

**Шульгина А.А.**

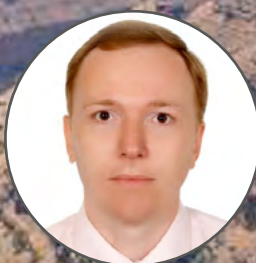
ООО «Тюменский Нефтяной Научный Центр»
 Специалист группы по гидрогеологическому
 сопровождению проектов Восточной Сибири
 и новых активов
aagudkova2@tnnc.rosneft.ru

**Савельев Е.А.**

ООО «Тюменский Нефтяной Научный Центр»,
 Руководитель группы по гидрогеологическому
 сопровождению проектов Восточной Сибири
 и новых активов
easavelyev@tnnc.rosneft.ru

**Белкин И.Ю.**

ООО «Тюменский Нефтяной Научный
 Центр», начальник отдела подсчета
 запасов подземных вод
iybelkin@tnnc.rosneft.ru

**Дубовецкий В.Н.**

ООО «Тюменский Нефтяной Научный
 Центр» Начальник управления аудита
 запасов и мониторинга ресурсной базы
VNDuboveckiy@tnnc.rosneft.ru

ПЕРСПЕКТИВЫ ЭКСПЛУАТАЦИИ МЕСОПОТАМСКОГО АРТЕЗИАНСКОГО БАСЕЙНА В КАЧЕСТВЕ ИСТОЧНИКА ПИТЬЕВЫХ ПОДЗЕМНЫХ ВОД И ГИДРОМИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ НА ПРИМЕРЕ ОДНОЙ ИЗ СТРАН БЛИЖНЕГО ВОСТОКА

Наличие питьевой воды в странах Ближнего Востока с господствующим аридным климатом во многом определяет санитарное и демографическое благосостояние региона. Применительно к условиям разработки месторождений углеводородного сырья наличие внутрипромыслового автономного подземного водозабора также позволит снизить логистические и иные риски, связанные с доставкой питьевой воды. Помимо питьевого водоснабжения, подземные воды мезозойского этажа на глубине от 1000 до 5200 метров обладают высоким экономическим потенциалом как источник геотермального и гидроминерального сырья.

Ключевые слова: Месопотамский артезианский бассейн, подземные воды, питьевое водоснабжение, гидроминеральное сырье, геотермальное сырье, УВС, водозаборная скважина.

На сегодняшний день единственным источником централизованного водоснабжения в Иракском Курдистане являются поверхностные воды, ресурсы которых существенно угнетены засушливостью климата, а также интенсивной техногенной нагрузкой в виде бытовых и промышленных сбросов. Структура потребления воды в целом по стране представлена на **рисунке 1**.

В сложившейся ситуации возрастает спрос на поиск альтернативного источника водоснабжения, которым могут являться подземные воды. Таким образом, проблематика изучения гидрогеологических условий данного региона является весьма актуальной.

В физико-географическом отношении район расположен в предгорной местности. Климат континентальный. Территория находится в зоне дефицитного количества осадков, что обуславливает отсутствие временных водотоков.

В районе изучения основными водными артериями являются р. Тигр и ее приток р. Большой Заб (**Рис. 2**).

Река Тигр является единственным источником централизованного водоснабжения на базе поверхностных вод в рассматриваемой территории. На месторождения углеводородного сырья (УВС), ввиду отсутствия инфраструктуры, пресная вода доставляется посредством автотранспорта с ближайшего водохранилища Мосул. Воды р. Большой Заб используются для орошения, создание водохранилищ, невозможно в связи с большой вероятностью затопления территорий [1].

Район работ расположен в Месопотамском краевом прогибе. Территория характеризуется сложным геологическим строением с развитием надвиговых блоков (**Рис. 3**). В тектоническом плане приурочена к слабоскладчатой зоне с развитием узких протяженных ассиметричных складок.

