

РОССИЙСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
имени СЕРГО ОРДЖОНИКИДЗЕ (МГРИ)

На правах рукописи

Ваел

**ГАВЕИШ Ваел Рагаб Али Ибрагим**

**КОМПЛЕКС ГЕОФИЗИЧЕСКИХ МЕТОДОВ ДЛЯ ПОИСКОВ ПОДЗЕМНЫХ  
ВОД В ОАЗИСЕ БАХАРИЯ, ЗАПАДНАЯ ПУСТЫНЯ, ЕГИПЕТ**

Специальность 25.00.10 – Геофизика, геофизические методы поисков полезных  
ископаемых

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени

кандидата геолого-минералогических наук

Москва – 2020

Работа выполнена в ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе»

**Научный руководитель** **Мараев Игорь Алексеевич**  
кандидат технических наук, доцент ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе (МГРИ)»

**Официальные оппоненты** **Шевнин Владимир Алексеевич**  
доктор физико-математических наук, профессор кафедры геофизических методов исследования земной коры Геологического факультета ФГБОУ ВО «МГУ имени М.В. Ломоносова».

**Новиков Константин Валерьевич**  
кандидат геолого-минералогических наук, главный геофизик Центра ГМСН и РР, ФГБУ «Гидроспецгеология».

**Ведущая организация** **Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Российский университет дружбы народов» (РУДН)**

Защита состоится « 15 » Июня 2021 года в 15.00 часов на заседании диссертационного совета Д 212.121.04 при ФГБОУ ВО «РГГРУ имени Серго Орджоникидзе» (МГРИ) по адресу: 117997, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 23, зал диссертационных советов (каб. 4-73).

С диссертацией можно ознакомиться в Научной библиотеке и на сайте ФГБОУ ВО «Российский государственный геологоразведочный университет имени Серго Орджоникидзе» по адресу: 117997, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 23, <https://mgri.ru/>

Автореферат разослан « \_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2020 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета Д.212.121.04



Ганова С.Д.

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы диссертации.** Египет находится на Северо-Востоке Африки. Основным водным ресурсом страны является река Нил, но Египет имеет много засушливых и полусушливых регионов, которые страдают от нехватки поверхностных вод, особенно в западной пустыне. Поэтому Египет внедряет многие проекты по разведке подземных вод для развития таких районов, как Западная пустыня, включая Оазис Эль-Бахария.

Район исследования расположен в северной части оазиса Эль-Бахария, Западная пустыня, Египет в окрестностях деревни Мандиша в 2.56 км от дороги Каир – Оазис Эль-Бахария. Население этого района страдает от дефицита поверхностных вод, необходимых для хозяйственно-бытовых нужд и сельскохозяйственной деятельности. Кроме того, эта вода могут быть загрязнена отходами расположенного недалеко от района исследования рудника Эль– Гедида, где ведется добыча и переработка железной руды. Для снабжения населения качественной водой необходимо искать другой источник воды как неглубокие подземные воды в исследуемом районе и изучить её качество для питьевых и бытовых целей .

Основные водоносные горизонты в исследуемом районе расположены в нубийском песчанике, который залегает непосредственно на поверхности фундамента. Нубийский песчаник сложен песчаником от мелкого до грубого с прослоями глины и включает 5 зон (А, Б, В, Г и Д). Неглубокие водоносные горизонты: зоны А, Б и В, - залегают на глубине менее 300 метров. Глубокие водоносные горизонты зоны Г и Д залегают на глубине более 300 метров.

Для определения свойств (глубина, толщина и удельное сопротивление) неглубоких подземных водоносных горизонтов до 250м в районе исследований был использован комплекс геофизических методов, включающий магниторазведку, каротаж скважин (ГИС), вертикальные электрические зондирования (метод ВЭЗ) и зондирования становлением поля в ближней зоне (метод ЗСБ). Кроме того были отобраны пробы воды из неглубоких скважин (менее 50 м) в исследуемом районе и проведен их

гидрохимический анализ для оценки качества подземных вод в первом водоносном горизонте (Зона А) в исследуемом районе.

В данном исследовании результаты интерпретации данных магниторазведки, каротажа скважин, метода ВЭЗ, метода ЗСБ и гидрохимических анализов отобранных проб воды позволили выявить глубину, толщину водоносных горизонтов и выбрать лучшие места для бурения новых скважин в исследуемой местности и изучить качество воды для питьевых и бытовых целей.

**Цель работы** – Обеспечение населения в исследуемом районе хорошими источниками подземных вод, которая необходима для питьевых и бытовых целей на основе геофизических и гидрохимических исследований.

#### **Основные задачи исследования**

1. Определение глубины залегания пород фундамента в исследуемой зоне и, следовательно, толщины осадочного чехла на основе данных магниторазведки.
2. Определение лучшего места для бурения водозаборных скважин в зонах (А, Б и В) в исследуемой территории на основе данных методов ГИС, ВЭЗ и ЗСБ.
3. Изучение целесообразности использования подземных вод в исследуемом районе для питьевых и бытовых целей на основе анализов качества подземных вод.

**Фактический материал и личный вклад автора** - Автором проводились полевые и камеральные исследования водоносных горизонтов в исследуемом районе в оазисе Эль-Бахария, Западная пустыня, Египет. Непосредственно автором выполнены такие виды исследований, как:

1. Сбор многочисленных опубликованных литературных и фондовых материалов по геологии исследуемого района.
2. Участие в проведении полевых геофизических съемок в районе исследования, которые включают в себя: магниторазведку, вертикальные электрические зондирования (метод ВЭЗ), зондирование становлением поля в ближней зоне (метод ЗСБ) и отбор проб грунтовых вод в районе исследования.
3. Проведены обработка и интерпретация данных геофизических методов: Магниторазведка, ГИС, ВЭЗ и ЗСБ.

4. Проведение комплексной интерпретации геофизических данных и построение геологического разреза района исследования.

5. Формулирование основных результатов исследований, выводов и заключений.

**Методы исследований** - В этом исследовании применялся комплекс геофизических методов, включающий магниторазведку, ГИС, ВЭЗ и ЗСБ, для поисков подземных вод до глубины 250 м (зоны А, Б и В), а также гидрохимический анализ отобранных проб воды для определения качества воды в зоне А.

### **Научная новизна**

1. Установлено по данным магниторазведки, что глубина залегания пород фундамента в исследуемой зоне изменяется от 1150 м в Северо-восточном, Северо-западном, Северном и Западном районах исследуемой территории до 2150 м в восточной части исследуемой территории. Соответственно толщина осадочного чехла наибольшая в восточной части района исследования и, следовательно, в восточной части исследуемой территории увеличивается возможность накопления подземных вод.

2. Установлено по результатам интерпретации данных магниторазведки, что основными направлениями разломов в исследуемом районе являются направления Запад-Восток, СВ-ЮЗ и СЗ-ЮВ.

3. Показано, что данный комплекс геофизических методов: ГИС, ВЭЗ и ЗСБ - является рациональным для поисков водоносных горизонтов до глубины 250 метров в исследуемом районе оазиса Эль-Бахария в Западной пустыне Египта.

4. Установлено, что по общей минерализации (T.D.S), электропроводности ( $\sigma$ ) и общей жёсткости воды (С) проба воды № 4, отобранная в юго-восточной части района исследования, является хорошей водой для питьевых и бытовых целей.

**Практическая значимость работы** - Результаты исследований будут использованы для поисков подземных вод в исследуемом районе с использованием комплекса геофизических методов (Магниторазведка, ГИС, ВЭЗ и ЗСБ). Комплекс геофизических методов и применяемая методика могут применяться во многих местах в других оазисах в Западной пустыне Египта, которые страдают от нехватки поверхностных

вод для обеспечения населением хорошим источником воды, которая необходима для питьевых, ирригационных, бытовых нужд.

