Гидрохимические анализы для оценки качества подземных вод для питья, бытовых целей и орошения в северо-восточной части оазиса Эль-Бахария, Западная пустыня, Египет

Ваэль Рагаб ГАВЕИШ^{1, 2*},
Игорь Алексеевич МАРАЕВ¹,
Мухаммед Абдель Захер МУХАММЕД²,
Ибрагим Мухаммед ДАРВИШ²
Алексей Игоревич ПОСЕРЕНИН¹

¹Российский государственный геологоразведочный университет им. Серго Орджоникидзе, Россия, Москва

²Национальный научно-исследовательский институт астрономии и геофизики, Египет, Каир

Аннотация

Актуальность исследований. Район исследования страдает от нехватки поверхностных вод, он расположен в северо-восточной части оазиса Эль-Бахария, недалеко от рудника Эль-Гедида, где ведется добыча и переработка железной руды. Таким образом, грунтовые воды в исследуемом районе могут быть загрязнены из шахты Эль-Гедида. В этом исследовании нужно изучить качества подземной воды по химическим анализам для питья, бытовых целей и ирригации.

Цели исследований: оценка качества подземных вод с использованием разных анализов качества и изучение целесообразности использования подземных вод для различных целей.

Методология исследования. Собранные пробы подземных вод были проанализированы на концентрацию разных анионов и катионов, концентрацию водородных ионов pH, общую минерализацию T.D.S, электропроводность σ , общую жесткость воды C ; использованы также относительный показатель адсорбции натрия SAR, содержание натрия SC, диаграммы Пайпера, Шоллера и ЮССЛ для оценки качества подземных вод для питья, бытовых целей и орошения.

Результаты работы. Наиболее важные результаты этого исследования: 1. Проба № 4 из юго-восточной части исследуемого района показала, что вода подходит для питья и бытовых целей; 2. Пробы № 4 и 5 в юго-восточной и юго-западной частях района выявили, что данная вода пригодна для орошения всех типов сельскохозяйственных культур, а пробы № 7 и 9 показали непригодность воды для орошения, за исключением культур, способных выдерживать очень высокую соленость.

Ключевые слова: подземный водоносный горизонт, гидрохимический анализ, общая минерализация T.D.S, электропроводность σ , общая жесткость воды C , относительный показатель адсорбции натрия SAR, содержание натрия SC, диаграммы Шоллера, ЮССЛ, Пайпера, оазис Эль-Бахария, Египет.

Введение

Река Нил является основным источником поверхностных вод в Египте, кроме того есть нескольких озер, но в настоящее время поверхностных вод стало недостаточно. Это вызвано проблемой перенаселения. Поэтому во многих засушливых регионах в Западной пустыне Египта, таких как оазис Эль-Бахария, возникла потребность в грунтовых водах как еще одном источнике воды [1].

Подземные воды являются важным природным ресурсом для жизни людей в исследуемом районе. Область исследования расположена в окрестностях деревни Мандиша в северо-восточной части оазиса Эль-Бахария, в 15 км от источников поверхностных вод Эль-Хара и рудника Эль-Гедида, где ведется добыча и переработка железной руды. Район исследования площадью 36.13 км² расположен между широтами 28°16'22" С и 28°19'14" С и долготами 28°55'40" В и 28° 59'50" В (рис. 1).

Район исследования страдает от нехватки поверхностных вод. Поэтому необходимо использовать другой источ-

ник воды, а именно, подземные воды. Основной водоносный горизонт в исследуемом районе расположен в Нубийском песчанике (сеноман) [2].

Для оценки качества подземных водоносных горизонтов для бытовых целей и орошения был сделан гидрохимический анализ проб воды, отобранных из скважин в районе исследования.

Гидрохимический анализ собранных проб воды

Отбор проб грунтовых вод. В августе 2015 г. 11 проб воды отобраны из небольших скважин в исследуемом районе для изучения качества грунтовых вод (рис. 2, а, б). Пробы воды отбирались непосредственно из неглубоких скважин (их глубина не более 50 м), которые использовались для орошения. Местоположение каждой пробы воды регистрировалось с помощью устройства GPS (Garmin eTrex 10).

Пробы воды собирали в чистые пластиковые бутылки после значительного времени откачки (более 30 мин) во избежание застоя и загрязнения грунтовых вод в сква-

*wael_ragab2007@yahoo.com

<https://orcid.org/0000-0002-5971-4839>

Рисунок 1. Карта расположения исследуемой территории.