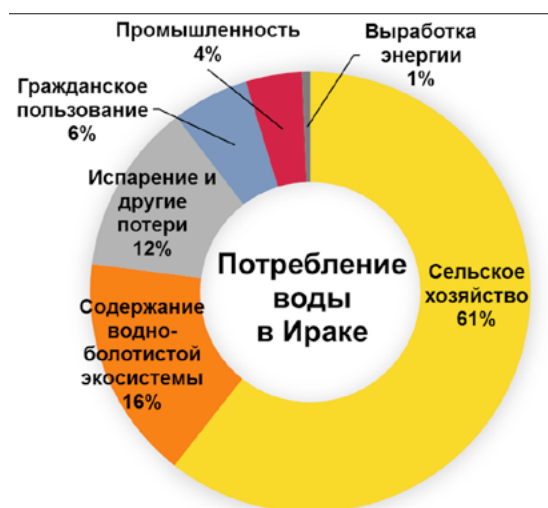


Рис. 1.
Потребление воды в Ираке

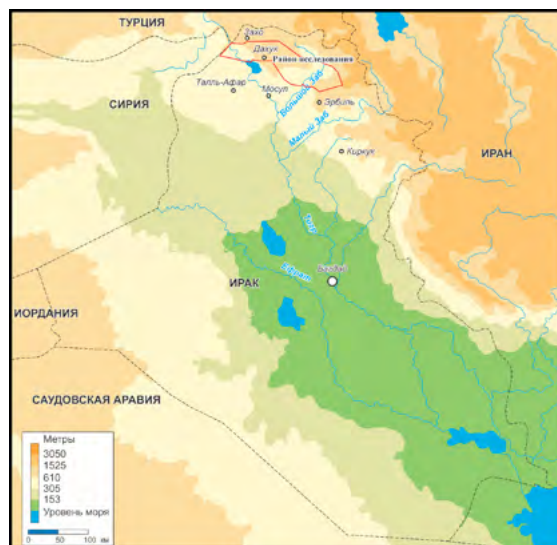


Рис. 2.
Схема расположения района исследования

В гидрогеологическом отношении рассматриваемая территория расположена в северной части Месопотамского артезианского бассейна. Его формирование происходило в морской обстановке осадконакопления.

Основным источником восполнения запасов подземных вод является инфильтрационное питание, получаемое со стороны северо-восточных предгорий и постоянных водотоков. Величина годового стока варьирует от 350 до 550 мм в год. Региональным направлением разгрузки является долина р. Евфрат.

В составе Месопотамского артезианского бассейна выделяется шесть гидрогеологических подразделений, многие из которых имеют выходы на дневную поверхность в результате активных и высокоамплитудных тектонических процессов в кайнозойскую эпоху геологической истории региона:

1. Водоносный четвертичный горизонт;
2. Локально-водоносный неогеновый комплекс;
3. Локально-водоносный палеогеновый комплекс;
4. Локально-водоносный меловой комплекс;
5. Локально-водоносный юрский комплекс (отложения являются продуктивными на нефть и газ);
6. Локально-водоносный триасовый комплекс (отложения являются продуктивными на нефть и газ).

Краткая характеристика гидрогеологических подразделений представлена ниже и на **рисунке 4**.

Водоносный четвертичный горизонт распространен не повсеместно, сложен в основном грубообломочными породами толщиной до 20 м. В районе бассейна выявлены грунтовые воды на глубине 5-15 м. Дебиты связанных с ними родников до 5200 м³/сут и выше. По химическому составу воды горизонта преимущественно пресные, гидрокарбонатные кальциевые [2].



Рис. 3.
Фрагмент геологической карты района работ [1]

Локально-водоносный неогеновый комплекс представлен формациями Бахтиари, Фарс, Джерби и Ефрат. Толщина комплекса составляет от 600 до 1900 м. Комплекс залегает на глубинах от 0 до 1920, имея выходы на дневную поверхность (**Рис. 4**).

К отложениям данных формаций приурочены грунтовые и напорные воды. В северной части Месопотамского бассейна в районе г. Мосул уровень напорных вод залегает на глубине около 130 м. Дебиты скважин, вскрывших напорные воды в песчаниках, достигают 4320 м³/сут [2].

По результатам испытаний разведочных скважин на глубинах 1113-1319 м получен приток воды с дебитом 32-105 м³/сут, температура подземных вод составляет 48-52°C, пластовое давление 18-20 МПа.

По химическому составу подземные воды водоносного неогенового комплекса хлоридные натриевые с минерализацией до 1 г/дм³.