### **Защищаемые положения**

1. Глубина поверхности фундамента, толщина осадочного чехла и основные направления разломов были определены в исследуемой территории с использованием результатов интерпретации магнитных данных.

2. Свойства водоносных горизонтов (глубины, толщины и удельного сопротивления подземных водоносных горизонтов до 250м) в зонах А, Б и В в исследуемом районе были определены с использованием результатов интерпретации комплексных геофизических методов (ГИС, ВЭЗ и ЗСБ).

3. Лучшие места для бурения водозаборных скважин в зонах А, Б и В в исследуемой территории были определены с использованием результатов интерпретации комплекса геофизических методов (ГИС, ВЭЗ и ЗСБ).

4. Качество подземных вод для питьевых и бытовых целей в зоне А в исследуемом районе были определены с использованием результатов гидрохимических анализов подземных вод.

**Апробация результатов исследования** - Основные положения и результаты исследования были представлены автором в 5 научных докладах на следующих конференциях: Международная Научно-Практическая Конференция / Стратегия Развития Геологического Исследования Недр: Настоящее И Будущее «К 100-Летию МГРИ–РГГРУ» (Москва 2018 г.); геология в развивающемся мире / Сборник научных трудов по материалам XI Международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых (Пермь 2018 г.); Всероссийская научно-практическая конференция и выставка «Геофизика и МГРИ. 100 лет вместе» (Москва 2018 г.); XIV Международной научно-практической конференции "Новые идеи в науках о Земле" (Москва 2019 г.).

**Публикации** - По теме диссертации опубликовано 5 работ в изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки России.

**Структура и объем работы** - Работа состоит из 5 глав, введения, заключения, списка литературы из 106 наименований. Общий объем диссертации составляет 104 страницы, включая 49 рисунк и 8 таблиц.

**Благодарности** - Автор выражает искреннюю признательность и благодарность профессорско-преподавательскому составу кафедры геофизики факультета геологии и геофизики нефти и газа МГРИ, своему научному руководителю к.т.н. доценту Мараеву И.А. взявшему на себя нелёгкий труд наставничества над иностранным соискателем. Написание диссертации было невозможным без постоянной всесторонней помощи и внимания со стороны научного руководителя, которому автор выражает свою благодарность.

Глубокую признательность и особую благодарность выражаю профессору Петрову А.В., Старшему преподавателю Посеренину А.И., декану факультета геологии и геофизики нефти и газа и заведующему кафедрой геофизики доценту, к.г-м.н. Иванову А.А., доценту Романову В.В, доценту Лобанову А.М., доценту Новикову П.В., доценту Мальскому К.С. и всем профессорам и преподавателям кафедры геофизики за оказание научной помощи в проведении анализа и интерпретации геофизических данных при написании моей диссертации.

Автор приносит искреннюю благодарность коллегам из Национального научно-исследовательского института астрономии и геофизики (NRIAG) за многолетнее плодотворное сотрудничество и помощь при получении геофизических данных и использовании научных и технических возможностей NRIAG. Автор глубоко благодарен своей семье за систематическую поддержку в работе.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** обоснована актуальность работы, охарактеризована её цель и задачи, представлена научная новизна и практическая значимость, отражены методы исследований и личный вклад автора.

**В первой главе** приведена геоморфологические и геологические условия оазиса Эль-Бахария, Западная пустыня, Египет.

**В второй главе** приведена интерпретация данных магниторазведки для определения глубины залегания пород фундамента в исследуемом районе и, следовательно, определения толщины осадочного чехла в исследуемом районе, а также определения структурных элементов таких как разломы в исследуемом районе.

**В третьей главе** приведен комплекс геофизических методов исследования скважин (ГИС), который был использован для выделения коллекторов подземных вод и построения геоэлектрической модели, используемой для интерпретации данных вертикальных электрических зондирований (Метод ВЭЗ) и интерпретации данных зондирования становлением поля в ближней зоне (Метод ЗСБ).

**В четвертой главе** приведена интерпретация данных вертикальных электрических зондирований (ВЭЗ) и данных зондирования становлением поля в ближней зоне (метод ЗСБ) для построение карт глубины, толщины и удельного сопротивления подземных водоносных горизонтов в зонах А, Б и В в исследуемом районе и определение лучшего места для бурения водозаборных скважин в зонах А, Б и В в исследуемой территории.

**В пятой главе** изучена целесообразность использования подземных вод для питьевых и бытовых целей в зоне А в исследуемом районе: оазисе Эль-Бахария, Западная пустыня, Египет на основе гидрохимических анализов отобранных проб подземных вод в исследуемом районе.

## **ЗАЩИЩАЕМЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ И ИХ ОБОСНОВАНИЕ**

1. Первое защищаемое положение: **Глубина поверхности фундамента, толщина осадочного чехла и основные направления разломов были определены в исследуемой территории с использованием результатов интерпретации магнитных данных.**

Основной водоносный горизонт в исследуемом районе расположен в нубийском песчанике, который залегает непосредственно на поверхности фундамента, поэтому необходимо знать глубину залегания пород фундамента, чтобы определить толщину осадочного чехла, содержащего водоносный слой нубийского песчаника в исследуемой территории.



Сто семьдесят четыре магнитных измерения проводились с помощью магнитометров Оверхаузера через каждые 300 - 500м (рис. 1А). Базовая станция располагалась в восточной части исследуемой области для записи магнитных данных, используемых для расчета суточных вариаций во время полевых магнитных измерений. Магнитные данным нужно скорректировать для введения поправки за суточные вариации магнитного поля и международное геомагнитное аналитическое поле (МГАП). В заключении создавалась карту откорректированного наблюденного аномального магнитного поля и магнитную карту интенсивности магнитного поля, редуцированного к полюсу.

**Карта откорректированного наблюденного аномального магнитного поля** является отражением изменений магнитных свойств пород фундамента и его глубины залегания (рис. 1Б). Эта Карта может быть описана следующим образом: 1. Положительная магнитная аномалия сосредоточена в северо-восточной части исследуемой области. Относительная величина этой магнитной аномалии указывает на небольшую глубину залегания пород фундамента в северо-восточной части исследуемой области. 2. Отрицательная магнитная аномалия сосредоточена в юго-восточной части области исследования. Эта магнитная аномалия указывает на большую глубину залегания пород фундамента в юго-восточной части исследуемой области. 3. Интенсивность магнитных аномалий уменьшается с северо-восточной части к юго-восточной части области исследования, что указывает на то, что мощность осадочного чехла увеличивается в сторону юго-восточной части области исследования (рис. 1Б).

**Карта аномального магнитного поля приведенного к полюсу.** Магнитные аномалии созданные геологическими телами, зависят от многих факторов, таких как направление простирания и падения тела и его глубины залегания тела, наклона и склонения индуцирующего поля. Эти магнитные аномалии всегда искажены углами наклона и склонения геомагнитного поля. Таким образом, пик аномалий смещается от центров намагниченных тел, что затрудняет точное определение местоположения этих намагниченных тел. Для корректировки этих искажений аномалий, зависящих от геомагнитной широты, пересчитывается угол наклона вектора намагниченности тела.

Математическая процедура проводится по сетке значений контурного отображения полной магнитной интенсивности. Эта математическая процедура была впервые описана [Baranov, 1957; Baranov and Naudy, 1964; Baranov, 1975; Bhattacharyya, 1965 и 1967].

Карта аномального магнитного поля приведённого к полюсу (рис. 1В) может быть описана следующим образом: 1. Карта аномального магнитного поля приведённого к полюсу (рис. 1В) по сравнению с картой откорректированного наблюдаемого аномального магнитного поля (рис. 1Б) показывает, что все магнитные аномалии смещены к северу за счет исправления наклона магнитного поля в исследуемой области. 2. Появились новые магнитные аномалии тогда как некоторых магнитные аномалии, которые были на карте откорректированного наблюдаемого аномального магнитного поля (рис. 1Б) исчезли на карте аномального магнитного поля приведённого к полюсу (рис. 1В).

