УДК 550.313 https://doi.org/10.21440/2307-2091-2019-4-25-32

Поиски подземных вод в оазисе Эль-Бахария в Западной пустыне Египта по результатам интерпретации данных каротажа и кривых ВЭЗ

Ваэль Рагаб ГАВЕИШ[1,2],
Игорь Алексеевич МАРАЕВ[1],
Сультан Авад СУЛЬТАН[2],
Петр Вячеславович НОВИКОВ[1],
Андрей Александрович ИВАНОВ[1],
Виктор Валерьевич РОМАНОВ[1],
Кирилл Сергеевич МАЛЬСКИЙ[1]

[1]Российский государственный геологоразведочный университет им. Серго Орджоникидзе (МГРИ), Россия, Москва
[2]Национальный исследовательский институт астрономии и геофизики (NRIAG), Египет, Каир

Актуальность исследований: население этого района потребляет для питья и сельского хозяйства некачественную воду из поверхностных источников. Кроме того, эта вода загрязнена отходами расположенного недалеко от района исследования рудника Эль-Гедида, где ведется добыча и переработка железной руды. Поэтому важно искать другой источник воды, а именно, подземные воды неглубокого залегания. Основной водоносный горизонт в исследуемом районе расположен в нубийском песчанике (сеноман) и состоит из пяти зон.
Цель исследований: приведены результаты интерпретации каротажа скважин и кривых вертикальных электрических зондирований (ВЭЗ) для определения положения подземных водоносных горизонтов и выбора лучшего места для бурения новых водозаборных скважин в окрестностях деревни Мандиша, оазис Эль-Бахария, Западная пустыня, Египет.
Методология исследования: данные каротажа скважин были использованы для построения геоэлектрической модели, использованной для интерпретации кривых ВЭЗ. Всего было сделано 17 ВЭЗ с использованием французской аппаратуры SYSCALR2. Данные ВЭЗ интерпретировались с помощью программы IPI2WIN. По результатам интерпретации кривых ВЭЗ построены 6 геоэлектрических профилей, в которых выделены 3 водоносных горизонта (зоны А, Б и В). Определены глубина, толщина и кажущееся сопротивление каждого из водоносных горизонтов.
Результаты работы: наиболее важные результаты этого исследования: 1. Глубина зоны А – от 10 до 30 м. Глубина зоны Б – от 110 до 160 м. Глубина зоны В – от 200 до 220 м. 2. Лучшее место для бурения водозаборной скважины на исследуемом участке, находится в юго-западной части исследуемого участка (недалеко от ВЭЗ № 13).

Ключевые слова: подземный водоносный горизонт, каротаж скважин, ВЭЗ, оазис Эль-Бахария, Египет.

Введение

Подземные воды являются важным природным ресурсом для жизни людей. В Египте растет спрос на водные ресурсы для развития сельского хозяйства, особенно в таких засушливых районах, как оазис Эль-Бахария в Западной пустыне Египта. 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 км^2 расположен между широтой 28°16’22” С и 28°19’14” С и долготой 28°55’40” В и 28°59’50” В (рис. 1).

Район исследования страдает от нехватки поверхностных вод. Поэтому необходимо искать другой источник воды, а именно, подземные воды. Основной водоносный горизонт в исследуемом районе расположен в нубийском песчанике (сеноман) и состоит из пяти зон. Зона А лежит в интервале глубин от поверхности Земли до 60 м, зона Б – от 110 до 160 м, зона В – от 200 до 220 м и от 280 до 300 м, зона Г – от 620 до 680 м и зона Д – от 1100 до фундамента [1].

Для оценки подземных водоносных горизонтов (глубина залегания, толщина, морфология) были использован комплекс геофизических методов, включающий каротаж скважин и вертикальные электрические зондирования (ВЭЗ). В данном исследовании результаты интерпретация данных каротажа сквhажин, вертикальных электрических зондирований (ВЭЗ) использовались для определения литологии водоносных пластов, их толщины и глубины залегания и оп ределения наилучшего места для заложения водозаборных скважин в районе деревни Мандиша в оазисе Эль-Бахария.

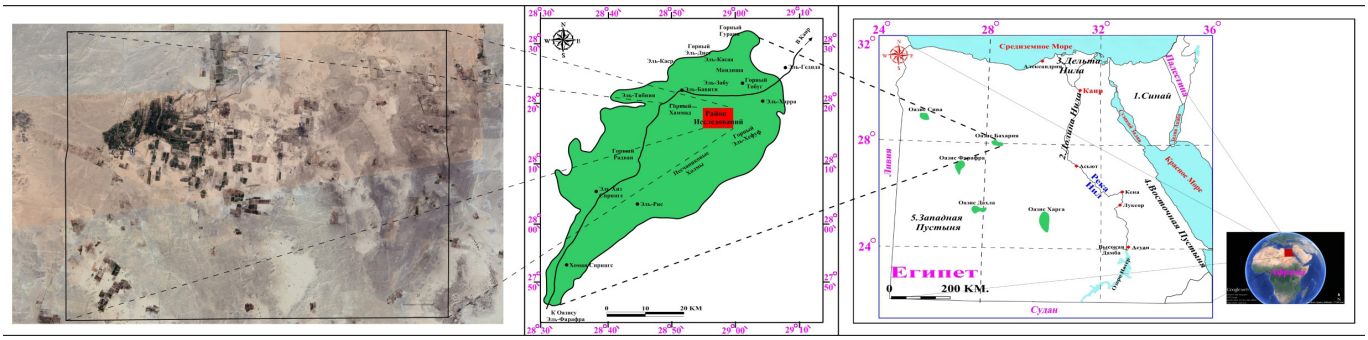

Рисунок 1. Карта расположения исследуемой территории.
Figure 1. Location map of the area under study.

