительных карт, в-третьих, достаточно высокое содержание магния не позволяет получать литиевые концентраты с содержанием LiC_1 выше 260 кг/м^3 испарением.

Технологическая схема извлечения лития в Туркменистане. После извлечения бора рассол имеет щелочную среду. Сорбционная технология извлечения лития с

Таблица 22

Экономические показатели производства литиевого сырья из рассолов Салар-де-Атакамы при его комплексном использовании

Продукт	Производительность, млн. \$/год	Цена, \$/год	Чистый доход, т/год
Хлориды	0,5 млн.	80	40
Сульфат калия	0,25 млн.	180	45
Борная кислота	30 тыс.	500	15
Карбонат лития	2,5 тыс.	2210	60
Итого			160

применением неорганического сорбента ИСМА-1МП хорошо работает именно в такой щелочной среде.

Процесс извлечения лития состоит из стадий:

- сорбция лития катионитом ИСМА-1МП;
- промывка сорбента водой от оставшегося рассола;
- десорбция лития от катионита раствором азотной кислоты;
- очистка элюата лития от примесей магния, марганца и кальция;
- выпарка литиевого концентрата с дальнейшим осаждением карбоната лития.

Степень извлечения лития из рассола – 90-95%. Конечный продукт – карбонат лития по ОСТ95 217-84 марки Лу-1 (Ходжакулиев и др., 2014).

В 1984 г. в институте ГИДРОИНГЕО организована Лаборатория технологии переработки гидроминерального сырья. Исследованиями занимались Ш.З.Хамудханова, В.Б.Шереметьева, Л.Киселева, Л.Полегенькая, С.С.Нуритдинова, С.Тухтаев, И.Нурматов. Проведены технологические исследования переработки промышленных вод на лабораторном уровне. Разработана схема комплексной переработки подземных вод, включающая: 1) электрохимическую очистку от железа; 2) электрохимическое извлечение магния, хлора и водорода (дополнительно кислый анолит, используемый как окислитель в йодобромной промышленности); 3) извлечение кальция и магния осадительным методом; 4) термическую дистилляцию рассола для его концентрирования по литию; 5) электрохимическое извлечение алюмокарбоната лития; 6) электрохимическую обработку оставшегося рассола NaCl с получением каустической соды (NaOH), хлора и водорода. Последний узел может быть заменен на получение кальцинированной соды и хлористого кальция, который необходим при низкотемпературной технологии производства цемента. На основании лабораторных испытаний установлено, что предварительный экономический эффект переработки 1 м³ подземной воды на Mg, CaO, Sr(NO₃)₂, Li₂CO₃, H₂, Cl₂, насыщенный рассол NaCl и др. высокий и дает значительную прибыль. Необходимо отметить, что вопрос технологии извлечения магния и щелочно-земельных элементов в виде их хлоридов из подземной воды ставился впервые.

Использование подземных хлоридных рассолов как сырья при низкотемпературной солевой технологии производства цемента установлено, что наибольшая рентабельность наблюдается для рассолов с концентрациями NaCl более 65 г/л, повышенным содержанием кальция, магния и минерализацией не менее 100 г/л. Появляется сырьевая база для производства низкотемпературного цемента и каустической соды. Перспективными регионами на эти рассолы являются Бухаро-Каршинский (водоносные горизонты юры и нижнего мела), Сурхандарьинский (водоносные горизонты верхнего мела и палеоцена), Ферганский (водоносные горизонты миоцена) артезианские бассейны и плато Устюрт (водоносные горизонты юры и нижнего мела). Прогнозные запасы описанных рассолов артезианских бассейнов составляют (тыс. м³/сут): плато Устюрт – 147,5, Бухаро-Каршинский – 81,9, Сурхандарьинский – 58,4, Ферганский – 200. Всего по регионам – 487,8 тыс. м³/сут.

Глава VI. ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ЛИТИЕВЫХ ВОД УЗБЕКИСТАНА

Гидрогеологические, гидрогеохимические и технологические предпосылки дают основание предполагать в ближайшем будущем добычу из промышленных вод, кроме йода, лития, рубидия, цезия, брома, вольфрама, германия, золота, серебра, стронция, меди, свинца, ртути, скандия и ряда редкоземельных элементов (уран, торий, самарий и др.) (Быховский, 2009).

Перспективным регионом для комплексного и рационального извлечения вышеперечисленных элементов является верхнеюрский водоносный комплекс (I_3XV-P ; I_3XV-HP и I_3XV-PP горизонты) в пределах Денгизкульского поднятия Бухаро-Каршинского артезианского бассейна.

В настоящее время в Узбекистане, проведенными ранее исследованиями, доказана возможность рентабельной добычи только йода. В работе дана геолого-экономическая оценка эффективности добычи лития из подземных промышленных вод.