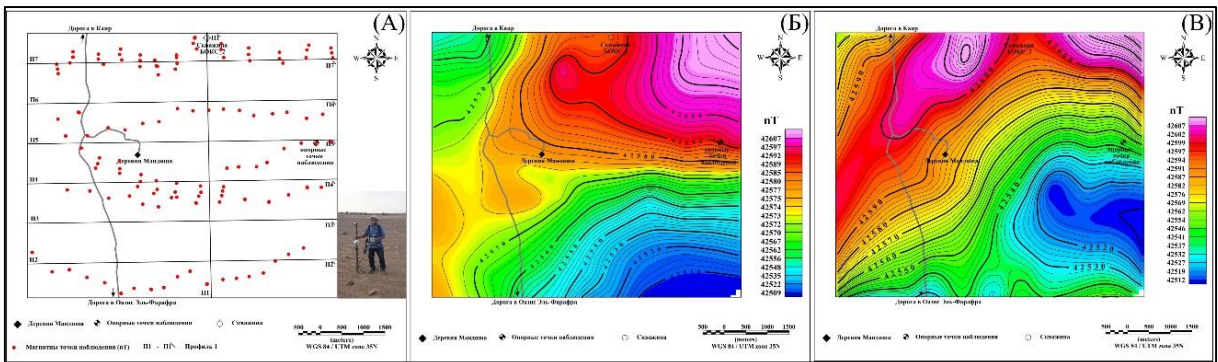


Рис. 1. (А) Карта расположения точек наблюдения, базовой станции и магнитных профилей в исследуемой области. (Б) Карта откорректированного наблюдаемого аномального магнитного поля. (В) Карта аномального магнитного поля приведённого к полюсу

Пять методов использовались на карте аномального магнитного поля, приведённого к полюсу, для интерпретации магнитных аномалий для определения разломов и глубины залегания поверхности пород фундамента в исследуемом районе. Три метода использовались для определения разломов в исследуемом районе; метод техника первой вертикальной производной, метод обнаружения края источника и метод 3D деконволюция Эйлера. И два метода использовались для определения глубины поверхности пород фундамента в исследуемом районе; метод 2D Магнитное моделирование и метод 3D Магнитное моделирование.

**Первым методом использовался для определения разломов в исследуемом районе является техника первой вертикальной производной.** Принцип использования этих карт при магнитной интерпретации заключается в указании мест разломов в породах фундамента. Карта первой вертикальной производной (рис. 2А) была создана из карты аномального магнитного поля приведённого к полюсу. Нулевая контурная линия этой карты определяет разломы в исследуемом районе.

**Вторым методом использовался для определения разломов в исследуемом районе является метод обнаружения края источника.** Этот метод определяет геологические разломы в данных потенциального поля с помощью модуля SEDpeak2.GX программного комплекса Геософт [*Geosoft Oasis Montaj, 2007*]. Метод обнаружения края источника создает две карты: карту горизонтального градиента, полученную из карты аномального магнитного поля приведённого к полюсу и карту геологических контактов (разломов) в районе исследования, которые обнаружены на карте аномального магнитного поля приведённого к полюсу. Эта карта показывает местоположения и направления разломов в районе исследования. Основными направлениями разломов являются З-В, СВ-ЮЗ и СЗ-ЮВ направления (рис. 2Б).

**Третьим методом использовался для определения разломов в исследуемом районе является 3D деконволюция Эйлера.** В последнее время, метод 3D деконволюция Эйлера широко используется при автоматической интерпретации магнитных и гравитационных данных. Этот метод используется для определения даек и разломов с хорошей точностью [*Reid et.al., 1990; Klingele et.al., 1991; Marason and Klingele, 1993; Harris et.al., 1996; Barbosa et.al., 1999; Stavrev P.Y., 1997*]. В настоящем исследовании; методика 3D деконволюция Эйлера была применена для определения местоположения и глубины разломов в исследуемой области. Полученные решения деконволюции Эйлера магнитных данных показаны на рисунке (рис. 2В). Решения Эйлера были применены на карте аномального магнитного поля, приведённого к полюсу, с использованием программы Геософт.

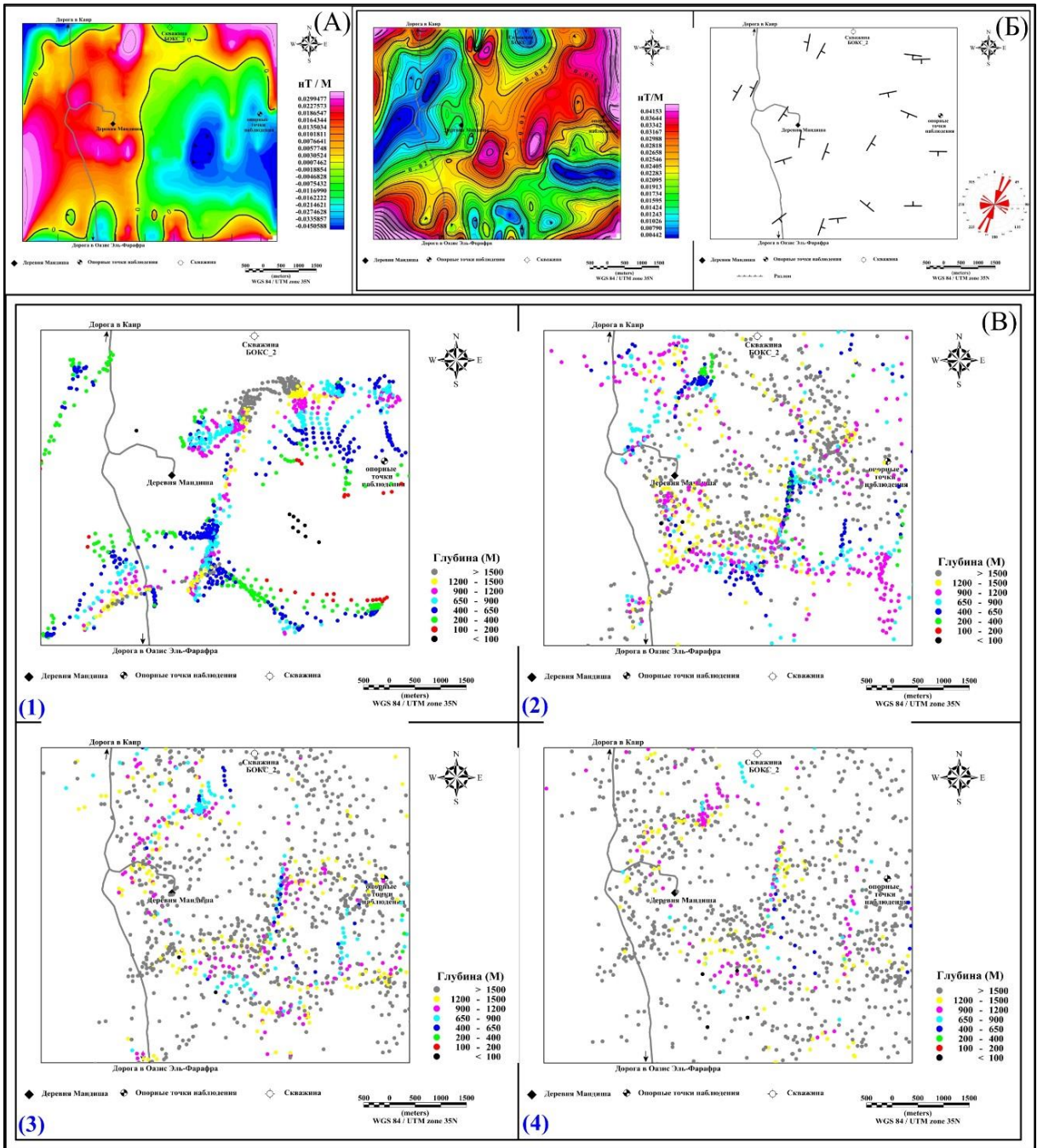


Рис. 2. (А) Карта первой вертикальной производной; (Б) Карта горизонтального градиента, полученная из карты аномального магнитного поля, приведённого к полюсу и Карта геологических разломов в районе исследования; (В) 3D решения Эйлера для структурного индекса равного нулю (1), для структурного индекса равного 1 (2), для структурного индекса равного 2 (3) и для структурного индекса равного 3 (4)

В настоящем исследовании структурный индекс СИ, который был применен для выбора наилучшего решения на карте аномального магнитного поля, приведённого к

полюсу, был равен 0, 1, 2 и 3. Значение индекса структуры СИ= 0 указывает на контакт или разлом, значение индекса структуры СИ=1 указывает на дайки, значение индекса структуры СИ=2 указывает на цилиндр или трубы и значение индекса структуры СИ=3 указывает на сферы [Geosoft Oasis Montaj, 2007].