wael_ragab@yahoo.com
https://orcid.org/0000-0002-5971-4839

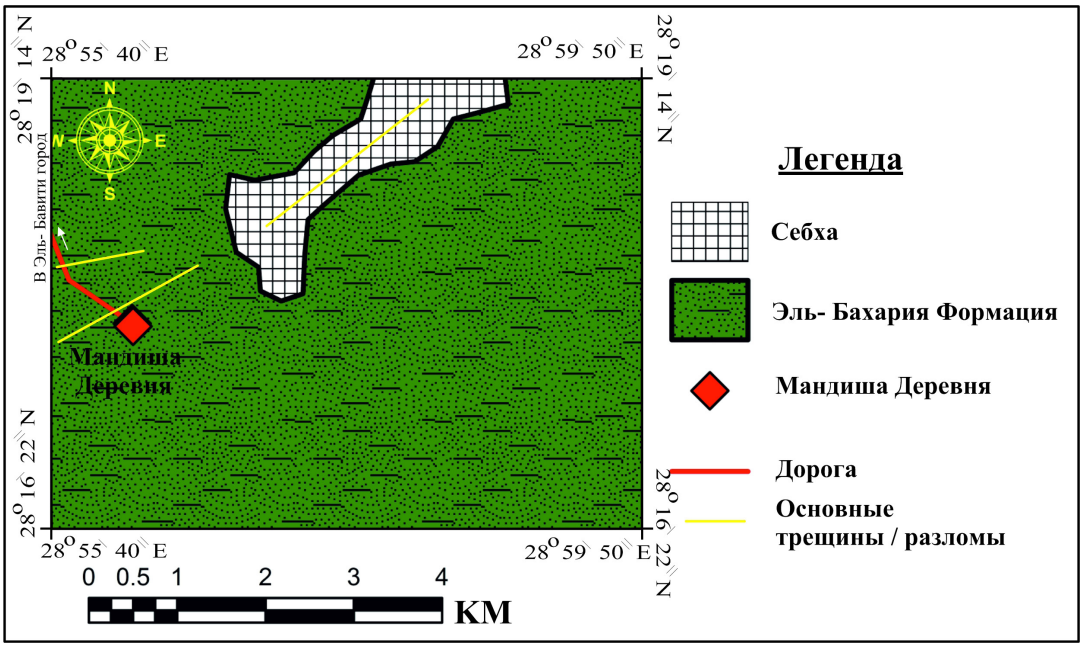

Рисунок 2. Геологическая карта исследуемого района [2].
Figure 2. Geological map of the investigated area [2].

Геология района исследования

Геология исследуемой территории была взята с геологической карты Египта, лист № NH 35 SEBAHARIYA, масштаб 1: 500 000 [2]. Лист был построен Египетской генеральной нефтяной корпорацией в 1986 г. (рис. 2). Поверхностная геология исследуемой территории относится к верхнему меловому (сеноман) и четвертичному возрасту:

– верхнемеловые отложения представлены формацией Бахария (ранний сеноман); формация Бахария широко распространена в изучаемой области и состоит из тонких и грубых железистых песчаников, переслаивающихся глинами;

– четвертичные отложения представлены отложениями Сабха, сложенными сланцами,hvvv глинами и эвапоритовыми отложениями; отложения Сабха распространены в северной центральной части района исследования;

– структурные элементы представлены в исследуемой области в виде трещин и(или) разломов; основным направлением этих разломов является направление СВ–ЮЗ.

Данные каротажа скважин

Данные каротажа использовались для построения литологического разреза скважины, определения зон подземных водоносных горизонтов (зоны А, Б и В) в исследуемом районе и построения геоэлектрической модели, используемой для интерпретации данных ВЭЗ. Ближайшая к району исследования скважина 14 расположена в 2 км от него в точке с координатами 28,333° С, 28,933° В, альтитуда устья скважины 123 м (рис. 3). На данном этапе исследований максимальная глубина используемого ствола скважины составляет 320 м (рис. 4).

Комплекс методов каротажа в скважине 14 включает: 1. Метод КС потенциал-зондами фирмы «Шлюмберже» A64M и A16M (здесь длина зондов дана в дюймах); 2. Метод естественной радиоактивности ГК в единицах API (1 мкР/ч = 10 API).

Потенциал-зонды обладают разной глубиной исследования: короткий (0,4 м) потенциал-зонд A16M несет информацию о сопротивлении зоны проникновения в проницаемых пластах, в которой пластовая вода замещена фильтратом бурового раствора, а длинный (1,6 м) потенциал-зонд несет информацию о сопротивлении неизмененной части проница-