Figure 1. Map of the study area.

Рисунок 2. Пробы воды. а – сбор проб воды; б – карта местоположения сбора проб воды.
 Figure 2. Water samples. а - collecting water samples; б - location map of the collection of water samples.

жинах. Бутылки несколько раз промывали водой для отбора проб, затем наполняли и немедленно закрывали, чтобы избежать воздействия воздуха. Каждая бутылка была маркирована для ее идентификации.

Водородный показатель pH, электропроводность σ и общая минерализация TDS измерялись во время полевых работ с помощью устройства ЕС/pH. Эти параметры (pH, ЕС и TDS) представляют собой значения водоносного горизонта, вскрытого скважиной.

Собранные пробы воды были отправлены в лабораторию в течение менее чем трех дней. Все пробы воды хранились в контейнере со льдом до тех пор, пока не были проанализированы с использованием известных стандартных мер, документированных Американской ассоциацией общественного здравоохранения [3].

Гидрохимические анализы подземных вод. Гидрохимические анализы были проведены для одиннадцати проб подземных вод, расположенных на исследуемой территории. Собранные пробы подземных вод были проанализированы в лабораториях Научно-исследовательского института почвы, воды и окружающей среды (SWERI) на концентрацию водородных ионов pH, общую минерализацию T.D.S, электропроводность σ , общую жесткость воды С, сульфат (SO_4)⁻², хлорид (Cl)⁻¹, бикарбонат (HCO_3)⁻¹, магний (Mg)⁺², кальций (Ca)⁺², калий (K)⁺¹ и натрий (Na)⁺¹.

Гидрохимические анализы подземных вод начинались с определения концентрации разных анионов и катионов по специальным методикам в лаборатории. Кальций и магний оценивали методом титрования [4]. Натрий и калий определяли методом пламенной фотометрии [4]. Концентрацию бикарбоната оценивали методом титрования с концентрацией серной кислоты 0,02 н в тот же день отбора проб перед фильтрацией [5]. Хлориды оценивали с использованием стандартного раствора нитрата серебра, а сульфаты были измерены с использованием метода турбидиметрии спектрофотометрическим способом [4].

Концентрации разных катионов Ca^{+2} , Mg^{+2} , Na^{+1} и K^{+1} и разных анионов (HCO_3)⁻¹, (SO_4)⁻² и Cl^{-1} собранных проб воды представлены в табл. 1 и на рис. 3.

Из рис. 3 видно, что концентрации разных анионов и катионов отобранных проб воды включает в себе бикарбонат (HCO_3)⁻¹, хлорид (Cl)⁻¹, сульфат (SO_4)⁻², кальций (Ca)⁺², магний (Mg)⁺², натрий (Na)⁺¹ и калий (K)⁺¹.

Вывод о концентрациях анионов и катионов во всех пробах водах, отобранных в районе исследования, следующий: концентрация бикарбоната во всех пробах воды изменяется от 56,14 мг/л до 134,2 мг/л (рис. 3, а). Концентрация хлорида во всех пробах воды изменяется от 102,8 мг/л до 999,7 мг/л (рис. 3, а). Концентрация сульфата во всех пробах воды изменяется от 56,68 мг/л до 312,23 мг/л

(рис. 3, а). Концентрация кальция во всех пробах воды изменяется от 36,07 мг/л до 186,37 мг/л (рис. 3, б). Концентрация магния во всех пробах воды изменяется от 12,16 мг/л до 93,84 мг/л (рис. 3, б). Концентрация натрия во всех пробах воды изменяется от 45,75 мг/л до 434,51 мг/л (рис. 3, б). Концентрация калия во всех пробных воды изменяется от 8,21 мг/л до 38,32 мг/л (рис. 3, б). Самые высокие концентрации разных анионов и катионов находятся в пробе воды № 7, а самые низкие значения концентраций разных анионов и катионов находится в пробе воды № 4 (рис. 3).

Концентрация водородных ионов рН, общая минерализация T.D.S, электропроводность σ и общая жесткость воды С также определялись во всех пробах воды, отобранных в районе исследования. Результаты этих анализов представлены в табл. 1 и на рис. 4.

Концентрация водородных ионов рН является показателем кислотности или основности раствора. Значения рН анализируемых проб воды варьируют от 7,35 до 7,5, что свидетельствует о том, что подземная вода исследуемого района является щелочной (рис. 4, а).