Геолого-экономическая оценка месторождений литиевых подземных промышленных вод

Обоснование возможности и целесообразности использования промышленных литийсодержащих подземных вод требует обязательного учета экономических факторов. В задачи геолого-экономической оценки входят:

- определение размеров и оконтуривание месторождений промышленных литиевых вод в различных водоносных комплексах и горизонтах изучаемых артезианских бассейнов Узбекистана;
- количественная оценка прогнозных ресурсов и эксплуатационных запасов промышленных литиевых вод на разведываемых или эксплуатируемых нефтегазовых месторождениях;
- разделение запасов промышленных литиевых вод на балансовые и забалансовые и их категоризация по степени изученности.

Эти задачи решаются путем обоснования кондиционных требований к участкам водозаборов, месторождениям и условиям их эксплуатации и подсчета эксплуатационных запасов. В настоящее время геолого-экономическая оценка является необходимой при оценке запасов промышленных литиевых вод и обосновании практического использования. Это обусловлено тем, что освоение их месторождений и организация товарной продукции требуют больших единовременных капиталовложений, окупаемость которых по времени не должна превышать установленные нормативные сроки. Геолого-экономическая оценка этих месторождений производится на всех стадиях поисково-разведочных работ по единым методическим принципам. Однако содержание и достоверность такой оценки на разных стадиях имеют свои особенности (Бондаренко, 1968, 1971).

На прогнозной стадии задачи геолого-экономической оценки заключаются в выявлении районов, обосновании наличия месторождений, прогнозной региональной оценке эксплуатационных запасов промышленных вод, выборе перспективных площадей для поисковых работ (в частности, поискового бурения) и специальном гидрогеологическом опробовании скважин. Оценка эксплуатационных запасов производится гидродинамическим методом; расчетные гидрогеологические параметры для такой оценки определяются по данным предшествующих исследований (в частности, поискового и разведочного бурения на нефть и газ), результатам поисково-ревизионных работ, а также путем интерполяции и экстраполяции имеющихся данных.

Проведенные нами научно-исследовательские работы относятся к прогнозной стадии, описанной выше. В дальнейшем необходимы: поисковые работы с бурением специальных глубоких скважин, опытно-фильтрационные режимные наблюдения с подсчетом эксплуатационных запасов промышленных литиевых вод по перспективным месторождениям (участкам), соответствующих категориям C_1 и C_2 . Далее следуют: предварительная разведка с обоснованием временных кондиций для добычи лития и утверждение эксплуатационных запасов и ТЭО кондиций в ГКЗ Республики Узбекистан.

Ниже приводятся динамические изменения мировых цен на литиевую продукцию. Цена карбоната лития (Li_2CO_3):

Год	Цена, дол. США за 1 кг
1966	0,99-0,85
2006	3,97-6,61
2009	6,16-6,61
2012	5,07-5,3

Оцененные прогнозные запасы лития в подземных водах Узбекистана составляют 4022 т/год или 4 022 000 кг/год. При условии, что 1 кг Li_2CO_3 стоит 6 дол. США, возможный доход от реализации составит более 24 млн. дол. США в год, что при пересчете на национальную валюту (по состоянию на 01.10.2014 г.) составит более 70 млрд. сум в год.

Затраты на организацию добычи лития из подземных вод значительно сократятся при использовании существующих нефтегазовых эксплуатационных скважин для организации добычи лития из попутных вод. С учетом этого можно принять общие затраты на добычу лития, равными 30% от дохода, тогда чистая прибыль от реализации составит (доход минус расходы): $70 - 21 = 49$ млрд. сум в год или \$24 млн. – \$7,2 млн. = \$16,8 млн. в год.

Приведенные расчеты показывают высокую рентабельность добычи лития из подземных вод артезианских бассейнов Узбекистана. Первоочередными объектами добычи являются: группа структур Денгизкульского поднятия Бухаро-Каршинского артезианского бассейна, а при комплексном извлечении, в перспективе, редких и редкоземельных элементов (Rb, Cs, Sr, B_2O_3 , Ge, I, Br, Au, Se, U и др.) из этих вод рентабельность их использования резко повысится.

Влияние добычи и переработки лития на окружающую среду

Литий характеризуется разносторонней биологической активностью, вплоть до жизненно необходимой для развития животных. Одновременно установлено, что токсическое воздействие лития на организм человека наблюдается при его концентрациях в плазме крови на уровне 1,6 ммоль/л (10 мг/л) и более (табл. 23).