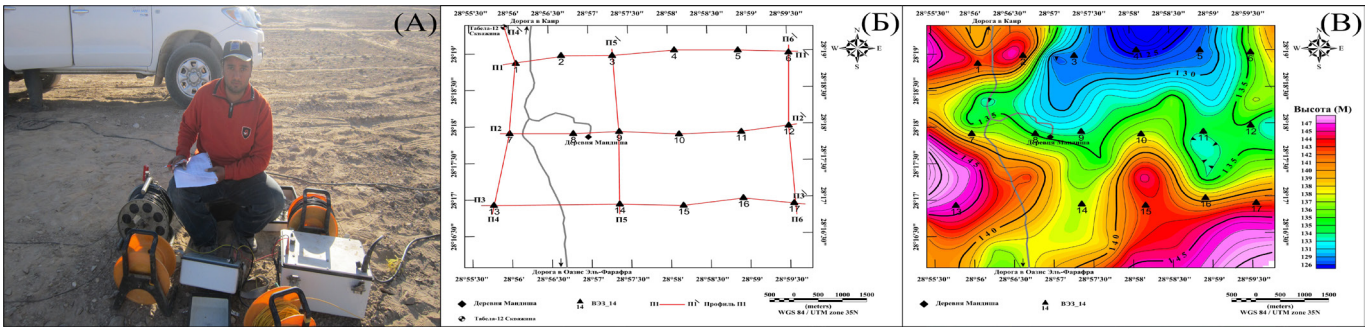

Рисунок 3. Используемые данные. а – во время измерения данных ВЭЗ; б – карта местоположения геофизических данных; в – карта высот исследуемой области.
Figure 3. The data used. a - during the measurement of VES data; b - location map of geophysical data; c - map of heights of the investigated area.

емого пласта. Поэтому кривые зондов A64M и A16M расходятся против коллекторов (проницаемых водоносных зон А, Б и В) и совпадают против непроницаемых пластов глин.

Кажущееся сопротивления длинного потенциал-зонда против водоносных пластов изменяется в пределах от 500 до 600 Ом × м, а против глин – от 60 до 90 Ом × м. Показания ГК против пластов глин изменяются в пределах от 50 до 60 API, а против водоносных зон – от 16 до 22 API (рис. 4).

По данным каротажа, геологический разрез скважины 14 включает 10 слоев (рис. 4): первый слой – песчаник переслаиваемый глиной (от 0 до 10 м); второй слой – песчаник, зона А (от 10 до 30 м); третий слой – песчаник, переслаиваемый глиной (от 30 до 110 м); четвертый слой – песчаник, зона Б (от 110 до 160 м); пятый слой – песчаник, переслаиваемый глиной (от 160 до 180 м); шестой слой – глина (от 180 до 200 м); седьмой слой – песчаник, зона В (от 200 до 225 м); восьмой слой – глина (от 225 до 280 м); девятый слой – песчаник, зона В (от 280 до 300 м); десятый слой – глина (от 300 до 320 м).