Общая минерализация T.D.S определяет характер качества подземных вод и степень их загрязнения [6–8]. Значения общей минерализации T.D.S для всех проб подземных вод в исследуемом районе варьируются от 339 мг/л до 2426 мг/л (табл. 1). Самые высокие значения минерализации T.D.S зафиксированы в северо-восточной и восточной частях исследуемого района, а самые низкие – в юго-восточной и юго-западной частях исследуемой области (рис. 4, б).

Электропроводность σ всех проб грунтовых вод в исследуемом районе находится в диапазоне от 530 мкСм/см до 3790 мкСм/см (табл. 1). Самые низкие значения электропроводности σ зафиксированы в юго-восточной и юго-западной частях исследуемой территории, а самые

высокие – в восточной и северо-восточной частях исследуемой территории (рис. 4, в).

Общая жесткость воды С выражается в терминах эквивалента карбоната кальция следующим уравнением [D. K. Todd, L. W. Mays, 2005] [9]:

$$C = 2,5 (Ca^{+2}) + 4,1 (Mg^{+2}),$$

где С, Ca^{+2} , Mg^{+2} – в мг/л.

Общая жесткость воды С зависит от наличия щелочноземельных элементов, кальция и магния [10]. Она рассчитана во всех пробах грунтовых вод в исследуемом районе и находится в диапазоне от 140,02 мг/л до 850,66 мг/л (табл. 1). Самые низкие значения общей жесткости воды С находятся в юго-восточной и юго-западной частях исследуемого района (пробы воды № 4, 5), а самые высокие – в восточной и северо-восточной частях исследуемого района (пробы воды № 7, 9), рис. 4, г.

Классификация гидрохимических фаций. Классификация гидрохимических фаций отобранных проб воды из исследуемого района может быть проанализирована и представлена графически на диаграмме Пайпера для отображения основных химических компонентов вод [11].

Диаграмма Пайпера состоит из двух треугольных полей, каждое из которых представляет состав катионов и анионов, а ромбовидное поле представляет состав катионов и анионов, присутствующих в грунтовых водах. Классификация гидрохимических фаций грунтовых вод представлена на трехлинейной диаграмме Пайпера, приведенной на рис. 5, а.

Собранные пробы воды из исследуемого района были нанесены на диаграмму Пайпера (рис. 5, б), которая показывает, что основной катион в пробах воды, за исключением пробы № 4, – это натрий, а основные катионы в

Таблица 1. Концентрации разных анионов, катионов и различных показателей в отобранных пробах воды.

Table 1. Concentrations of different anions, cations and various indicators in the selected water samples.

Проба воды	$(HCO_3)^{-1}$, мг/л	CL^{-1} , мг/л	$(SO_4)^{-2}$, мг/л	Ca^{+2} , мг/л	Mg^{+2} , мг/л	Na^{+1} , мг/л	K^{+1} , мг/л	σ , мкСм/см	T.D.S, мг/л	pH	C, мг/л	SAR, мэкв/л	SC, %
1	122,04	379,32	182,53	102,20	37,32	179,32	20,72	1750	1120	7,35	408,50	3,86	58,91
2	103,73	308,42	100,87	84,17	16,29	149,44	17,99	1350	864	7,38	277,20	3,91	62,50
3	91,53	326,14	120,09	76,15	18,35	165,53	26,98	1420	909	7,40	265,63	4,42	67,07
4	56,14	102,81	56,68	36,07	12,16	45,75	8,21	530	339	7,38	140,02	1,68	52,81
5	61,02	155,98	86,46	42,08	15,07	82,76	10,17	790	506	7,35	167,01	2,79	61,92
6	97,63	333,23	134,50	88,18	20,54	160,93	27,76	1480	947	7,42	304,66	4,01	63,44
7	134,24	999,69	312,23	186,37	93,84	434,51	38,32	3790	2426	7,40	850,66	6,48	62,79
8	109,83	475,03	139,30	110,22	28,32	220,70	26,20	1910	1222	7,39	391,67	4,85	64,06
9	128,14	733,82	216,16	156,31	58,10	319,56	32,06	2830	1811	7,41	628,99	5,54	62,12
10	73,22	198,52	86,46	42,08	23,34	98,86	10,95	960	614	7,42	200,89	3,03	62,66
11	97,63	265,88	100,87	76,15	17,99	126,45	16,42	1220	781	7,50	264,14	3,39	60,28

Примечание: σ – электропроводность; T.D.S – общая минерализация; pH – концентрация водородных ионов; C – общая жесткость воды; SAR – относительный показатель адсорбции натрия; SC – содержание натрия.