Таблица 23

Предельно допустимые концентрации лития в воздушной и водной средах, мг/м³

Соединение	Показатель	ПДК
Воздушная среда		
Ион Li ⁺	В атмосферном воздухе населенных мест, в воздухе рабочей зоны	Не нормирована
Хлорид лития (ОБУВ)	В атмосферном воздухе населенных мест	0,02
Пыль неорганическая, содержащая SiO ₂ (20-70%)	В атмосферном воздухе населенных мест	0,1(3)***
Пыль, содержащая SiO ₂	В воздухе рабочей зоны	2-4 (3-4)
Рудная пыль (для альбит-сподуменовых и сподумен-микроклин-альбитовых пегматитов)**	В воздухе рабочей зоны	Не более 1
Водная среда		
Ион Li ⁺	В воде водоемов и водотоков, питьевой воде	0,03(2)

Примечание. * – в водной среде, мг/л; ** – рассчитано для содержания BeO в руде 0,1%; *** – среднесуточная ПДК (в скобках – максимальная разовая).

В табл. 23 приведены действующие в России и некоторых странах СНГ предельно допустимые концентрации (ПДК) лития в воздушной и водной средах. В воздухе нормированы только содержания отдельных соединений, токсичность которых установлена. Это хлорид лития, для него определено значение относительно безопасного уровня воздействия (ОБУВ). В воде ПДК установлена только для иона Li⁺. По характеру воздействия на организм человека литий и его наиболее распространенные соединения относят ко второму классу опасности (сильно токсичный).

Литиевые руды представляют опасность для человека в связи с тем, что их главные промышленные типы – гранитные альбит-сподуменовые и сподумен-микроклин-альбитовые пегматиты – содержат до 0,5% высокотоксичного BeO. Кроме того, примесный Be присутствует в главных промышленных минералах лития (г/т): сподумене – до 8, лепидолите – до 45, циннвальдите – до 90. ПДК Be в атмосферном воздухе – 0,001 мг/м³. Поступление Li в окружающую среду приводит к его рассеиванию в гидросфере, причем время пребывания в океанической воде оценивается в 5,8x10⁶ лет. Высокая химическая активность щелочных металлов и хорошая растворимость в воде их основных промышленных соединений способствуют высокой скорости перехода металлов в растворенное состояние. При наличии открытых источников пос-

тупления Li в окружающую среду могут образовываться локальные, опасные для биосферы, концентрации металлов в подвижных и легкоусвояемых формах.

Наиболее опасными промышленными и другими отходами, содержащими Li, являются:

- отвальные шлаки и флюсы металлургических и металлообрабатывающих предприятий, получающих и перерабатывающих литий, алюминиевые сплавы. В отвальных шлаках суммарное содержание лития в формах хлорида, капель металла и сплава может достигать 2% масс. Отработанные флюсы для сварки и пайки металлов, обладающие поверхностной защитной оксидной пленкой (Al, Ti), содержат до 15% масс. хлорида лития и небольшую (до 2-3%) примесь LiF;

- сбросные литийсодержащие растворы производства синтетического каучука, в которых концентрация LiCl может достигать 30% мас. и более;

- отработанные ХИТ (литиевые батареи), в конструкции которых имеется электрод из металлического лития. Отвальные шлаки и флюсы, а также литийсодержащие сточные воды относятся к отходам второго класса опасности. Они не подлежат хранению на полигонах промышленных отходов, накапливаются на предприятиях, хранятся в специальной таре и представляют неосвоенный источник вторичного лития.

ЗАКЛУЧЕНИЕ

Литийсодержащее гидроминеральное сырье в настоящее время является наиболее распространенным источником для получения солей лития. Мировое литиевое производство уже в начале 90-х годов прошлого века перешло на новый вид сырья – рассолы (салары), которые концентрируются по литию в естественных условиях, а концентраты (растворы хлоридов лития и натрия) легко перерабатываются на Li_2CO_3 путем его осаждения содой. На перспективность получения литиевой продукции из концентрированных рассолов (рапы) бессточных озер указывается в публикациях последних лет. В мире освоено несколько крупных месторождений литиевых рассолов. Промышленно перерабатываются рассолы оз. Силвер-Пик (шт. Невада, США) с получением карбоната лития. Реализован проект промышленного получения карбоната лития из саларов Атакамы (Чили).

До начала комплексного использования минерализованных вод с применением передовых технологий (т. е. с середины 30-х до начала 90-х годов прошлого века) товарные соединения лития, полученные из минерализованных вод, с трудом конкурировали с соединениями, выпускаемыми из рудного сырья, поскольку тогда из руд производилось не менее 70% масс. литиевой продукции в мире (в пересчете на литий). Развитие современных технологий принципиально изменило ситуацию, дав стоимостное преимущество экономичным в переработке рассолам, и уже больше половины мирового потребления лития приходится на месторождения гидроминерального сырья.

В этой связи необходимо отметить, что комплексная переработка литийсодержащего гидроминерального сырья с использованием новейших технологий и применением сбалансированных цен обеспечивает рациональное в технологическом, экологическом и экономическом отношении производство соединений лития и другой редкометалльной продукции. Анализ патентных исследований показывает, что с началом комплексного использования минерализованных вод заметно повысилась конкурентоспособность получаемых из них соединений лития, особенно, при эксплуатации месторождений, расположенных в регионах с жарким, засушливым климатом, позволяющим концентрировать литий в водах солнечным упариванием.