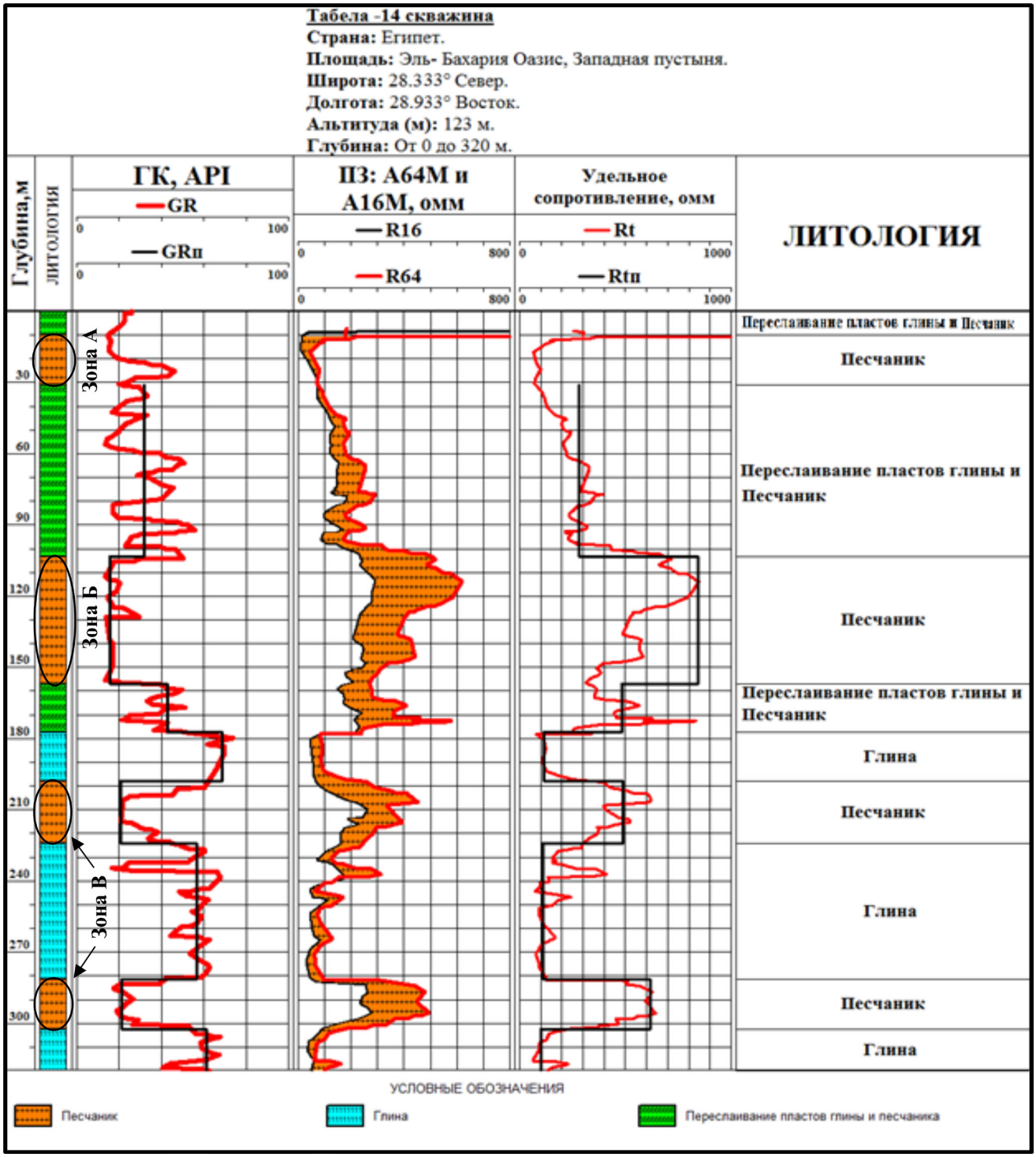

Рисунок 4. Скважина 14.
Figure 4. Well 14.

Таблица 1. Параметры водоносных зон в скважине 14.
Table 1. Parameters of aquifer zones in well 14.

Зона	Глубина, м	Толщина, м	GR (API)	R16, Ом × м	R64, Ом × м
А	10–30	20	15,67	69–286	277–613
Б	110–160	50	14,29	157–286	277–613
В, первый слой	200–225	25	21,20	88–258	295–452
В, второй слой	280–300	20	21,65	69–272	313–484

Таблица 2. Результаты интерпретации данных каротажа скважины 14.
Table 2. Results of interpretation of well logging 14.

Номер слоя	Литология	Глубина, м	Толщина, м	Удельное сопротивление, Ом × м
Первый	Песчаник, переслаиваемый глиной	0–10	10	180
Второй	Песчаник (зона А)	10–30	20	400
Третий	Песчаник, переслаиваемый глиной	30–110	80	180
Четвертый	Песчаник (зона Б)	110–160	50	500
Пятый	Глина	160–200	40	80
Шестой	Песчаник (зона В)	200–220	20	500
Седьмой	Глина	–	–	70

В интервале от 0 до 30 м скважина документирована по керну. Основными водоносными горизонтами являются зоны А, Б и В. Зона А залегает в интервале глубин от 10 до 30 м, зона Б – от 110 до 160 м, зона В – от 200 до 225 м и от 280 до 300 м.

Параметры водоносных зон, определенных по данным комплекса ГИС в скважине 14, представлены в табл. 1.

Геоэлектрическая модель, использованная для интерпретации кривых ВЭЗ, состоит из 7 слоев (табл. 2).

Интерпретация данных вертикального электрического зондирования (ВЭЗ)

Метод электрического сопротивления является одним из наиболее перспективных геофизических инструментов, который используется для исследования подземных вод [3–11].

Вертикальные электрические зондирования (ВЭЗ) были проведены в окрестностях деревни Мандиша с использованием французского геофизического оборудования SYSCAL R2 (рис. 3, а) [12].

Семнадцать ВЭЗ были проведены в пределах исследуемого участка с использованием установки Шлюмберже с разносами AB/2 в пределах от 1 до 1000 м (рис. 3, б). Данные ВЭЗ использовались для обнаружения неглубоких зон подземных водоносных горизонтов (зоны А, Б, В) в исследуемом районе.

Использовались два метода количественной интерпретации вертикальных электрических зондирований (ВЭЗ) для определения удельного электрического сопротивления и толщины последовательно залегающих пластов геологического разреза. Первый метод – это ручная интерпретация, которая зависит от соответствия построенных кривых поля с использованием двух основных пластов и обобщенных графиков Каньяра [13] и [14]. Полученные результаты ручной интерпретации были использованы в качестве исходных моделей для аналитических методов по второй методике для вычисления удельного электрического сопротивления и толщины всех слоев разреза с использованием программы IPI2WIN [15] в качестве конечных результатов (рис. 6). Программа IPI2WIN [15] была разработана российской научной группой в Московском государственном университете (МГУ).

Геоэлектрическая модель разреза скважины 14 (табл. 2) использовалась для интерпретации кривых ВЭЗ (рис. 5). Результаты интерпретаций ВЭЗ показали, что оптимальное количество слоев в этой области 7 (рис. 6), величины удельных сопротивлений этих слоев изменяются в пределах от 2 до 587 Ом · м, а толщина – от 3,3 до 89,7 м. Окончательные результаты интерпретации данных ВЭЗ были использованы для построения шести профилей П1–П6. Три профиля (П1, П2 и П3) длиной 6500 м были построены с запада на восток, а остальные три профиля (П4, П5 и П6) длиной 4500 м были построены с юга на север. Эти профили были построены с учетом альтитуды каждой точки ВЭЗ, изменяющейся в пределах от 122 до 152 м (рис. 3, в).

Геоэлектрический разрез вдоль профилей П1–П6 (рис. 7) состоит из семи слоев. Первый слой состоит из глинистого песчаника толщиной от 4 до 12,7 м и удельным сопротивлением 41–220 Ом · м. Второй слой состоит из песчаника (зона А) толщиной от 9,2 до 23 м и удельным сопротивлением 302–479 Ом · м. Третий слой состоит из глинистого песчаника толщиной от 61,5 до 89,7 м и удельным сопротивлением 68,7–189 Ом · м. Четвертый слой состоит из песчаника (зона Б) толщиной от 39,6 до 63.9 м и удельным сопротивлением 254–562 Ом · м. Пятый слой представлен глиной толщиной от 38,4 до 49,8 м и удельным сопротивлением 18–155 Ом · м. Шестой слой состоит из песчаника (зона В) толщиной от 19 до 40,7 м и удельным сопротивлением 254–587 Ом · м. Седьмой слой сложен глиной с удельным сопротивлением 50,8–173 Ом · м.