Результаты применения 3D деконволюции Эйлера для структурного индекса равного нулю показаны на рис. 2В1, для структурного индекса равного 1 - на рис. 2В2, для структурного индекса равного 2 – на рис. 2В3 и для структурного индекса равного 3 – на рис. 2В4.

Структурный индекс СИ=0 дает наилучшие решения, чем другие структурные индексы 1, 2 и 3, потому что полученные с этим индексом данные закономерно сосредоточены в определенных местах в исследуемой области и не распределены хаотично в исследуемой области как данные, полученные со структурными индексами 1, 2 и 3. Структурный индекс СИ = 0 дает хорошее представление о местоположениях и глубинах геологических разломов в исследуемом районе (рис. 2В1).

**Четвёртым методом использовался для определения глубины залегания поверхности пород фундамента в исследуемом районе является 2D Магнитное моделирование.** Этот метод применяется для определения глубины поверхности пород фундамента в районе исследования с использованием программы GM-SYS на карте аномального магнитного поля, приведённого к полюсу [Geosoft Oasis Montaj, 2007].

Программа GM-SYS использовалась при 2D магнитном моделировании для оценки глубины поверхности пород фундамента с использованием следующих параметров: 1. Общее магнитное поле 42488.2° нТ, угол наклона 41.2177° и угол склонения 3.9282°, рассчитанные МГАП для опорной точки в центральной части исследуемого района. 2. Осадочный чехол, сложенный песчаником с прослоями глины, имеет среднюю плотность 2.5 г/см<sup>3</sup>, магнитную восприимчивость 0 СГС, остаточную намагниченность 0 етл/См<sup>3</sup>, остаточной намагниченности наклона = 0° и склонение остаточной намагниченности 0° (рис. 3А). 3. Параметры фундамента, который сложен гранитом: средняя плотности фундамента 2.8 г/см<sup>3</sup>, магнитная восприимчивость 0.00075 СГС, остаточная

намагниченность  $0.00398 \text{ етл/См}^3$ , наклонение остаточной намагниченности  $41.2177^\circ$  и склонение остаточной намагниченности  $3.9282^\circ$  (рис. 3А).

Семь магнитных профилей нанесено на карте аномального магнитного поля приведённого к полюсу. Краткое описание всех профилей выглядит следующим образом: Первый профиль (П<sub>1</sub> - П<sub>1</sub>') длиной 6130 м перпендикулярен к другим профилям и проложен в направлении с юга на север. Этот профиль проходит через скважину Бокс\_2, которая находится в точке с координатами  $28^\circ 19' 27.5''$  Северной широты и  $28^\circ 58' 00''$  Восточной долготы. Эта скважина вскрыла фундамент на глубине 1822 м [Diab M.S., 1972]. Глубина поверхности фундамента вдоль первого профиля колеблется от 1822 м до 1963 м (рис. 3А). А, шесть других профилей (П<sub>2</sub>, П<sub>3</sub>, П<sub>4</sub>, П<sub>5</sub>, П<sub>6</sub> и П<sub>7</sub>) ориентированы с запада на восток, длины профилей колеблются от 7161 м до 7187 м, а глубина поверхности фундамента колеблется от 1274 м до 2150 м (рис. 3Б).

Результаты 2D магнитного моделирования были использованы для построения карты глубины фундамента (рис. 3В). Глубина поверхности фундамента колеблется от 1150 м до 2150 м. Северо-Восточная, Северо-Западная, Северная и Западная части исследуемой территории характеризуются неглубоким фундаментом (глубина поверхности фундамента менее 1600 м), тогда как восточная часть исследуемой территории отличается большой глубиной залегания фундамента (глубина поверхности фундамента больше 2000 м). Таким образом толщина осадочных отложений увеличивается в направлении к восточной части исследуемой территории (рис. 3В).

**Пятым методом использовался для определения глубины залегания поверхности пород фундамента в исследуемом районе является 3D Магнитное моделирование.** Этот метод используется для оценки глубины поверхности пород фундамента в районе исследования. GMSYS-3D программа применена на сетке полного аномального магнитного поля, приведённого к полюсу, для выполнения 3D магнитного моделирования с целью получения рельефа поверхности фундамента и рельефа земной поверхности (относительно уровня моря).