пробе воды № 4 – кальций и магний. Во всех собранных пробах воды основной анион – хлорид. Тип воды всех собранных проб – NaCl (тип II; Na–K–Cl–SO₄), за исключением пробы воды № 4, тип которой смешанный CaMgCl (тип I; Ca–Mg–Cl–SO₄).

Оценка качества подземных вод для питья и бытовых целей

Результаты химических параметров проб грунтовых вод (рН, T.D.S, σ и C) сравниваются со стандартами качества воды в Египте (табл. 2), задокументированными Всемирной организацией здравоохранения [12] для определения пригодности грунтовых вод для питьевых и бытовых целей.

Исследования концентрации водородных ионов рН во всех пробах грунтовых вод в исследуемом районе показывают, что подземная вода исследуемого района является щелочной с рН более 7.

Сравнение стандартов качества воды в Египте (табл. 2) со значениями общей минерализации T.D.S показывает, что вода с пробами № 2, 3, 4, 5, 6, 10 и 11 и значением минерализации T.D.S менее 1000 мг/л классифицируется как пресная. Вода с пробами № 1, 7, 8 и 9 классифицируется как солоноватая, значения минерализации T.D.S находятся в диапазоне от 1000 до 10000 мг/л [13]. Следует отметить, что грунтовые воды пригодны для питья, когда значения их минерализации T.D.S составляют менее 600 мг/л [12], как в пробах воды № 4 и 5 в исследуемом районе.

В сравнении со стандартами качества воды в Египте, пригодной для питья (электропроводность такой воды находится в пределах от 250 до 750 мкСм/см), со значениями электропроводности σ во всех пробах грунтовых вод вода с пробой № 4 классифицируется как хорошая со значением электропроводности σ , равным 530 мкСм/см

(табл. 2). Вода с пробами № 1, 2, 3, 5, 6, 8, 10 и 11 классифицируются как удовлетворительная со значениями электропроводности σ в диапазоне от 750 до 2000 мкСм/см. Вода с пробой № 9 и значением электропроводности 2830 мкСм/см классифицируется как сомнительная (в диапазоне 2000–3000 мкСм/см). Вода с пробой № 7 и значением электропроводности σ более 3000 мкСм/см классифицируется как непригодная [14, 15]. Грунтовые воды с более высокими значениями электропроводности σ могут стать причиной желудочно-кишечных расстройств [12].

В соответствии со стандартами качества грунтовых вод в Египте вода для питья и бытовых целей (табл. 2) со значениями общей жесткости C в пределах от 75 до 150 мг/л классифицируется как вода со средней жесткостью. В соответствии с этим стандартом вода с пробой № 4 и значением общей жесткости C, равной 140,02 мг/л, классифицируется как вода со средней жесткостью. Вода с пробами № 2, 3, 5, 10 и 11, общая жесткость которой находится в диапазоне от 150 до 300 мг/л, классифицируются как жесткая. Вода с пробами № 1, 6, 7, 8 и 9, общая жесткость которой более 300 мг/л, классифицируются как очень жесткая [14]. Эти результаты показывают насыщение подземных вод солями кальция и магния на исследуемой территории. Очень жесткая и жесткая вода характерна для исследуемого района, за исключением его юго-восточной части, где вода обладает средней жесткостью (рис. 4, г).

По результатам определения общей минерализации T.D.S, электропроводности σ и общей жесткости проб воды C можно сделать следующие выводы: 1) вода с пробами № 4, 5, значения общей минерализации T.D.S которой менее 600 мг/л, – это вода, пригодная для питья; 2) вода с пробой № 4, электропроводность σ которой находится между 250–750 мкСм/см, является хорошей водой;

Рисунок 3. Концентрации разных ионов. а – концентрации разных анионов (HCO₃)⁻¹, Cl⁻¹ и (SO₄)⁻² и (SO₄)⁻²; б – концентрации разных катионов Ca⁺², Mg⁺², Na⁺¹ и K⁺¹.

Figure 3. Concentrations of different ions. а – concentrations of different anions (HCO₃)⁻¹, Cl⁻¹ и (SO₄)⁻² and (SO₄)⁻²; б – concentrations of different cations Ca⁺², Mg⁺², Na⁺¹ и K⁺¹.