На кривых ВЭЗ № 4 и ВЭЗ № 5 проявляется низкоомный тонкий слой, расположенный в верхней части разреза в четвертичных образованиях, состоящий из глины с соленой водой и представляющий собой «экран» для электрического тока. Этот слой имеет толщину в диапазоне от 3,3 до 4,6 м и удельное сопротивление 2–6 Ом · м.

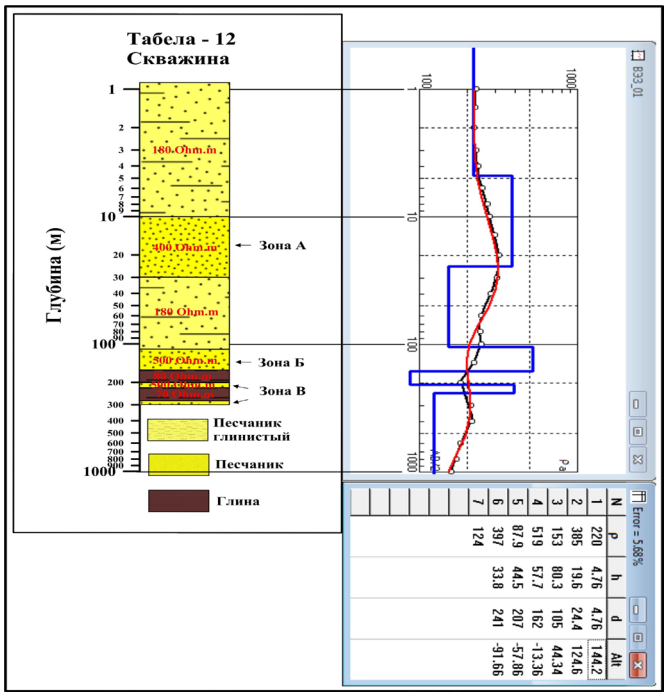

Рисунок 5. Корреляция между ВЭЗ № 1 и данными скважины 14.
Figure 5. Correlation between VEZ No. 1 and well data 14