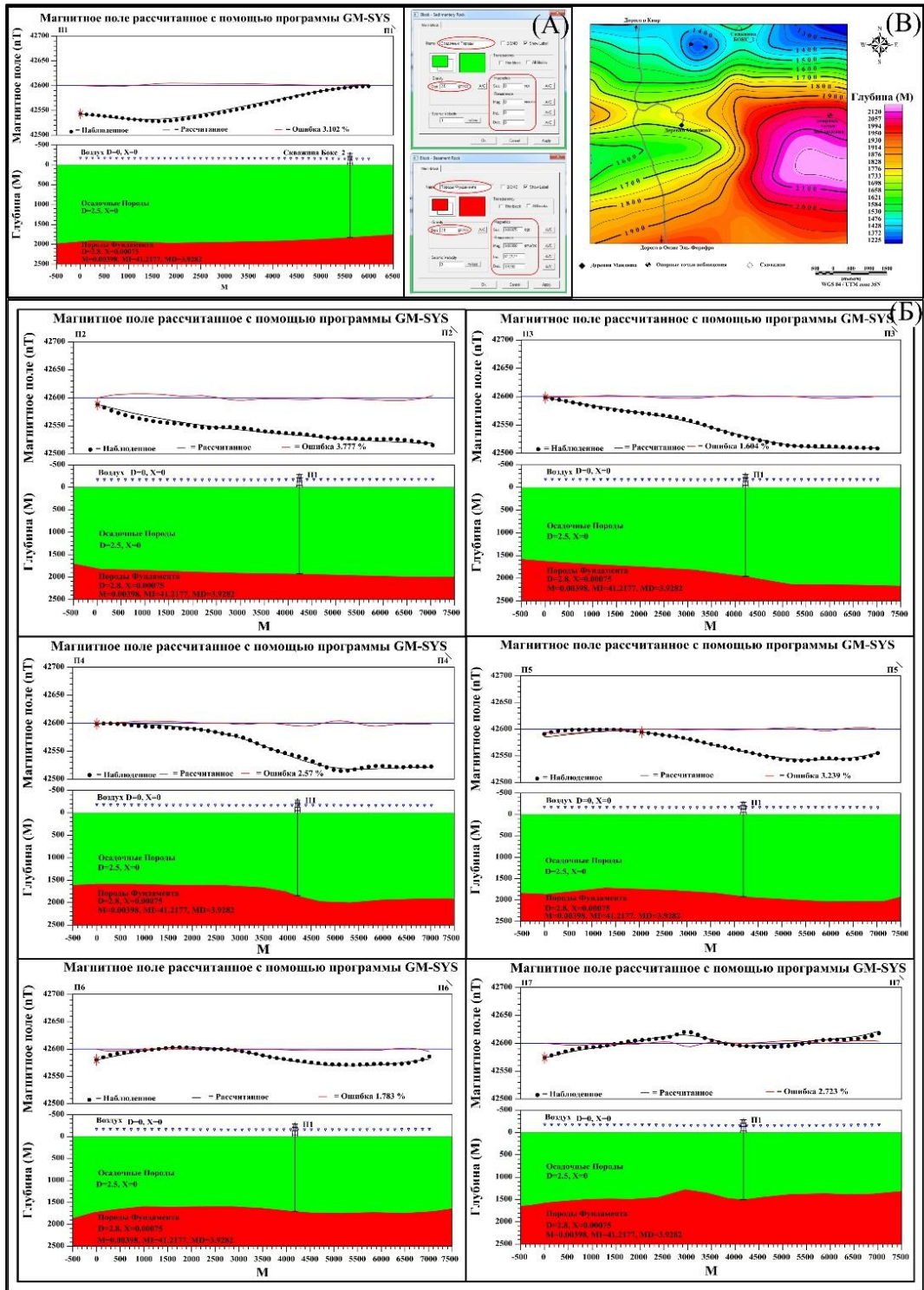


Рис. 3. (А) 2D магнитное моделирование по первому профилю П1 и используемые параметры в программе GM-SYS для осадочный чехла и фундамента; (Б) 2D магнитное моделирование по второму, третьему, четвёртому, пятому, шестому и седьмому профилю; (В) Карта глубины фундамента

Для расчетов использовались следующие величины параметров осадочного чехла: средняя плотность  $2.5 \text{ г/см}^3$ , магнитная восприимчивость  $0 \text{ СГС}$ , остаточная намагниченность  $0 \text{ ед/см}^3$ , угол наклоения остаточной намагниченности  $0^\circ$  и угол склонения остаточной намагниченности  $0^\circ$  (рис. 4А) и параметры фундамента: средняя плотность  $2.8 \text{ г/см}^3$ , магнитная восприимчивость  $0.00075 \text{ СГС}$ , остаточности намагниченности  $0.00398 \text{ ед/см}^3$ , угол наклоения остаточной намагниченности  $41.2177^\circ$  и угол склонения остаточной намагниченности  $3.9282^\circ$  (рис. 4В).

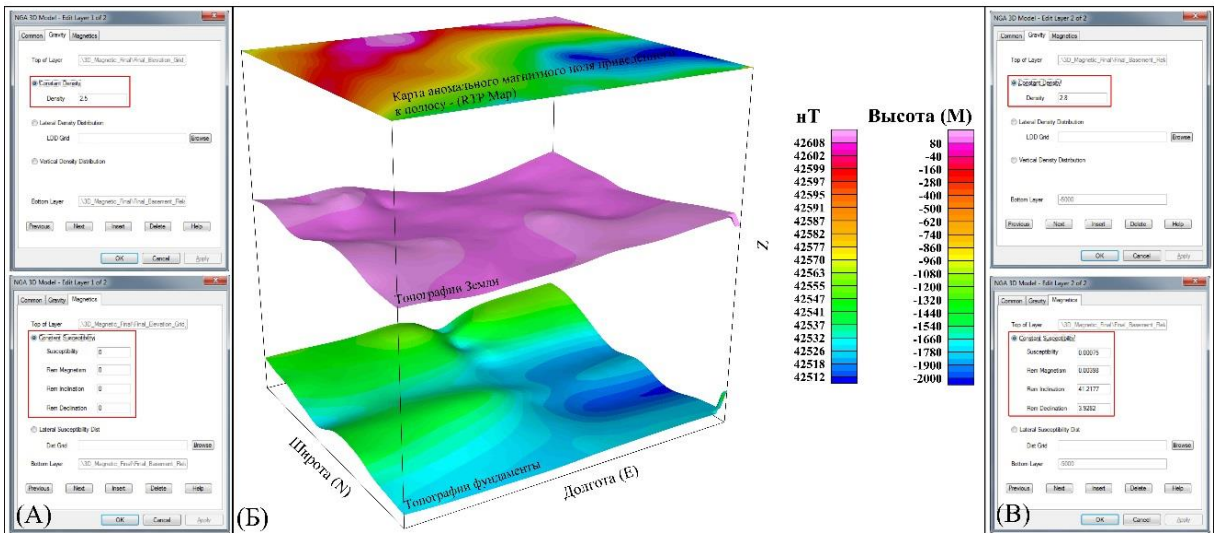


Рис. 4. (А) Используемые параметры в программе GMSYS-3D для осадочного чехла (Б) 3-D магнитное моделирование, включая топографию поверхности фундамента, топографию поверхности земли и карту аномального магнитного поля приведённого к полюсу (В) Используемые параметры в программе GMSYS-3D для поверхности фундамента

После применения 15 итераций для запуска программного обеспечения результаты трехмерного моделирования показали, что; толщина осадочного чехла в северо-восточной, северной, север-западной и западной частях исследуемого района значительно меньше по сравнению с толщиной осадочного чехла в восточной части исследуемой области (рис. 4Б).

В конце; Карта аномального магнитного поля приведённого к полюсу указывает на то, что: Восточная часть исследуемого района характеризуется низкой магнитной аномалией, которая указывает на большую глубину залегания пород фундамента.



Северная, северо-восточная и западная части исследуемого района характеризуются высокой магнитной аномалией, которая указывает на небольшую глубину пород фундамента (рис. 1В).

Карта аномального магнитного поля приведённого к полюсу использовалась для расчета карты глубины фундамента. Согласно этой карте наибольшая глубина поверхности фундамента наблюдается в восточной части района исследований (глубина поверхности фундамента больше 2000 м), тогда как наименьшая глубина поверхности фундамента отмечается в северо-восточной, северной, северо-западной и западной частях области исследования (глубина поверхности фундамента меньше 1600 м). Таким образом, наибольшую толщину осадочный чехол имеет в восточной части района исследований, а наименьшую толщину - в северо-восточной, северной, северо-западной и западной частях исследуемого района (рис. 3В).

Карта геологических разломов в районе исследования указывает направления разломов в исследуемом районе (рис. 2Б).

Карта результатов применения 3D деконволюции Эйлера для структурного индекса равного нулю показана на рисунке 2В1. Эта карта использовалась для создания карты 3D деконволюции Эйлера для структурного индекса  $СИ=0$  до глубины 300 м и, соответственно, для определения местоположения и глубины разломов до глубины 300 м (рис. 5). Эта карта указывает на то, что в восточной части исследованного района есть много разломов в интервале глубин от 100м до 300 м, т.е. в интервале глубин исследования (рис. 5).

Сравнение между этими картами: карта аномального магнитного поля приведённого к полюсу, карта глубины фундамента, карта геологических разломов в районе исследования и карта 3D деконволюции Эйлера для структурного индекса  $СИ=0$  до глубины 300м, полученными с использованием программ Arc Map “версия 10.5” and Arc Scene “версия 10.5”, показывает, что;

1) В восточной части исследуемого района глубина кровли фундамента наибольшая, и следовательно, наибольшая толщина осадочного чехла (рис. 5).

2) В восточной части исследуемый район окружен разломами, начинающимися от 100 м глубины до 300 м (рис. 5).

3) Висячее крыло этих разломов направлено в сторону уменьшения магнитных аномалий к восточной части исследуемого района (рис. 5).

Следовательно, в восточной части исследуемой территории увеличивается возможность накопления подземных вод.