Рисунок 4. Пространственные карты распределения. а – концентрация водородных ионов pH; б – общая минерализация T.D.S; в – электропроводность σ ; г – общая жесткость воды C.

Figure 4. Spatial distribution maps. а – concentration of hydrogen ions pH; б – general mineralization of T.D.S; в – electrical conductivity σ ; г – total hardness of water C.

Рисунок 5. Диаграмма Пайпера (а); типы воды по диаграмме Пайпера (б). Собранные пробы воды нанесены на диаграмму Пайпера.

Figure 5. Piper diagram (а); types of water according to the Piper diagram (б). The collected water samples are plotted on the Piper diagram.

3) вода с пробой № 4, значение общей жесткости C которой находится между 75–150 мг/л, – средней умеренно жесткой водой; 4) обобщение результатов определения общей минерализации T.D.S, электропроводности σ и общей жесткости проб отобранной воды C свидетельствует о том, что вода с пробой № 4, которая отобрана в юго-восточной части района исследования, является пригодной для питья и бытовых целей.

Оценка качества подземных вод для орошения

Качество грунтовых вод, а именно их минерализация и солевой состав, оказывает большое влияние на продуктивность и качество сельскохозяйственных культур.

В этом исследовании оценка качества воды для целей орошения проводилась с помощью двух химических показателей и двух гидрохимических диаграмм (относительного показателя адсорбции натрия SAR, содержания натрия SC и диаграмм Шоллера и ЮССЛ). Гидрохимические диаграммы построены с использованием программы Aquachem [16].

Относительный показатель адсорбции натрия SAR.

Пригодность грунтовых вод для орошения может быть определена на основе солёности воды и относительного показателя адсорбции натрия SAR, поскольку концентрация натрия будет влиять как на проницаемость, так и на структуру почвы. Относительный показатель адсорбции натрия SAR измеряли для сельскохозяйственных культур и определяли по следующему уравнению [9]:

$$SAR = Na^{+1} \left(\sqrt{\frac{Ca^{+2} + Mg^{+2}}{2}} \right)^{-1}.$$

Концентрации натрия Na^{+1} , кальция Ca^{+2} и магния Mg^{+2} переводили в миллиэквиваленты на литр (мэкв/л).

Рассчитанные значения относительного показателя адсорбции натрия SAR для всех проб воды варьируются от 1,68 до 6,48 мэкв/л (табл. 1). Самые низкие значения относительного показателя адсорбции натрия SAR зафиксированы в юго-восточной и юго-западной частях исследуемого района (пробы воды № 4, 5), а самые высокие – в восточной и северо-восточной частях (пробы воды № 7, 9), рис. 6, а.

Сравнение значений относительного показателя адсорбции натрия SAR менее 10 мэкв/л для целей орошения со стандартами качества воды в Египте (табл. 2) показывает, что подземные воды в районе исследований пригодны для ирригации [9, 13].

Содержание натрия SC. Концентрация натриевой соли играет важную роль в продуктивности сельскохозяйственных культур, где натрий Na^{+1} заполняет пустоты почвы и вызывает снижение проницаемости [14]. Содержание натрия SC, % [L. V. Wilcos, 1955], определяется по следующей формуле [15]:

$$SC = 100 \frac{(Na^{+1} + K^{+1})}{(Ca^{+2} + Mg^{+2} + Na^{+1} + K^{+1})};$$

Таблица 2. Стандарты классификации качества воды в Египте.

Table 2. Egypt water quality classification standards.

Параметр	Классификация качества воды		Литература
Общая минерализация T.D.S, мг/л	Пресная	0–1000	[C. W. Fetter, 2014]
	Солоноватая	1000–10 000	
	Соленая	10 000–100 000	
	Повышенной солёности	> 100 000	
	Превосходная	< 250	
Электропроводность σ , мкСм/см	Хорошая	250–750	[L. V. Wilcos, 1955; Z. Sen, 2015]
	Удовлетворительная	750–2000	
	Сомнительная	2000–3000	
	Непригодная	> 3000	
	Мягкая	0–75	
Общая жесткость воды C , мг/л	Средней жесткости	75–150	[Z. Sen, 2015]
	Жесткая	150–300	
	Очень жесткая	> 300	
	Превосходная	< 10	
	Хорошая	10–18	
Относительный показатель адсорбции натрия SAR, мэкв/л	Позволяющая	18–26	[D. K. Todd, L. W. Mays, 2005; Z. Sen, 2015]
	Сомнительная	> 26	
	Превосходная	< 20	
	Хорошая	20–40	
	Позволяющая	40–60	
Содержание натрия SC, %	Позволяющая	40–60	[L. V. Wilcos, 1955]
	Сомнительная	60–80	
	Неподходящая	> 80

Рисунок 6. Оценка качества подземных вод для орошения. а – относительный показатель адсорбции натрия SAR; б – содержание натрия SC; в – диаграмма Шоллера; г – диаграмма ЮССЛ.