Создана база для широкого использования в XXI в. литиеносных рассолов, не концентрируемых (или слабо концентрируемых) по галургическим схемам, в качестве перспективного сырьевого источника в мировом литиевом производстве.

Разработаны технологии переработки целевого литийсодержащего гидроминерального сырья практически любого элементного состава. Для получения концентратов, обогащенных хлоридом лития, предлагается использовать новый тип сорбентов, селективных к ионам лития. Разработаны сорбционная технология для получения элюатов после десорбции лития с насыщенного LiCl сорбента и аппаратура для реализации технологии в сорбционных колоннах с движущимся и неподвижным слоем сорбента. Предложены технологии получения соединений лития с использованием осадительных и электрохимических методов. После концентрирования элюатов полу-

чен карбонат лития методом, принятым в мировой практике, – традиционным осаждением содой. Разработаны оригинальные методы получения высокочистого моногидрата гидроксида лития с использованием мембранного электролиза растворов после селективной сорбции лития и концентрирования элюатов, полученных десорбцией хлорида лития с сорбента, или раствора сульфата лития, полученного нейтрализацией карбонатом лития анолита, содержащего серную кислоту.

В настоящее время обоснована целесообразность расширения сырьевой базы для получения лития и его соединений за счет вовлечения в мировое производство нетрадиционных сырьевых источников ЛГМС, а именно, рассолов хлоридного кальциевого и хлоридного магниевых типов путем их безреагентного сорбционного обогащения на селективном неорганическом сорбенте – хлорсодержащей разновидности двойного гидроксида алюминия, лития дефектной структуры – $\text{LiCl} \cdot 2\text{Al}(\text{OH})_3 \cdot m\text{H}_2\text{O}$ (ДГАЛ-Cl).

На основе использования приема сорбционного безреагентного обогащения ЛГМС разработаны концепции комплексной переработки различных видов целевого и нецелевого литийсодержащего гидроминерального сырья России и Китая. Показана возможность распространения разработанной технологии на сырьевые источники (рассолы, салары) американского континента.

Разработана технология одновременного получения брома и бромида лития из бромоносных рассолов сибирской платформы. Созданы технологии для получения литийсодержащих концентратов и соединений лития из рассолов, попутно добываемых с полезными ископаемыми (нефть, алмазы), и подземных хлоридных высокоминерализованных рассолов, обогащенных магнием и кальцием, без их предварительного упаривания.

Чтобы не зависеть от импорта, в Узбекистане необходимо налаживать получение лития из гидроминеральных источников, включая попутные воды. Для расширения сырьевой базы необходимо продолжить исследования по гидрогеологическому опробованию глубоких водоносных горизонтов при поисково-разведочном бурении на нефть и газ:

- проводить детальные поисково-разведочные работы с оценкой эксплуатационных запасов подземных промышленных литиевых вод по перспективным участкам с их утверждением в ГКЗ Республики Узбекистан;
- совершенствовать аналитические методы изучения химического и микрокомпонентного состава подземных промышленных вод;
- проводить химико-технологические исследования по рациональному и комплексному извлечению редких и редкоземельных элементов из промышленных вод;
- восстановить работы гидрогеологической опробовательской партии ГП «Западно-Узбекистанская гидрогеологическая экспедиция».

Также необходима работа над новыми технологиями по максимальному комплексному извлечению микроэлементов из подземных вод и экономическому обоснованию. Для привлечения иностранных инвесторов необходимо по наиболее перспективным на литий месторождениям провести детальные поисково-разведочные работы и утвердить эксплуатационные запасы литийсодержащих подземных вод в ГКЗ Республики Узбекистан.

ЛИТЕРАТУРА

Айдинян Р.Х. Распределение редких щелочей в коллоидах почв и участие растительности в этом процессе // Геохимия. 1954. № 4 - С. 346-357.

Альтовский М.Е. Подземное испарение и формирование химического состава высокоминерализованных подземных вод / Тр. ВСЕГИНГЕО, новая серия. - М., 1964. - Т. 9. - С. 176-188.

Арсанова Г.И. Редкие щелочи в термальных водах вулканических областей. - Новосибирск: Наука, 1974. - 111 с.

Бабаев А.Г. Геотектоническая история Западного Узбекистана и региональные закономерности размещения скоплений нефти и газа. - Л.: Недра, 1966. - 372 с.

Бакиев С.А. Закономерности распространения рубидия, цезия и стронция в подземных водах Бухаро-Каршинского артезианского бассейна // Вопросы геохимии и динамики подземных вод Средней Азии / Тр. ГИДРОИНГЕО. - Т.: САИГИМС, 1979. - Вып. 4. - С. 18-25.