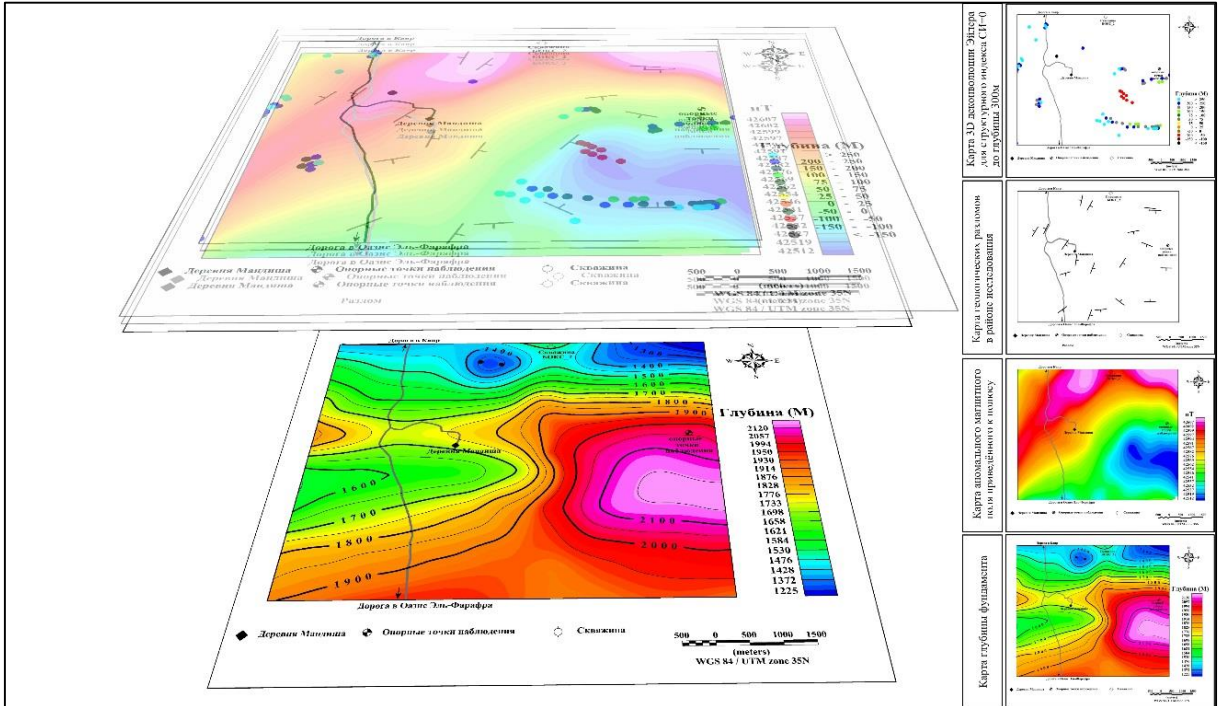


Рис. 5. Сравнение между картами (карта аномального магнитного поля приведённого к полюсу, карта глубины фундамента, карта геологических разломов в районе исследования и карта 3D деконволюции Эйлера для структурного индекса равного нулю до глубины 300м)

Как уже упоминали выше, основные водоносные горизонты в исследуемом районе расположены в нубийском песчанике, который залегает непосредственно на поверхности фундамента. Нубийский водоносный горизонт состоит из песчаника с прослоями глины и подразделяется на пять зон (А, Б, В, Г и Д). Зоны А, Б и В, - залегают на глубине менее 300 метров. Глубокие водоносные горизонты зоны Г и Д залегают на глубине более 300 метров [Diab, 1972; El\_Bastawesy et al., 2010; Himida, 1964; Khalifa, 2006; Salem, 2002].

Чтобы поддерживать население исследуемого района грунтовыми водами, которые необходимы для питьевых и ирригационных целей, был применен комплекс геофизических методов, включающий ГИС, ВЭЗ и ЗСБ, для определения характеристик неглубоких подземных водоносных горизонтов в исследуемом районе до глубины 250 м.

**2. Второе защищаемое положение: Свойства водоносных горизонтов (глубины, толщины и удельного сопротивления подземных водоносных горизонтов до 250м) в зонах А, Б и В в исследуемом районе были определены с использованием результатов интерпретации комплексных геофизических методов (ГИС, ВЭЗ и ЗСБ).**

Три геофизических метода применены для определения свойства водоносных горизонтов в зонах (А, Б и В) в исследуемом районе до глубины 250м. Этими геофизическими методами являются каротаж скважин (ГИС), вертикальные электрические зондирования (метод ВЭЗ) и зондирования становлением поля в ближней зоне (метод ЗСБ).

Данные каротажа использовались для определения зон подземных водоносных горизонтов до глубины 250м (зоны А, Б и В) и построения геоэлектрической модели, используемой для интерпретации данных ВЭЗ и ЗСБ в исследуемом районе. Ближайшая к району исследования скважина (Табела\_12) расположена в северо-западной части исследуемого района (рис. 6А). На данном этапе исследований максимальная глубина используемого ствола скважины составляет 250 м (рис. 6Б).

Комплекс методов каротажа в скважине (Табела\_12) включает: 1. Метод КС потенциал-зондами фирмы «Шлюмберже» А64М и А16М; 2. Метод естественной радиоактивности ГК в единицах API. Кажущееся сопротивление 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. 6Б).

По результатам интерпретации комплекса ГИС в скважине Табела\_12 была построена геоэлектрическая модель до глубины 250м, использованная для интерпретации данных ВЭЗ и данных ЗСБ. Модель состоит из 7 слоев (Таблица 1). Уровень воды в

скважине Табела\_12 составляет 9.9 м. Поэтому интервале от 0 до 9.9 метров скважина документирована по керну (рис. 6Б). Основными водоносными горизонтами, до глубины 250м в скважине Табела\_12, являются зоны А, Б и В. Зона А залегает в интервале глубин от 10 до 30 м, зона Б залегает в интервале глубин от 110 до 160 м и зона В залегает в интервалах глубин от 200 до 225 м (Таблица 1).

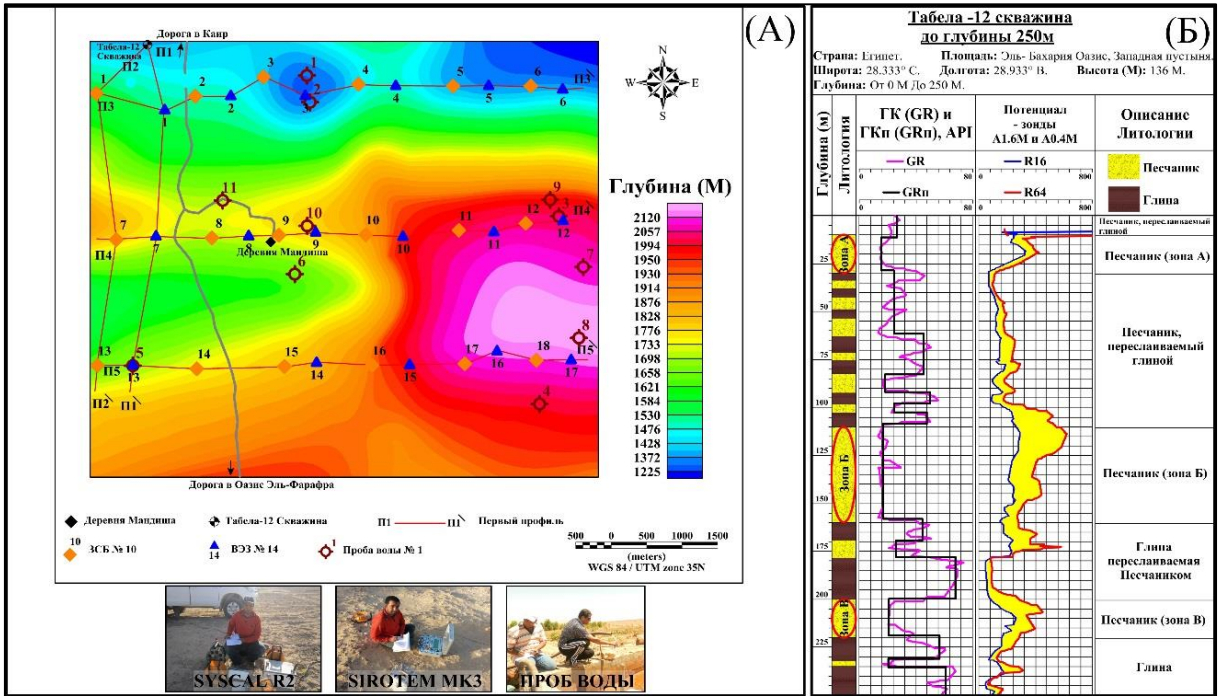


Рис. 6. (А) Карта местоположения отбора проб воды, точек и профили методов ВЭЗ и ЗСБ нанесено на карту глубины фундамента; (Б) Скважина Табела\_12 до глубины 250м