Локально-водоносный палеогеновый комплекс представлен формациями группы Кирук, Пайла Спи, Геркус, Хурмала. Толщина отложений 650-850 м. Залегает на глубинах от 0 до 2770 м (с выходами на дневную поверхность). Комплекс сложен карбонатными породами (известняками,

доломитами, мергелями). Статический уровень устанавливается на отметках 30-170 м. При выходе палеогеновых отложений дебиты скважин достигают 2592 м³/сут [2].

По результатам испытаний разведочной скважины на глубине 1410 м получен приток воды с дебитом 30 м³/сут, температура подземных вод составляет 66°C, пластовое давление 20 МПа.

По химическому составу воды комплекса гидрокарбонатные и сульфатно-хлоридные натриевые. В районе исследования воды пресные (0,5 г/дм³), реже слабосоленоватые (до 1,5 г/дм³) [1].

Локально-водоносный меловой комплекс представлен формациями Акра, Бехме, Кометан, Докан, Камачука и Гарагу. Толщина 915-1220 м. Преимущественно залегает на глубинах от 2770 до 4970 м, однако отложения имеют единичные выходы на дневную поверхность в районе г. Дахук и северо-восточной части территории.

В основном отложения представлены карбонатными породами с прослоями песчаников. В целом по району глубина залегания уровня локально-водоносного мелового комплекса устанавливается на глубине от 13 до 147 м. По результатам испытаний меловых отложений по-

Гидрогеологические подразделения	Глубина, м	Толщина, м	Результаты испытаний			Литологическая колонка
			T°C	Rпл, МПа	Глубина замера, м	
*Водоносный четвертичный горизонт	до 20	до 20	-	-	-	Пойменные отложения Аллювиальные и флювиальные отложения Бахтияри
Локально-водоносный неогеновый комплекс *	до 1920	600-1900	48-52	18-20	1113-1319	Фарс Джерби Дхибан Серикагни Ефрат
Локально-водоносный палеогеновый комплекс *	до 2770	650-850	66	20	1410	Группа Кирук Пайла Спи Джадала Геркус Алиджи Хурмала Колош
Локально-водоносный меловой комплекс *	до 4970	1415-2220	74-85	26-36	1381-1864	Акра Бехме Шираниш Танжер Кометан Докан Баламбо Камчука Гарагу Сармонд
Локально-водоносный юрский комплекс	до 5890	790-920	88-106	33-41	2071-3261	Чиа Гара Готния Барсарин Ниджмах Наокелекан Саргелу Алан Мус Сехканиян Айдаи
Локально-водоносный триасовый комплекс	до 7565	1175-1675	123-132	50-71	3858-4067	Бутмах Сарки Балути Курра Чайн Джели Хана

УСЛОВНЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ:

Известняк	Ангидрит	Конгломераты
Ангидритовый известняк	Галит	Аргилит/Сланец/Мергель
Мергелевый известняк	Песчаники/Кварциты	Имеются выходы на дневную поверхность
Доломит	Алеврит	

Рис. 4. Сводный гидрогеологический разрез

Таблица 1.

Сравнение нормативов ПДК с реальными концентрациями элементов в подземных водах г. Дахук и поверхностными водами р. Тигр.

Показатель	Содержание элементов в подземных водах			Содержание элементов в р. Тигр		ПДК	
	min	max	среднее	Север	Юг	РФ	ВОЗ
Температура, °С	19,6	21,6	20,68	-	-	-	-
Мутность, мг/дм ³	2,9	5,2	4,1	2600	-	1,5	-
pH, д.ед	6,8	8,7	7,8	5,5	8,5	6-9	-
Минерализация, мг/дм ³	735,5	929,5	815,6	280	1800	1000	1000
Растворенный кислород, мг/дм ³	4,2	6,7	5,3	-	-	-	-
БПК, мг/дм ³	1,2	3,1	2	-	-	-	-
ХПК, мг/дм ³	25	53	34,8	-	-	15	-
Хлориды, мг/дм ³	244	376	304	20	519	350	250
Сульфаты, мг/дм ³	226	342	271,2	36	390	500	250
Нитраты, мг/дм ³	17	46	28,5	0,12	11,5	45	50
Кальций, мг/дм ³	119	198	157,6	3	161	-	-
Магний, мг/дм ³	52	91	70,8	16	139	50	-
Натрий, мг/дм ³	8,5	13,2	10,6	4	405	200	-
Калий, мг/дм ³	0,2	2,7	1,4	-	-	-	-
Кадмий, мг/дм ³	-	-	-	0,003	-	0,001	0,003
Свинец, мг/дм ³	-	-	-	0,01	-	0,01	0,01
Ртуть, мг/дм ³	-	-	-	0,001	-	0,0005	0,001
Медь, мг/дм ³	-	-	-	1	-	1	1
Цинк, мг/дм ³	-	-	-	3	-	5	3
Нитриды, мг/дм ³	-	-	-	3	-	3	3
Количество бактерий, коллн/100 мл	0	0	0	1,7•10 ⁶	-	0	0