Бакиев С.А. Промышленные воды Узбекистана и перспективы их использования. - Т.: ГП «Институт ГИДРОИНГЕО», 2012. - 140 с.

Бакиев С.А. Результаты статистической обработки химического состава промышленных редкометалльных вод Бухаро-Каршинского артезианского бассейна // Вопросы геохимии и динамики подземных вод Средней Азии / Тр. ГИДРОИНГЕО. - Т.: САИГИМС, 1981. - Вып. 5. - С. 70-81.

Бакиев С.А., Волков В.П., Калабугин Л.А., Щеглов В.С. Инструкция по применению классификации эксплуатационных запасов подземных вод к месторождениям промышленных вод. - Т.: Госкомгеологии РУз, 1994. - 20 с.

Бакиев С.А., Калабугин Л.А. К вопросу о формировании промышленных вод артезианских бассейнов Юго-Западного Узбекистана // Вопросы геохимии и динамики подземных вод Средней Азии / Тр. ГИДРОИНГЕО. - Т.: САИГИМС, 1977. - Вып. 2. - С. 95-100.

Бакиев С.А. Подземные воды Бухаро-Каршинского артезианского бассейна как возможный источник редких элементов // Вопросы геохимии и динамики подземных вод Средней Азии / Тр. ГИДРОИНГЕО. - Т.: САИГИМС, 1978. - Вып. 3. - С. 50-56.

Беус А.А. К геохимии лития в процессах послемагматического метасоматоза / Тр. ИМГРЭ АН СССР. - М., 1961. - Вып. 7. - С. 50-60.

Беус А.А., Субботин К.Д. Литий, бериллий, фтор как индикаторы глубинных поисков берилловых месторождений // Советская геология. - 1964. - № 5. - С. 50-58.

Бойко Т.Ф. Литий, рубидий, цезий // Металлы в осадочных толщах. Черные металлы. Цветные, легкие металлы. - М.: Наука, 1964. - С. 392-421.

Бойко Т.Ф. Озеро Серпс и его литиеносные и вольфрамносные рассолы / Тр. ИМГРЭ АН СССР. - М.: АН СССР, 1963. - Вып. 17. - С. 47-66.

Бойко Т.Ф. Редкие щелочи в зоне гипергенеза // Редкие элементы в осадочных и метаморфических породах. - М.: АН СССР, 1964. - С. 138-183.

Бондаренко С.С. Геолого-экономические критерии оценки месторождений подземных промышленных вод // Советская геология. - 1968. - № 7. - С. 108-119.

Бондаренко С.С. Задачи и особенности изысканий промышленных подземных вод; последовательность их проведения // Изыскания и оценка запасов промышленных и подземных вод. - М.: Недра, 1971. - С. 32-39.

Бондаренко С.С. Методические указания по поискам и разведке месторождений промышленных вод. - М., 1969. - С. 149-153.

Бондаренко С.С. Региональная оценка прогнозных эксплуатационных запасов подземных промышленных вод // Изыскания и оценка запасов промышленных подземных вод. - М.: Недра, 1971. - С. 231-241.

Бондаренко С.С., Иовчев Р.И., Клименко И.А. и др. Вопросы рационального использования попутных вод нефтяных и газовых месторождений в качестве сырьевого источника редких элементов // VI Всесоюз. конф. по химии и технологии редких щелочных элементов: Тез. докл. - М.: Наука, 1983. - С. 154-155.

Бондуков Б.И. К вопросу о распределении лития в растениях / Тр. Биохим. лаб. - М.: АН СССР, 1939. - 6 с.

Быховский Л.З. Минеральное сырье / Тр. Всерос. НИИ. Серия геолого-экономическая. - М., 2009. - 156с.

Воронов А.В. Влияние общей минерализации подземных вод на содержание лития в рассолах некоторых регионов Русской платформы // Бюл. МОИП, отдел геол. - 1964. - Вып. 4. - Т. XXXIX. - С. 133-136.

Воронов А.В., Самойлов О.Я., Соколов Д.С. О миграции микрокомпонентов в подземных рассолах (на примере лития) // Бюл. МОИП, отдел геол. - 1966. - Т. XLI. - Вып. 1. - С. 110-118.

Галаховская Т.В. Распределение бора, лития, стронция и брома в процессе испарения морской воды / В кн.: Физико-химические исследования солей и рассолов. - Л.: Химия, 1967, - С. 84-107

Гинзбург А.И. Некоторые особенности геохимии лития / Тр. Минералог. музея АН СССР. - 1957. - Вып. 8. - С. 29-41.

Голева Г.А., Торикова М.В., Алексинская Л.Н., Солодов Н.А. Закономерности распространения и формирования металлоносных рассолов. - М.: Недра, 1981. - 264 с.

Дзоценидзе Г.С. Горячие рассолы Красного моря и вопросы вулканогенно-осадочного рудогенеза // Геология рудных месторождений. - 1972. - № 5. - С. 3-21.