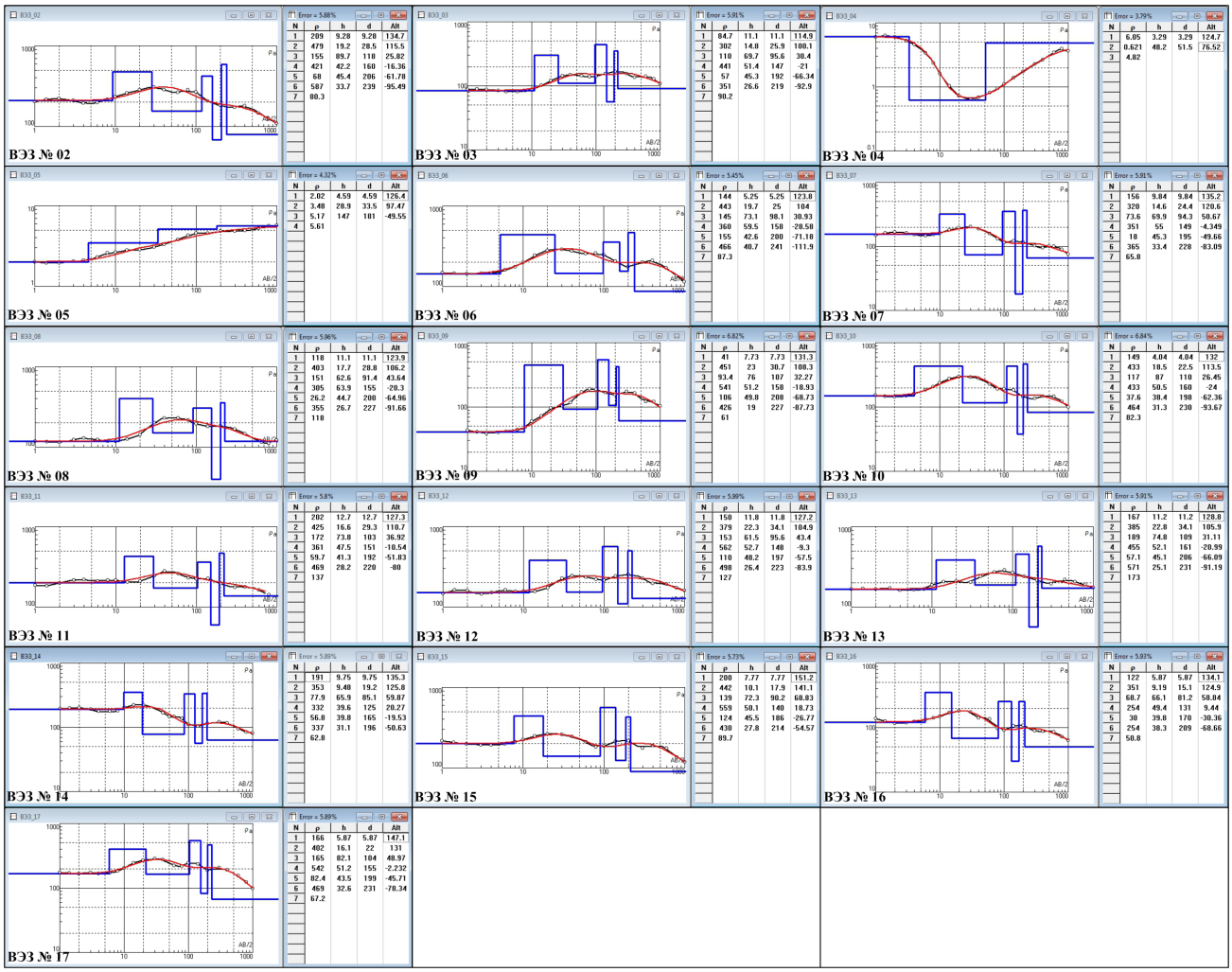

Рисунок 6. Интерпретация вертикальных электрических зондирований (ВЭЗ № 2–ВЭЗ № 17) по программе IPI 2WIN.
Figure 6. Interpretation of vertical electric sounding (VEZ No 2-VEZ No 17) according to the IPI 2WIN program.

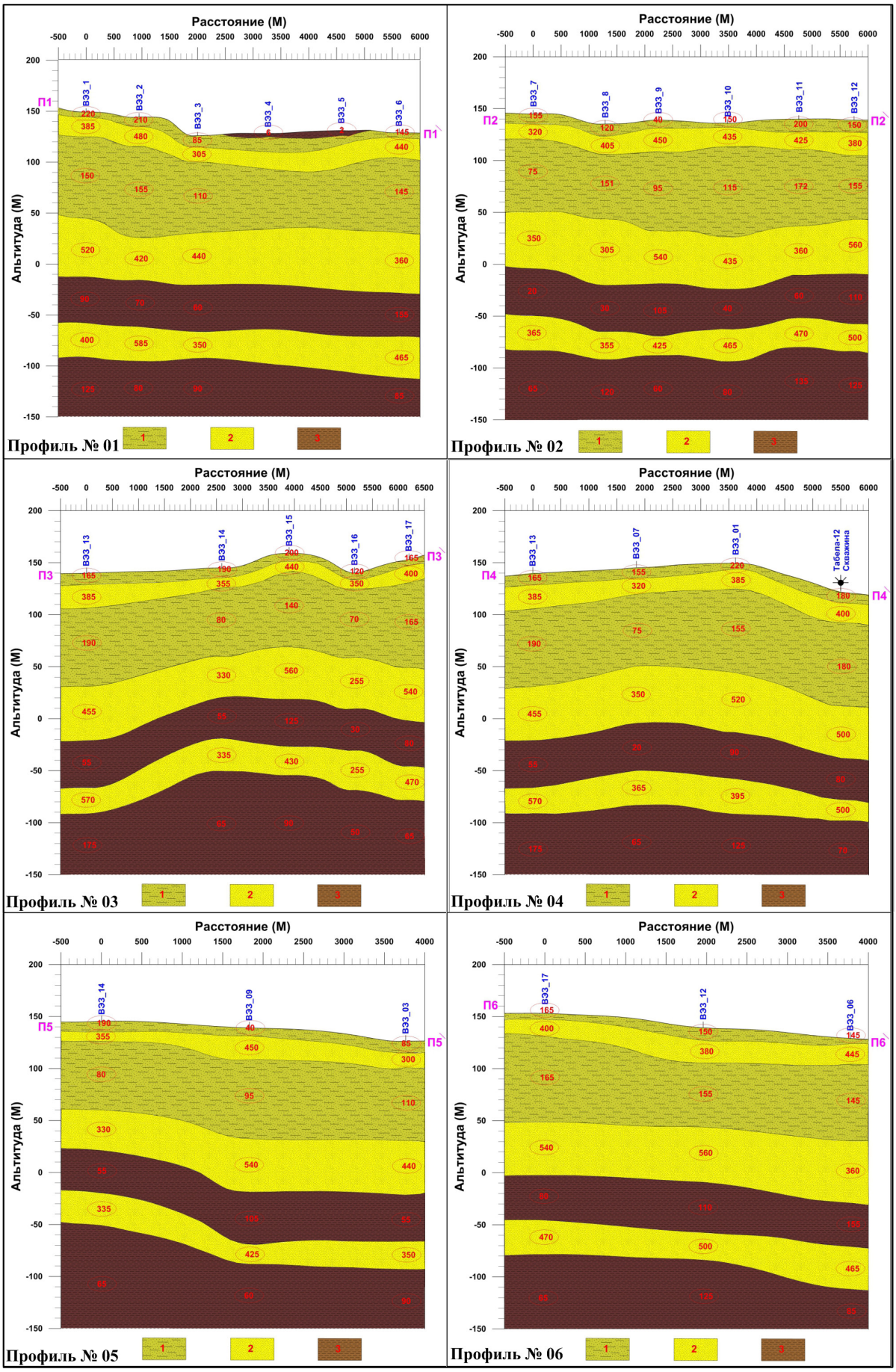

Рисунок 7. Геоэлектрические разрезы вдоль профилей П1–П6.
Figure 7. Geoelectric sections along profiles P1-P6.