* ПДК – предельно допустимая концентрация

лучен приток воды с дебитом от 86 до 130 м³/сут. Температура пластовых вод составляет 74-85°С, пластовое давление 26-36 МПа.

По химическому составу, при выходе на поверхность меловых отложений, воды гидрокарбонатные кальциевые с минерализацией до 3 г/дм³. Состав глубоких вод не изучен.

Нижняя часть локально-водоносного мелового комплекса представлена формацией Чиа Гара. Породы данных отложений являются региональным водоупором и представлены переслаиванием глин и алевролитов, содержащими богатые аммонитовые фауны. Толщина отложений составляет от 500 до 1000 м.

Локально-водоносный юрский комплекс представлен формациями Готния, Ниджмах, Саргелу, Алан, Мус, Айдаёа, Сехканиян, Сарки и Бутмах. Отложения являются продуктивными при разработке месторождений УВС.

Водоносный комплекс сложен карбонатными породами толщиной 790-920 м, залегает на глубинах 4970-5890 м. По результатам ис-

пытаний юрских отложений получен приток воды с дебитом, достигающим 3750 м³/сут. Температура подземных вод варьирует от 88 до 106°С, пластовое давление от 33 до 41 МПа. Воды хлоридно-натриевого состава, соленые с величиной минерализации 18,0-28,8 г/дм³ (в среднем 21,3 г/дм³). Тип вод по генетической классификации В.А. Сулина сульфатно-натриевый, реже хлоридный, коэффициент метаморфизации rNa/rCl – 1,02-1,23. По величине водородного показателя среда подземных вод изменяется от нейтральной до слабощелочной (6,45-7,63 ед.pH). Концентрация бора в подземных водах достигает 256,8 мг/дм³, стронция до 112 мг/дм³.

Локально-водоносный триасовый комплекс представлен отложениями формаций Курра Чайн. Комплекс сложен терригенно-карбонатными породами, глубин залегания 5890-7565 м, толщиной 1175-1675 м. Отложения также являются объектом разработки месторождений УВС.