Еникеев Н.И., Калабугин Л.А., Бакиев С.А. К вопросу распространения подземных вод с повышенным содержанием редких элементов в пределах Узбекистана // Прикладные вопросы гидрогеохимии и гидродинамики Средней Азии / Тр. ГИДРОИНГЕО. - Т.: САИГИМС, 1975. - Вып. 1. - С. 45-55.

Ефимочкин Н.В., Иовчев Р.И., Бездетный А.А. Временные рекомендации по обоснованию запасов попутных вод нефтяных месторождений в качестве минерального сырья. - М.: ВСЕГИНГЕО, 1967. - 132 с.

Ибрагимов Д.С., Сабиров К.А. Гидрогеохимические особенности мезозойских отложений Бухаро-Каршинского артезианского бассейна / Тр. ГИДРОИНГЕО. - Т.: САИГИМС, 1977. - Вып. 2. - С. 55-80.

Ибрагимов Д.С., Гаврилюк М.Г., Калабугин Л.А. и др. Геологические аспекты формирования промышленных рассолов. - Т.: Фан, 1990. - 132 с.

Иванов Д.Н. Распространение лития, рубидия и цезия в продуктах современного выветривания и почвах // Кора выветривания. Геология, минералогия, вопросы выветривания, минеральные месторождения. - М.: АН СССР, 1956. - Вып. 2. - С. 77-84.

Инструкция о содержании, оформлении и порядке представления в ГКЗ РУз технико-экономических обоснований кондиций для подсчета эксплуатационных запасов промышленных вод. - Т.: Госкомгеологии РУз, 1994. - 13 с.

К распределению редких щелочей и таллия в породах и минералах гранитоидных массивов Западного Узбекистана и центральной части Чаткало-Кураминских гор // Узб. геол. журн. - 1963. - № 3. - С. 26-34.

Калиненко В.В., Морозов Н.П. Литий, калий, рубидий, цезий в осадках Белого моря // ДАН СССР. - 1974. - Т. 216. - № 1. - С. 183-186.

Касымходжаев У.С., Осичкина Р.Г., Набиев М.Н., Гурвич Г.И. Литий в галогенной толще верхней юры Узбекистана // Новые виды сложных удобрений. - Т.: Фан, 1970. - С. 94-97.

Кирюхин В.К., Швец В.М. Некоторые вопросы накопления и миграции редких щелочных металлов в гидротермах южной Камчатки // Вопросы формирования химического состава подземных вод / Тр. ВСЕГИНГЕО. - М., 1979. - Вып. 128. - С. 73-79.

Кирюхин В.К., Швец В.М. О механизме накопления редких щелочных металлов в подземных водах // Бюл. МОИП, отдел геол. - 1976 - Вып. 2. - Т. 1. - С. 129-133.

Кислик В.З., Лавров А.П., Лудинович Ю.И. и др. Редкие щелочные металлы в солях и рассолах Припятской впадины // ДАН БССР. - 1973. - № 4. - С. 364-367.

Киссин И.Г., Пахомова С.И. Об основных направлениях метаморфизации подземных вод под влиянием высоких температур (по экспериментальным данным) // Изв. АН СССР. - 1970. - № 2. - С. 74-89.

Клименко И.А., Калугин В.П. Редкие щелочные элементы в природных водах и способы их извлечения. - М.: ВИЭМС, 1975. - 38 с.

Коган Б.И. Редкие металлы. - М.: Наука, 1978. - 348 с.

Коган Б.И., Названова В.А. Новые события в литиевой промышленности за рубежом. - М.: Недра, 1975. - 46 с.

Коган Б.И., Названова В.А. Промышленное использование природных континентальных минерализованных вод за рубежом // Редкие элементы. Сырье и экономика. - М., 1974. - № 10. - С. 4-117.

Корценштейн В.Н. Гидрогеология Бухаро-Хивинской газонефтеносной области / Тр. ВНИИГАЗ. - Л.: Недра, 1964. - Вып. 20/28. - 239 с.

Костенко И.Ф. К вопросу распределения редких щелочей в процессе галогенеза / Тр. ВНИИ соляной промышленности. - М., 1971. - Вып. 19/27. - С. 9-12.

Краускопф К.В. Горные породы как источник металлоносных флюидов // *Геохимия гидротермальных рудных месторождений*. - М., 1970. - С. 11-39.

Кременецкий А.А., Линде Т.П., Юшко Н.А., Шадерман Ф.И. Минеральное сырье. Литий: Справочник. - М.: ЗАО «Геоинформмарк», 1999. - 49 с.

Кудряков В.А. Формирование залежей нефти и газа как элементов геогидродинамических систем. - Т.: Фан, 1976. - 128 с.

Куликов Г.В., Балашов Л.С., Бондаренко С.С. и др. Изучение закономерностей формирования и размещения месторождений промышленных, минеральных и термальных подземных вод // *Советская геология*. - 1981. - № 9. - С. 3-12.