Figure 6. Groundwater quality assessment for irrigation. a - relative indicator of sodium adsorption SAR; b - sodium content of SC; c - Scholler diagram; g – USSSL diagram.

Рассчитанные значения содержания натрия SC для всех проб воды варьируют в пределах от 52,81 до 67,07 % (табл. 1). Самые низкие значения содержания натрия SC зафиксированы в юго-восточной части исследуемого района (проба воды № 4), а самые высокие – в восточной части исследуемого района (проба воды № 3), рис. 6, б.

Сравнение содержания натрия SC для целей орошения в данном исследовании со стандартами качества воды в Египте (табл. 2) показывает, что пробы грунтовых вод классифицируются как позволительная и сомнительная. Вода с пробами № 1, 4 классифицируется как позволительная, где значение содержания натрия SC находится между 40–60 %. Вода с пробами № 2, 3, 5, 6, 7, 8, 9, 10 и 11 классифицируется как сомнительная, где значение содержания натрия SC находится между 60–80 %.

Гидрохимические диаграммы Шоллера и ЮССЛ. Диаграмма Шоллера – это графики различных концентраций катионов (Na^+ , K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+}) и анионов (Cl^- , $(\text{SO}_4)^{2-}$, $(\text{HCO}_3)^{-1}$) во всех отобранных пробах воды, построенные в полулогарифмическом масштабе [17]. Концентрации

катионов и анионов измерялись в миллиграммах на литр (мг/л). Наименьшее значение концентрации катионов и анионов было в пробах воды № 4, 5, а наибольшее – в пробах воды № 7, 9 (рис. 6, в).

Качество отобранных проб воды для орошения определялось также по диаграмме ЮССЛ (рис. 6, г). Диаграмма ЮССЛ – это классификация оросительной воды в зависимости от соотношения между коэффициентом относительного показателя адсорбции натрия SAR и электропроводности σ в отобранных образцах воды [18]. Наименьшая концентрация натрия – в пробах воды № 1, 2, 3, 4, 5, 6, 10, 11 (тип S1), а наибольшая – в пробах воды № 7, 8, 9 (тип S2). Опасность засоления почвы для орошения является средней в пробе воды № 4 (тип C2), высокой в пробах воды № 1, 2, 3, 5, 6, 8, 10, 11 (тип C3) и очень высокой в пробах № 7, 9 (тип C4).

Обобщение результатов определения относительного показателя адсорбции натрия SAR, содержания натрия SC и построенных диаграмм Шоллера и ЮССЛ свидетельствует о том, что вода с пробами № 4, 5, которые отобра-

ны в юго-восточной и юго-западной частях исследуемого района, имеет хорошую пригодность для орошения всех типов сельскохозяйственных культур. Вода с пробами № 2, 3, 6, 10, 11 имеет среднюю пригодность для этих целей. Вода с пробами № 1, 8 имеет ограниченную пригодность для орошения и предпочтительна для культур, способных выдерживать высокую соленость. Вода с пробами № 7, 9 непригодна для орошения, за исключением сельскохозяйственных культур, способных выдерживать очень высокую соленость.

Выводы

Область исследования расположена в окрестностях деревни Мандиша в северо-восточной части оазиса Эль-Бахария, западная пустыня Египта. Население в этом районе страдает от нехватки поверхностных вод. Поэтому в августе 2015 г. 11 проб воды были отобраны из неглубоких скважин в исследуемом районе для оценки качества подземных вод и их пригодности для питья, ирригационных и бытовых целей.

Сопоставление результатов гидрохимических анализов отобранных проб воды со стандартами качества воды позволяет сделать следующие выводы:

1. Самые высокие концентрации разных анионов и катионов находятся в северо-восточной и восточной

частях исследуемого района, а самые низкие значения – в юго-восточной и юго-западной частях исследуемого района.

2. Подземная вода исследуемого района является щелочной в соответствии с концентрацией водородных ионов pH.