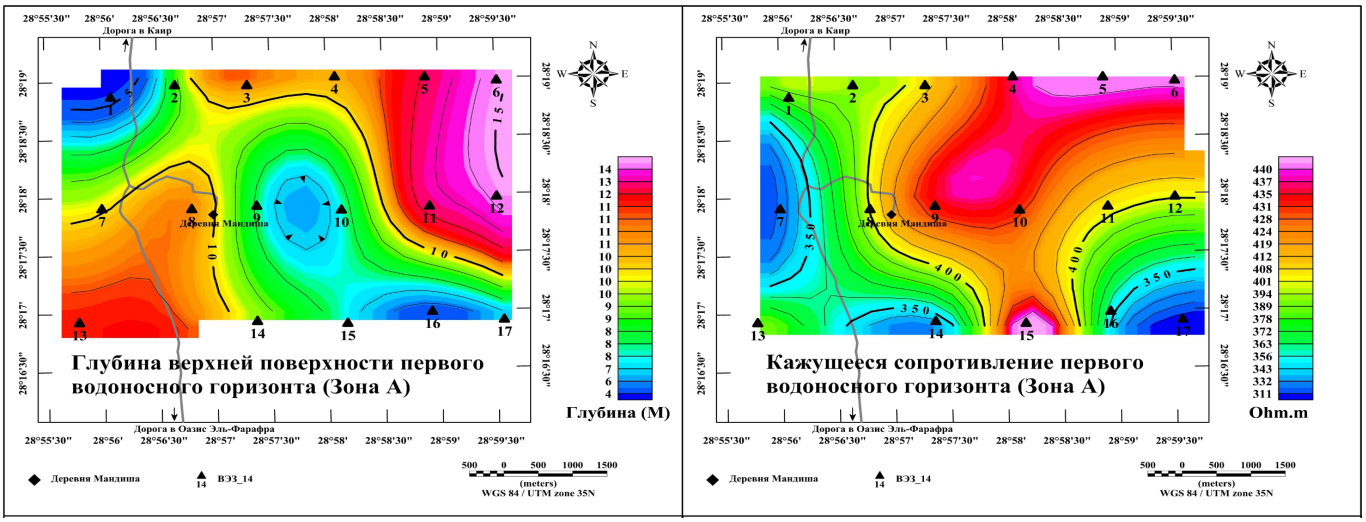

Рисунок 8. Карта глубины и кажущегося удельного сопротивления для первого водоносного горизонта (зона А).
Figure 8. Map of depth and apparent resistivity for the first aquifer (zone A).

Геоэлектрические профили использованы для построения карт глубины и удельного сопротивления в водонасыщенных зонах А, Б, В.

Глубина первого водоносного горизонта (зона А) составляет от 4 до 15 м, а удельное сопротивление от 300 до 450 Ом · м. Высокие значения удельного сопротивления в зоне А, полученные по данным ВЭЗ № 6, 9, 10 и 15, указывают на пресную слабосоленую воду (рис. 8).

Глубина второго водоносного горизонта (зона Б) колеблется от 80 до 116 м, а удельное сопротивление от 220 до 520 Ом · м. Высокие значения удельного сопротивления в зоне Б, полученные по данным ВЭЗ № 1, 10 и 13, также характерны для пресной/слабоминерализованной воды.

Глубина третьего водоносного горизонта (зона В) колеблется от 170 до 204 м, а удельное сопротивление от 240 до 540 Ом · м. Высокие значения удельного сопротивления в зоне В, полученные по данным ВЭЗ № 2, 6, 12 и 13, также указывают на пресную/слабосоленую воду.

На рис. 8 показан пример определения глубины и кажущегося сопротивления первого водоносного горизонта (зона А).

Выводы

1. Основными зонами водоносных горизонтов в исследуемом районе являются зоны А, Б и В. Глубина зоны А – от 10 до 30 м. Глубина зоны Б – от 110 до160 м. Глубина зоны В – от 200 до 220 м.

2. Лучшее место для бурения водозаборной скважины на исследуемом участке, по данным ВЭЗ, находится в юго-западной части исследуемого участка (недалеко от ВЭЗ № 13), где отмечается наибольшее сопротивление водоносных зон. Для уточнения места для бурения скважин необходимо отобрать пробы пластовых вод в исследуемом районе и провести их гидрохимический анализ.

ЛИТЕРАТУРА

1. 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. P. 91–124.
2. Egyptian Military Survey “EMS” Topographic Map of El-Bahariya Oasis / Scale 1:500000, Sheet No. NH 35 SE BAHARIYA, Western Desert, Egypt. 1986.
3. Блох И. М. Электропрофилирование методом сопротивлений. М.: Недра, 1971. 216 с.
4. Жданов М. С. Электроразведка. М.: Недра, 1986. 316 с.
5. Колесников В. П. Основы интерпретации электрических зондирований. М.: Научный мир, 2007. 248 с.
6. Куфуд О. Зондирование методом сопротивлений М.: Недра, 1984. 270 с.
7. Хмелевской В. К. Электроразведка М.: Недра, 1984. 420 с.
8. Jakosky J. J. Exploration geophysics. Tiya New Beach Calif., Techs. 1961. 1, 2 and 6.
9. Keller G. V. Application of resistivity method in mineral and groundwater exploration Programs // Geophys. Surv. Can. 1967. Vol. 26. P. 51–66.
10. Milsom J. Field Geophysics. 3-rd Ed; John Wiley & Sons Ltd, the Atrium, Southern Gate, Chichester, West Sussex PO19 8SQ. London: University College, England. 2003. 232 p.
11. Khalifa R. M. Study of groundwater resources management in El-Bahariya Oasis; PhD Thesis, Faculty of Science, Alexandria University. 2006. 226 p.
12. Iris instruments. Worldwide provider of instruments. http://www.iris-instruments.com/syscal-r2.html
13. Koefoed O. A generalized cagniard graph for interpretation of geoelectrical sounding data // Geophys. Prospect. 1960. Vol. 8 (3). P. 459–469. https://doi.org/10.1111/j.1365-2478.1960.tb01728.x
14. Orellana E., Mooney H. M. Master table and curves for vertical electrical sounding data // Geophys. Prospect. 1966. Vol. 8 (3). P. 459–469.
15. IPI2WIN Program. Version 3.1 2C; 17.10.08, 1990–2008. Copyright@1990–2010.