Таблица 1. Геоэлектрическая модель для интерпретации данных ВЭЗ и данных ЗСБ

| № Слоя         | Литология                       | Глубина (М) | Толщина (М) | Удельное Сопротивление (Ом.М) |
|----------------|---------------------------------|-------------|-------------|-------------------------------|
| Первый Слой    | Песчаник, переслаиваемый глиной | 0 – 10м     | 10м         | -----                         |
| Второй слой    | Песчаник (зона А).              | 10 – 30м    | 20 м        | 400 ОмМ                       |
| Третий слой    | Песчаник, переслаиваемый глиной | 30 - 110 м  | 80 м        | 180 ОмМ                       |
| Четвертый слой | Песчаник (зона Б).              | 110 - 160 м | 50 м        | 500 ОмМ                       |
| Пятый слой     | Глина переслаиваемая Песчаником | 160 - 200 м | 40 м        | 80 ОмМ                        |
| Шестой слой    | Песчаник (зона В).              | 200 - 225 м | 25 м        | 500 ОмМ                       |
| Седьмой слой   | Глина                           | 225 м -     |             | 70 ОмМ                        |

Метод электрического сопротивления является одним из наиболее перспективных геофизических инструментов, который используется для исследования подземных вод [Jakosky J.J., 1961; Keller G.V., 1967; Blokh I.M., 1971; Khmelevskoy V.K., 1984; Kufud, 1984; Zhdanov M.S., 1986; Milsom, 2003; Khalifa R.M., 2006; Kolesnikov V.C., 2007]. Метод ВЭЗ и метод ЗСБ применили для обнаружения неглубоких зон подземных водоносных горизонтов (зоны А, Б и В) до глубины 250м в исследуемом районе.

Вертикальные электрические зондирования (ВЭЗ) были проведены в исследуемом районе с использованием французского геофизического оборудования SYSCAL R2. Семнадцать ВЭЗ были проведены в пределах исследуемого участка с использованием установки Шлюмберже с разносами АВ/2 в пределах от 1 до 1000м. ВЭЗ №.1 проведенный рядом с скважиной Табела 12 (рис. 6А), применен для корреляции между данными ВЭЗ и геологической информацией по каротажным данным в скважине Табела 12.

Интерпретация данных ВЭЗ проведена с использованием программы IPI2WIN для вычисления удельного электрического сопротивления и толщины всех слоев (рис. 8А). Корреляция между данными ВЭЗ № 1 и данными скважины Табела\_12, показанная на рис. 7А, дается хорошее соответствие между ВЭЗ № 1 и скважиной Табела\_12 .

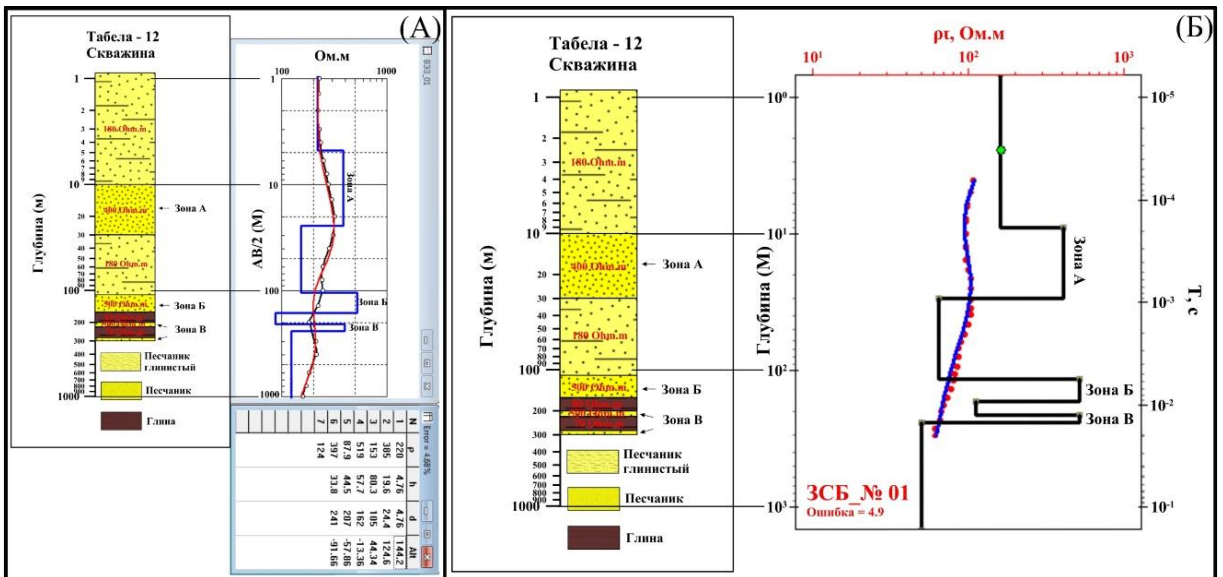


Рис. 7. (А) Корреляция между ВЭЗ № 1 и данными скважины Табела\_12; (Б) Корреляция между ЗСБ № 1 и данными скважины Табела\_12

Результаты интерпретации данных измерений всех ВЭЗ показали, что оптимальное количество слоев в геологическом разрезе в исследуемом районе семь (рис. 8А). Величины удельных сопротивлений этих слоев изменяются в пределах от 2 до 587 Ом.м, а толщины от 3.3 м до 89.7 м. На кривых ВЭЗ № 4 и ВЭЗ № 5 появляется низкоомный тонкий слой, который состоит из глины с соленой водой, представляющий экран для электрического тока (рис. 8А).

Метод ЗСБ успешно применяется для поисков неглубоких подземных водоносных горизонтов особенно при наличии экранов электрического поля, делающих невозможным интерпретацию кривых ВЭЗ, как (ВЭЗ № 4 и ВЭЗ № 5).

Зондирования становлением поля в ближней зоне (метод ЗСБ) были проведены в исследуемом районе с использованием Австралийского геофизического оборудования SIROTEM МКЗ. Было выполнено восемнадцать точек ЗСБ с совмещенной петлей 50 на 50 метров. Та же петля использовалась в качестве передатчика и приемника с установкой системы SIROTEM МКЗ. Данные измерений ЗСБ в точке №.1, расположенной рядом со скважиной Табела 12 (рис. 6А), использовались для корреляции между данными метода ЗСБ и геологической информацией по каротажным данным в скважине Табела 12.

Три программы (TEM2IX1D, Interpex 1D and ZONDTEM1D) были использованы для обработки и интерпретации собранных данных ЗСБ. Для получения более точных результатов данные ВЭЗ интерпретировались индивидуально и использовались в качестве первичной модели для интерпретации данных ЗСБ. Корреляция между данными ЗСБ № 1 и данными скважины Табела\_12, показанная на рис. 7Б, дает хорошее соответствие между ЗСБ № 1 и скважиной Табела\_12 (рис. 7Б).