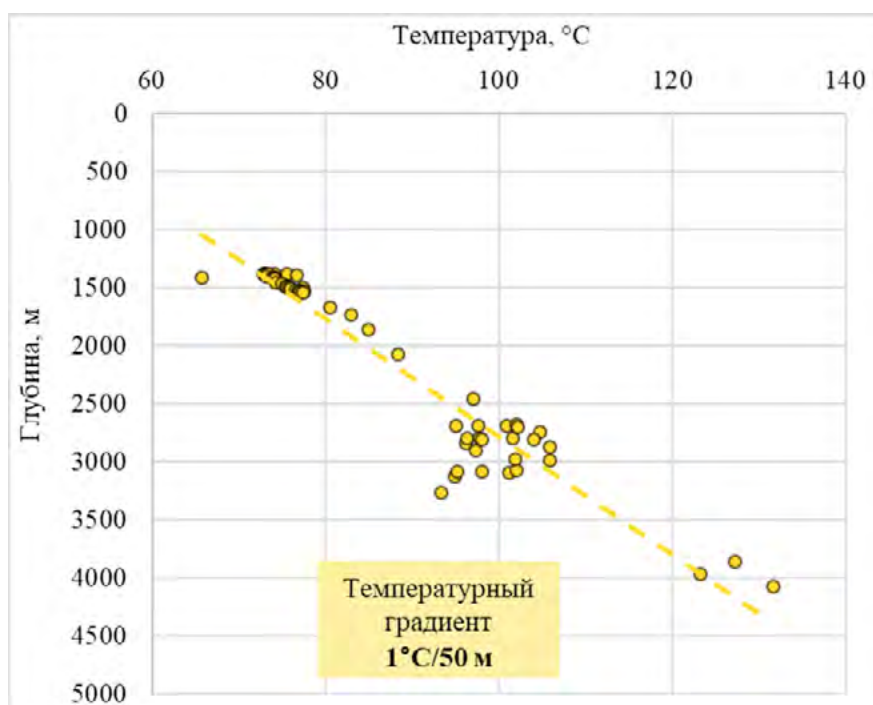


Рис. 5. Результаты точечных замеров пластовой температуры на месторождениях Иракского Курдистана

По результатам испытаний триасовых отложений получен приток воды с дебитом 158,2-2923 м³/сут. Температура пластовых вод составляет 123-132°C, давление 50-71 МПа. Формации накапливались в лагунных и эвапоритовых обстановках, что повлияло на компонентный состав подземных вод. Воды триасового комплекса отличаются высокой минерализацией и относятся к крепким рассолам (204 г/дм³). По составу воды хлоридные натриевые, тип вод по генетической классификации В.А. Сулина хлоридно-кальциевый (коэффициент метаморфизации $r_{Na/rCl} = 0,85$). Основными солеобразующими компонентами являются ионы натрия – 61000 мг/дм³, калия – 8320 мг/дм³, кальция – 11190 мг/дм³, магния – 990 мг/дм³, хлорид-ион – 119390 мг/дм³, сульфат-ион – 1034 мг/дм³, гидрокарбонат-ион – 2887 мг/дм³. Содержание стронция в подземных водах триасового комплекса изменяется от 230 до 235 мг/дм³.

Таким образом, перспективы для питьевого водоснабжения связаны с неогеновым, палеогеновым и меловым водоносными комплексами; юрский и триасовый локально-водоносные комплексы помимо добычи УВС обладают высоким потенциалом для извлечения попутных полезных ископаемых, а также термальных вод.

Ниже будут рассмотрены фактические данные, а также перспективы эксплуатации водоносных подразделений в описанных целях.

В 2011 году вблизи г. Дахук были пробурены 10 водозаборных скважин до глубины 135-220 м, вскрывшие неогеновый водоносный

комплекс [3]. По результатам химического анализа полученные подземные воды сульфатно-хлоридные магниевые-кальциевые с минерализацией 735,5-929,5 мг/дм³ (Табл. 1).

Применяя Российские критерии качества питьевой воды [4], перед подачей потребителю требуется их предварительная подготовка по величине индекса химического потребления кислорода, по содержанию хлоридов, магния, нитратов, а также мутности, что указывает на сравнительно высокий уровень качества данной воды по отношению к поверхностным водам [1, 5, 6, 7] (Табл. 1).

Переходя к следующему перспективному направлению эксплуатации целевых водоносных комплексов, можно отметить, что одним из наиболее выгодных методов освоения компонентов гидроминерального сырья (ГМС) является его извлечение из попутных вод при добыче УВС, поскольку в данном случае нет необходимости для создания отдельной инфраструктуры и горных выработок, а извлечение ГМС, как попутного полезного ископаемого, послужит фактором роста рентабельности разработки месторождений.

Юрский и триасовый локально-водоносные комплексы обладают близкими к промышленным концентрациям бора (до 257 мг/дм³) и стронция (до 235 мг/дм³), как по результатам прямых гидрохимических опробований, так и по литературным данным.

Помимо перечисленных элементов на наличие дополнительных компонентов ГМС в составе

подземных вод указывают следующие геолого-географические предпосылки:

1. Предгорная и горная местность.
2. Высокая минерализация (более 20 мг/дм³);
3. Термобарические условия с высокой температурой, давлением (26-71 МПа) и газонасыщенностью;
4. Застойный режим водообмена;
5. Хлоридно-натриевый тип подземных вод;
6. Наличие эвапоритовых отложений.

Для уточнения концентрации потенциально возможных компонентов ГМС необходимы дополнительные гидрохимические опробования по расширенному перечню показателей.