Статья поступила в редакцию 02 октября 2019 г.

УДК 550.313 https://doi.org/10.21440/2307-2091-2019-4-25-32

Groundwater searches in the Al-Bahariya oasis in the Western Desert of Egypt based on the interpretation of logging data and vertical electrical sound-ing (VES) curves

Wael Ragab GAVEISH[1,2],
Igor Alekseevich MARAEV[1],
Sultan Awad SULTAN[2],
Petr Vyacheslavovich NOVIKOV[1],
Andrey Aleksandrovich IVANOV[1],
Viktor Valer'evich ROMANOV[1],
Kirill Sergeevich MALSKIY[1]

[1]Russian State Geological Prospecting University, named after Sergo Ordzhonikidze, Russia, Moscow
[2]National Research Institute of Astronomy and Geophysics (NRIAG), Egypt, Cairo

Relevance of research: the population of this region consumes low-quality water from surface sou¬rces for drinking and agriculture. In addition, this water is contami-nated with waste from the El Gedida mine located near the research area, where iron ore is mined and processed. Therefore, it is important to look for another source of water, namely, shallow groundwater. The main aquif¬er in the study area is located in Nubian sandstone (Cenomanian stage) and consists of five zones.
Purpose of the research: the results of interpretation of well logs and vertical electrical sounding (VES) curves are presented to determine the position of underground aquifers and to choose the best place for drilling new water wells in the vicinity of the village of Mandisha, Al-Bahariya oasis, Western Desert, Egypt.
Methodology of the research: well logging data was used to construct the geoelectric model used to interpret ¬the VES curves 17 VESs were made using French SYS-CALR2 equipment. VES data were interpreted using the IPI2WIN program. Based on the results of interpretation of the VES curves, 6 geoelectric profiles were con-structed in which 3 aquifers (zones A, B and C) were identified. The depth, thickness and apparent resistance of each of the aquifers are determined.
Results of the work: the most important results of this study are: 1. The depth of zone A is from 10 to 30 m. The depth of zone B is from 110 to 160 m. The de¬pth of zone B is from 200 to 220 m. The best place for drilling a water well in the study area is located in the southwestern part of the study area (near VES No. 13).
Keywords: underground aquifer, well logging, VES, Al-Baharia oasis, Egypt.

REFERENCES

1. 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, pp. 91–124.
2. 1986, Egyptian Military Survey "EMS" Topographic Map of El-Bahariya Oasis.Scale 1:500000, Sheet No. NH 35 SE BAHARIYA, Western Desert, Egypt.
3. Blokh I. M. 1971, *Elektroprofilirovaniye metodom soprotivleniy* [Electroprofiling by resistance method]. Moscow, 216 p.
4. Zhdanov M. S. 1986, *Elektrorazvedka* [Electric intelligence]. Moscow, 316 p.
5. Kolesnikov V. C. 2007, *Osnovy interpretatsii elektricheskikh zondirovaniy* [Fundamentals of interpretation of electric sounding]. Moscow, 248 p.
6. Kufud O. 1984, *Zondirovaniye metodom soprotivleniy* [Sensing by the method of resistance]. Moscow, 270 p.
7. Khmelevskoy V. K.1984, *Elektrorazvedka* [Electroprospecting]. Moscow, 420 p.
8. Jakosky J. J. 1961, Exploration geophysics. Tiya New Beach Calif., Techs. 1,2 and 6.
9. Keller G. V. 1967, Application of resistivity method in mineral and groundwater exploration Programs. *Geophys. Surv. Can*. Vol. 26. P. 51–66.
10. Milsom J. 2003, Field Geophysics. 3-rd Ed; John Wiley & Sons Ltd, the Atrium, Southern Gate, Chichester, West Sussex PO19 8SQ. London: University College, England, 232 p.
11. Khalifa R. M. 2006, Study of groundwater resources management in El-Bahariya Oasis; PhD Thesis, Faculty of Science, Alexandria University, pp. 226.
12. Iris instruments. Worldwide provider of instruments. http://www.iris-instruments.com/syscal-r2.html
13. Koefoed O. 1960, A generalized cagniard graph for interpretation of geoelectrical sounding data. *Geophys. Prospect*. Vol. 8 (3). P. 459–469. https://doi.org/10.1111/j.1365-2478.1960.tb01728.x
14. Orellana E., Mooney H. M. 1966, Master table and curves for vertical electrical sounding data. *Geophys. Prospect*. Vol. 8 (3). P. 459–469.
15. IPI2WIN Program. Version 3.1 2C; 17.10.08, 1990-2008. Copyright@1990–2010.

The article was received on October 02, 2019

wael_ragab@yahoo.com
https://orcid.org/0000-0002-5971-4839