Лепешков И.Н., Шапошников А.Н., Зайцева И.О. О распределении лития в природных солях // *Геохимия*. - 1970. - № 11. - С. 1311-1328.

Лурье Л.М. Физико-химические исследования солей и рассолов. - Л.: Химия, 1967. - С. 84-106.

Методические рекомендации по гидрогеохимическим работам масштаба 1:1000000 и 1:200000, проводимым при многоцелевом геохимическом картировании. - М., 2011. - 93 с.

Навохатский И.П., Калинин С.К. Литий в термальных водах Казахстана // *ДАН СССР*. - 1940. - Т. 29. - № 1. - С. 54-55.

Нуриев А.И., Шик Э.И., Абдуллаева В.С. и др. О распределении щелочных металлов в пластовых водах и осадочных породах нефтяных месторождений // *Геохимия*. - 1974. - № 7. - С. 880-866.

Остроушко Ю.И., Бучихин П.И. и др. Литий, его химия и технология. - М.: Главное управление по использованию атомной энергии при Совете Министров СССР, 1960. - 200 с.

Перельман А.И. Геохимия. - М.: Высшая школа, 1979. - 424 с.

Пиннекер Е.В. Рассолы Ангаро-Ленского артезианского бассейна. - М.: Наука, 1966. - 331 с.

Плотников Б.А. Провинции, районы, месторождения и эксплуатационные участки, промышленных подземных вод // *Изыскания и оценка запасов промышленных подземных вод*. - М.: Недра, 1971. - С. 27-32.

Плющев В.Е., Степина С.Б., Федоров П.И. Химия и технология редких и рассеянных элементов. - М.: Высшая школа, 1976. - 368 с.

Пуанова С.А. Микроэлементы нефтей, их использование при геохимических исследованиях и изучении процессов миграции: Автореф. дисс. ... канд. геол.-мин. наук. - М.: ИГИРГИ, 1972. - 150 с.

Редкие щелочные металлы в породах Украины / Кол. авт.: Б.Д.Мицкевич, [и др.] - Киев: Наукова думка, 1976. - 231 с.

Редкие элементы. Сырье и экономика. - М.: ИМГРЭ, 1974. - Вып. 10. - 128 с.

Ронов Д.Б. и др. Геохимия лития в осадочном цикле // *Геохимия*. - 1970. - № 2. - С. 131-161.

Солодов Н.А. Минералогия литофильных редких металлов. - М.: Недра, 1970. - 175 с.

Солодов Н.А., Балашов Л.С., Кривенцкий А.А. Геохимия лития, рубидия, цезия. - М.: Недра, 1980. - 232 с.

Стрепетов В.П. О механизме образования рассолоносных пластовых коллекторов в соляных толщах // Вопросы формирования и использования ресурсов подземных промышленных и термальных вод / Тр. ВСЕГИНГЕО. - М., 1970. - Вып. 27. - С. 139-156.

Султанходжаев А.Н., Зиган Ф.Г. Микрокомпоненты подземных вод Ферганской долины. - Т.: Фан, 1975. - 159 с.

Тройцкий В.И. Верхнетриасовые и юрские отложения Южного Узбекистана. - Л.: Недра, 1967. - 310 с.

Туляганов Х.Т., Кудряков В.А. Гидрогеология нефтегазоносных областей Узбекистана. - М.: Недра, 1973. - 151 с.

Фурсиков Г.Л. Литий и рубидий в подземных водах Припятской впадины // Геологические исследования земной коры Белоруссии. - Минск: Наука и техника, 1980. - С. 25-28.

Хамрабаев И.Х. и др. Глубинное строение земной коры Узбекистана по геолого-геофизическим исследованиям (западная часть Южного и Среднего Тянь-Шаня). - Т.: Фан, 1971. - 276 с.

Хасанов А.С. Гидрогеохимические условия юрских отложений Бухаро-Каршинского бассейна // Вопросы гидрогеохимии Средней Азии. - Т.: САИГИМС, 1972. - С. 46-71.

Хасанов А.С. Гидрогеохимия мезозойских отложений Амударьинского артезианского бассейна. - Т.: Фан, 1976. - 136 с.

Хасанов А.С., Бакиев С.А., Ибрагимов Д.С. и др. Подземные воды Узбекистана как комплексный источник редких элементов // VI Всесоюз. конф. по химии и технологии редких щелочных элементов: Тез. докл. - М.: Наука, 1983. - С. 156.

Хасанов А.С., Еникеев Н.И., Бакиев С.А. Перспективы подземных вод Узбекистана на редкие элементы // Проблемы геологии / Тр. ТашГУ. - Т., 1975. - Вып. 484. - С. 134-139.