Температура добываемых попутных вод, описываемых водоносных комплексов составляет от 65°C до 130°C (*Рис. 5*), что дает дополнительную возможность их использования в качестве гидротермального сырья. Температурный градиент в среднем составляет 1°C на 50 м глубины.

Современные технологии позволяют вырабатывать электричество на базе термальных вод с температурой от 90 °C [8], что делает добыва-


емые попутные воды пригодным сырьем для создания небольших и автономных установок по выработке электроэнергии.

Выводы.

1. Подземные воды Иракского Курдистана обладают значительным потенциалом, как для компенсации дефицита питьевой воды, так и для повышения эффективности разработки месторождений УВС.

2. Перспективными для питьевого водоснабжения являются неогеновый, палеогеновый и меловой комплексы. Глубина кровли по участкам недр позволяет организовать экономически обоснованные подземные водозаборы (до 500 м).

3. В пластовых водах объектов разработки зафиксированы высокие концентрации компонентов ГМС по содержанию бора (до 257 мг/дм³) и стронция (до 235 мг/дм³). Установлено наличие геолого-географических предпосылок по содержанию дополнительных элементов ГМС, для чего планируется выполнить дополнительные опробования.

4. Подземные воды мезозойских отложений также могут использоваться как теплоэнергетическое сырье для выработки электроэнергии, что особо актуально в условиях рассматриваемого региона. 

Литература

1. Елердашвили С.И. Гидрогеология и инженерная геология Ирака. Москва, «Недра», 1973, 352 с.
2. Маринова Н.А. Гидрогеология Азии. Москва, «Недра», 1974, 576 с.
3. Dohuk-Kurdistan autonomous region of northern Iraq (KAR) Murphy exploration well. Environmental impact assessment. Murphy Central Dohuk Oil Co, Ltd, 2011, 140 p.
4. СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания».
5. Джубари М.К.А., Алексеева Н.В. Водные ресурсы Ирака. Водоочистка.Водоподготовка. Водоснабжение. 2019. №7 (139). 14-21 с.
6. Реки Ближнего Востока. Часть 2. Тигр. Информационный сборник: Научно-информационный центр Межгосударственной координационной водохозяйственной комиссии Центральной Азии. 2015. №43.-72 с.
7. The statement of 37 issued by the central measure and control the quality, the standard specifications of Iraq. The facts of the Iraqi, the place of Iraq, the newspaper the facts of Iraq. 2001. No.3911.1p.
8. <https://portal.tpu.ru/SHARED/n/NASA/Education/NiVIE/Tab/p4.pdf> (версия от 27.12.2021)

UDC 553.041

A.A. Shulgina, Specialist, Hydrogeological Support of East Siberia and New Ventures Projects Tyumen Petroleum Research Center, aagudkova2@tnnc.rosneft.ru

E.A. Savelyev, Team Leader, Hydrogeological Support of East Siberia and New Ventures Projects Tyumen Petroleum Research Center, easavelyev@tnnc.rosneft.ru

V.N. Duboveckiy, Head of Division, Reserves Estimation and Resource Base Monitoring, PhD, Tyumen Petroleum Research Center VNDuboveckiy@tnnc.rosneft.ru

I.Yu. Belkin, Team Leader, Groundwater Reserves Estimation Tyumen Petroleum Research Center, iybelkin@tnnc.rosneft.ru

A CASE STUDY OF A MIDDLE EAST COUNTRY TO EVALUATE THE DEVELOPMENT PROSPECTS OF THE MESOPOTAMIAN ARTESIAN BASIN AS A SOURCE OF DRINKING GROUNDWATER AND HYDRO-MINERAL RAW MATERIALS

Abstract: The availability of drinking water in the Middle East countries with a dominant arid climate largely determines the sanitary and demographic well-being of the region. With regard to the conditions for the development of hydrocarbon fields, the availability of an in-field autonomous underground water intake will also reduce the logistical and other risks associated with the delivery of drinking water.

In addition to drinking water supply, the Mesozoic underground waters at a depth of 1000 to 5200 meters have a high economic potential as a source of geothermal and hydromineral raw materials.

Keywords: Mesopotamian artesian basin, groundwater, drinking water supply, hydromineral raw materials, geothermal raw materials, hydrocarbons, water-source well.