3. Обобщение результатов диаграммы Пайпера свидетельствует о том, что тип воды всех отобранных проб – NaCl (тип II; Na–K–Cl–SO₄), за исключением воды с пробой № 4, тип которой смешанный CaMgCl (тип I; Ca–Mg–Cl–SO₄).

4. Обобщение результатов общей минерализации T.D.S, электропроводности σ и общей жесткости воды S свидетельствует о том, что вода с пробой № 4 является хорошей для питья и бытовых целей (юго-восточная часть района исследования).

5. Обобщение величины относительного показателя адсорбции натрия SAR, содержания натрия SC и диаграмм Шоллера и ЮССЛ свидетельствует о том, что вода с пробами № 4, 5 (юго-восточная и юго-западная части исследуемого района) пригодна для орошения всех типов сельскохозяйственных культур. Вода с пробами № 7, 9 непригодна для орошения, за исключением культур, способных выдерживать очень высокую соленость.

ЛИТЕРАТУРА

1. Dawoud M. A., Darwish M. M., El-Kady M. M. GIS-Based Groundwater Management Model for Western Nile Delta // Water Resources Management. 2005. Vol. 19. P. 585–604.
2. Moustafa A. R., Saoudi A., Moubasher A., Mohamed I., Molokhia H., Schwartz B. Structural setting and tectonic evolution of the Bahariya Depression, Western Desert, Egypt // Geo-Arabia Journal. 2003. Vol. 8, № 1. P. 91–124.
3. APHA. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 21st edition. Washington DC, 2005.
4. Jackson M. L. Soil Chemical Analysis. New Delhi: Prentice Hall of India Private Limited, 1973. 498 p.
5. Zhang L., Song X., Xia J., Yuan R., Zhang Y., Liu X., Han D. Major element chemistry of the Huai river basin, China // Appl. Geochem. 2011. Vol. 26(3). P. 293–300. <http://dx.doi.org/10.1016/j.apgeochem.2010.12.002>
6. AWWA. Water Quality and Treatment. N. Y.: McGraw-Hill, 1971. 654 p.
7. Davis S. N., De Weist R. J. M. Hydrogeology. N. Y.: John Wiley and Sons, 1966. 463 p.
8. Robinove C. J., Hangbird R. H., Brook J. W. Saline water resources of north Dakota // US. Geol. Surv. Water Supply Pap. 1428, 1958. 72 p.
9. Todd D. K., Mays L. W. Groundwater hydrology. 3rd edition. N. Y.: John Wiley and Sons, 2005. 636 p.
10. Wurts W. A. Understanding water hardness // World aquaculture. 1993, Vol. 24 (1). P. 1–18.
11. Piper A. M. A graphic procedure in the geochemical interpretation of water-analyses // Eos, Transactions American Geophysical Union. 1944. Vol. 25 (6). P. 914–928. <http://dx.doi.org/10.1029/TR025i006p00914>
12. World Health Organization (WHO). Guidelines for drinking-water quality. 4th edition. Switzerland, 2011.
13. Fetter C. W. 2014, Applied hydrogeology. 4th edition. London: Pearson, 621 p.
14. Sen Z. Practical and applied hydrogeology. Amsterdam; N. Y.: Elsevier, 2015. 406 p.
15. Wilcox L. V. Classification and use of irrigation waters. Washington DC: US department of agriculture, 1955. 19 p.
16. AquaChem Program set for hydrochemical analysis for water (Version 4.0.254) for Windows / Waterloo Hydrogeologic Inc., 2003.
17. Schoeller H. Geochemistry of groundwater: an international guide for research and practice // UNESCO. 1967. Ch. 15. P. 1–18.
18. United States Salinity Laboratory Staff (USSL staff). Diagnosis and improvement of saline and alkali soil. Washington DC: US Department of Agriculture, 1954.

Статья поступила в редакцию 01 октября 2019 года

Hydrochemical analyses for assessment the quality of groundwater for drinking, domestic and irrigation purposes at northeastern part of El-Bahariya oasis, Western desert, Egypt

Wael Ragab GAWEISH^{1, 2*},
Igor' Alekseevich MARAEV¹,
Mohamed Abdel Zaher MOHAMED²,
Ibrahim Mohamed DARWISH²,
Aleksey Igorevich POSERENIN¹

¹Sergo Ordzhonikidze Russian State University for Geological Prospecting, Moscow, Russia

²National Research Institute of Astronomy and Geophysics (NRIAG), Cairo, Egypt

Abstract

Research relevance. The study area suffers from lack of surface water and located at northeastern part of El-Bahariya oasis, near from El-Gedida mine, where iron ore is extracted. Therefore groundwater may be contaminated from El-Gedida mine, so it's necessary to study its quality by hydrochemical analyses.