Хитаров Н.И., Колонии Г.Р. О переходе редких щелочных элементов из альбитизированного микроклина в раствор в гидротермальных условиях // Экспериментальные исследования в области глубинных процессов. - М.: АН СССР, 1962. - С. 133-135.

Ходькова И.А., Темп С.Д. Распределение лития, рубидия и цезия в водах и твердых выбросах грязевых вулканов Керченско-Таманской области // Геохимия - 1970. - № 12. - С. 1496-1503.

Хорстман Э.Л. Распределение лития, рубидия и цезия в изверженных и осадочных породах // Геохимия редких элементов. - М.: МГРИ, 1959. - С. 9-68.

Хрусталева Ю.П., Резников С.А., Дерноусов С.Я. Литий, рубидий и цезий в донных осадках Аральского моря // ДАН СССР. Сер. геол. - 1975. - Т. 222. - № 1. - С. 212.

Шварцев С.Л. О формировании крепких и предельно насыщенных подземных рассолов // Проблемы осадконакопления. - Новосибирск: Наука, 1977. - Т. 1. - С. 192-195.

Щербина В.В. Основы геохимии. - М.: Недра, 1972. - 295 с.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ (С.А.Бакиев, А.С.Ибрагимов)	3
Глава I. ИСТОРИЯ ИЗУЧЕННОСТИ ЛИТИЯ И РЕДКИХ ЭЛЕМЕНТОВ В ПОДЗЕМНЫХ ВОДАХ УЗБЕКИСТАНА И ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ О МЕСТОРОЖДЕНИЯХ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПОДЗЕМНЫХ ВОД (Р.А.Турсунметов, С.А.Бакиев, С.А.Арипов)	6
Основные понятия о месторождениях промышленных подземных вод	8
Методика проведения гидрогеологических исследований промышленных литиевых вод	11
Глава II. ГИДРОГЕОХИМИЯ ЛИТИЯ И ОБЛАСТИ ЕГО ПРИМЕНЕНИЯ (С.А.Бакиев, С.А.Арипов, А.С.Ибрагимов)	13
Генетические типы промышленных месторождений высококонцентрированных рассолов	15
Оценка прогнозных ресурсов подземных промышленных литиевых вод Узбекистана	20
Утвержденные запасы подземных промышленных вод Республики Узбекистан	22
Глава III. ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ, ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ, СОДЕРЖАНИЕ ЛИТИЯ В ПОДЗЕМНЫХ ВОДАХ (С.А.Бакиев, А.С.Ибрагимов)	26
Бухаро-Каршинский артезианский бассейн	26
Ферганский артезианский бассейн (Ж.Болтабоев)	45
Артезианский бассейн Плато Устюрт	61
Глава IV. УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ЛИТИЙСОДЕРЖАЩИХ ВОД (С.А.Бакиев, А.С.Ибрагимов)	72

Глава V.	ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СХЕМЫ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ЛИТИЯ (С.А.Бакиев, А.С.Ибрагимов)	88
	Переработка рапы соляных озер и рассолов морского типа	88
	Способы галургической переработки природных минерализованных вод	91
Глава VI.	ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ЛИТИЕВЫХ ВОД УЗБЕКИСТАНА	97
	Геолого-экономическая оценка месторождений литиевых подземных промышленных вод (Р.А.Турсунметов, С.А.Бакиев)	97
	Влияние добычи и переработки лития на окружающую среду (С.А.Бакиев, С.А.Арипов)	99
	ЗАКЛЮЧЕНИЕ (Р.А.Турсунметов, С.А.Бакиев, С.А.Арипов, А.С.Ибрагимов)	101
	ЛИТЕРАТУРА	103

Авторы:

С.А.Бакиев, С.А.Арипов, А.С.Ибрагимов, Р.А.Турсунметов,
Ж.Н.Иноятов, Ж.Болтабоев

**ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАСПРОСТРАНЕНИЯ
И УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ ПОДЗЕМНЫХ ПРОМЫШЛЕННЫХ
ЛИТИЕВЫХ ВОД УЗБЕКИСТАНА**

*Утверждено к печати Ученым советом Государственного предприятия
«Институт ГИДРОИНГЕО»*

Редактор, технический редактор, оригинал-макет Т.Г.Кочергина
Компьютерная верстка, оригинал-макет Н.И.Левина
Обложка Н.Сагдуллаев

Лицензия АІ № 258 от 31.12.2014 г.

Подписано в печать 20.10.2015 г. Формат 70×108.

Бумага кн.-журн. Гарнитура «Arial». Печать трафаретная (ризография).

Усл. печ. л. – 13,75. Уч.-изд. л. – 15. Тираж 150. Заказ №1.

Адрес электронной почты: hydrouz@inbox.uz

Адрес редакции ГП «Институт ГИДРОИНГЕО»: г. Ташкент, ул. Т. Олимлар, 64

Отпечатано в типографии ГП «НИИМР».

Ташкент, ул. Т.Шевченко, 11а.