Research objectives: assessment the quality of groundwater using different of analyses of quality of groundwater and studying the feasibility of using it for different purposes like drinking, irrigation and domestic purposes.

Methodology. Collected groundwater samples were analyzed for determining the concentration of various Anions and Cations, Concentration of Hydrogen Ions pH, Total Dissolved Solids T.D.S, Electrical Conductivity σ , Total Water Hardness C, Sodium Adsorption Ratio SAR, Sodium Content SC, Piper diagram, Schoeller Diagram and USSL Diagram for evaluating the quality of groundwater for drinking, domestic and irrigation purposes

Results. Based on the result of the hydrochemical analyses of collected groundwater samples. 1. Water sample no. 4, which is located in the southeastern part of the study area, is classified as a good water for drinking and domestic purposes. 2. Water samples no. 4 and 5, which located at southeastern and southwestern parts of the study area, were classified as good suitability for irrigation of all types of crops, but, water samples no. 7 and 9 aren't suitable for irrigation, Except crops capable of withstand very high salinity.

Keywords: Groundwater aquifer, Hydrochemical analysis, Total Dissolved Solids, Electrical Conductivity, Total Water Hardness, Sodium Adsorption Ratio, Sodium content, Piper, Schoeller and USSL Diagrams, El-Bahariya oasis, Egypt.

REFERENCES

1. Dawoud M. A., Darwish M. M., El-Kady M. M. 2005, GIS-Based Groundwater Management Model for Western Nile Delta. *Water Resources Management*, vol. 19, pp. 585–604.
2. Moustafa A. R., Saoudi A., Moubasher A., Mohamed I., Molokhia H., Schwartz B. 2003, Structural setting and tectonic evolution of the Bahariya Depression, Western Desert, Egypt. *Geo-Arabia Journal*, vol. 8, no. 1, pp. 91–124.
3. APHA. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 21st edition. Washington DC, 2005.
4. Jackson M. L. 1973, Soil Chemical Analysis. New Delhi: Prentice Hall of India Private Limited, 498 p.
5. Zhang L., Song X., Xia J., Yuan R., Zhang Y., Liu X., Han D. 2011, Major element chemistry of the Huai river basin, China. *Appl. Geochem.*, vol. 26(3), pp. 293–300. <http://dx.doi.org/10.1016/j.apgeochem.2010.12.002>
6. AWWA. Water Quality and Treatment. N. Y.: McGraw-Hill, 1971, 654 p.
7. Davis S. N., De Weist R. J. M. 1966, Hydrogeology. N. Y.: John Wiley and Sons, 463 p.
8. Robinove C. J., Hangbird R. H., Brook J. W. 1958, Saline water resources of north Dakota. US. Geol. Surv. Water Supply Pap. 1428, 72 p.
9. Todd D. K., Mays L. W. 2005, Groundwater hydrology. 3rd edition. N. Y.: John Wiley and Sons, 636 p.
10. Wurts W. A. 1993, Understanding water hardness. *World aquaculture*, vol. 24 (1), pp. 1–18.
11. Piper A. M. 1944, A graphic procedure in the geochemical interpretation of water-analyses. *Eos, Transactions American Geophysical Union*, vol. 25 (6), pp. 914–928. <http://dx.doi.org/10.1029/TR025i006p00914>
12. World Health Organization (WHO). Guidelines for drinking-water quality. 4th edition. Switzerland, 2011.
- 13.
14. Sen Z. 2015, Practical and applied hydrogeology. Amsterdam; N. Y.: Elsevier, 406 p.
15. Wilcox L. V. 1955, Classification and use of irrigation waters. Washington DC: US department of agriculture, 19 p.
16. AquaChem Program set for hydrochemical analysis for water (Version 4.0.254) for Windows / Waterloo Hydrogeologic Inc., 2003.
17. Schoeller H. 1967, Geochemistry of groundwater: an international guide for research and practice. UNESCO, ch. 15, pp. 1–18.
18. United States Salinity Laboratory Staff (USSL staff). Diagnosis and improvement of saline and alkali soil. Washington DC: US Department of Agriculture, 1954.

The article was received on October 01, 2019

✉ wael_ragab2007@yahoo.com

<https://orcid.org/0000-0002-5971-4839>