Метод ВЭЗ был успешно применен для определения неглубоких подземных водоносных горизонтов в исследуемом районе, но в двух ВЭЗах (ВЭЗ № 4 и ВЭЗ №5) результаты были отрицательные из-за слоя глины, которая лежит на поверхности, насыщена солоноватой водой и представляет собой экран для электрического тока (рис. 8А). Метод ЗСБ в этих точках ВЭЗ дает хорошие результаты.

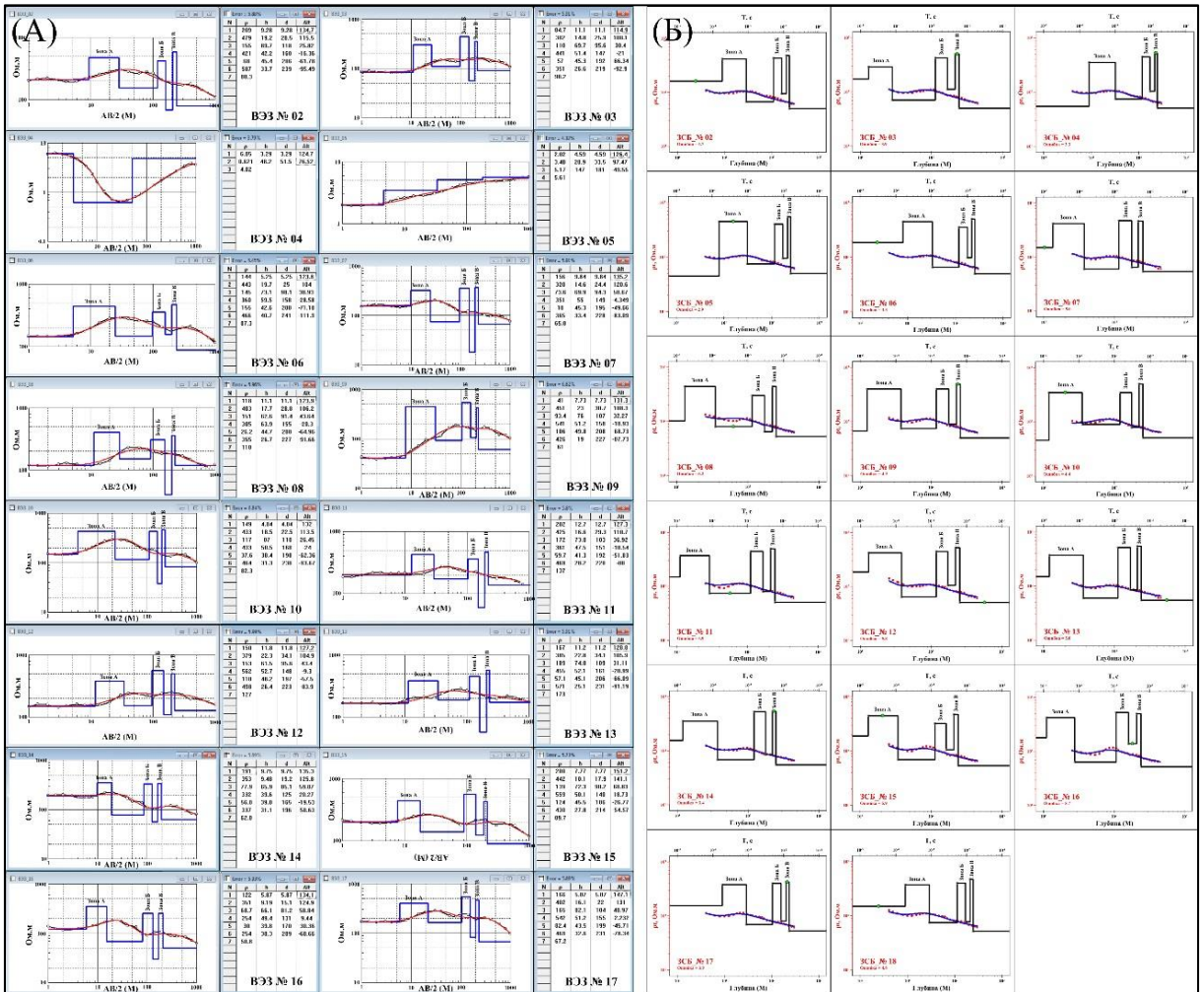


Рис. 8. (А) Интерпретация вертикальных электрических зондирований (ВЭЗ №2 - ВЭЗ №17) по программе IPI 2WIN; (Б) Интерпретация данных метода ЗСБ (ЗСБ №2 - ЗСБ №18) по программе ZondTEM1D

ВЭЗ № 4 и ВЭЗ № 5 находятся рядом с ЗСБ № 4 и ЗСБ № 5 (рис. 6А). Результаты интерпретации данных измерений ЗСБ № 4 и ЗСБ № 5 показали, что оптимальное количество слоев в геологическом разрезе в этих точках (ЗСБ № 4 и ЗСБ № 5) семь и величины удельных сопротивлений этого поверхностного слоя (глина с соленой водой) изменяются в пределах от 45 до 55 Ом.м, а толщины от 8 м до 9 м (рис. 8Б).

Результаты интерпретации данных измерений всех точек ЗСБ показали, что оптимальное количество слоев в геологическом разрезе в исследуемом районе семь (рис. 8Б). Величины удельных сопротивлений этих слоев изменяются в пределах от 45 до 550 Ом.м, а толщины от 8 м до 85 м.

Окончательные результаты интерпретации данных ВЭЗ и данных ЗСБ были использованы для построения пяти профилей  $\Pi_1 - \Pi_5$  для определения неглубоких подземных водоносных горизонтов до 250 м в районе исследований. Эти профили нанесены на карту глубины фундамента (рис. 6А) и были построены с учетом альтитуды каждой точки ВЭЗ и ЗСБ, изменяющейся в пределах от 121 м до 159 м.

Геоэлектрический разрез вдоль пяти профилей  $\Pi_1 - \Pi_5$  (рис. 9А) состоит из семи слоев. Первый слой сложен песчаником с прослоями глин. Толщина первого слоя изменяется от 4 м до 14 м, а удельное сопротивление - от 41 Ом.м до 220 Ом.м. Второй слой сложен песчаником (Зона А). Толщина второго слоя изменяется от 9 м до 25 м, а удельное сопротивление - от 290 Ом.м до 479 Ом.м. Третий слой сложен песчаником с прослоями глин. Толщина третьего слоя изменяется от 62 м до 90 м, а удельное сопротивление - от 60 Ом.м до 189 Ом.м. Четвертый слой сложен песчаником (Зона Б). Толщина четвертого слоя изменяется от 40 м до 64 м, а удельное сопротивление - от 254 Ом.м до 562 Ом.м. Пятый слой представлен глиной. Толщина пятого слоя изменяется от 38 м до 50 м, а удельное сопротивление - от 18 Ом.м до 155 Ом.м. Шестой слой сложен песчаником (Зона В). Толщина шестого слоя изменяется от 19 м до 41 м, а удельное сопротивление - от 254 Ом.м до 587 Ом.м. Седьмой слой сложен глиной с удельным сопротивлением 50 Ом.м - 173 Ом.м (рис. 9А).

Выводы: Комплекс геофизических методов (ГИС, ВЭЗ и ЗСБ) использовался для определения свойств: (глубина залегания, толщина и удельное сопротивление) неглубоких подземных водоносных горизонтов до 250 м в районе исследований. Этот комплекс геофизические методы выделил 7 слоев вдоль всех профилей. Седьмой (подстилающий) слой характеризуется только глубиной залегания и удельным сопротивлением.

Глубина залегания поверхности фундамента вдоль всех профилей определялись по данным магниторазведки. Глубина залегания поверхности фундамента вдоль первого профиля изменялась в диапазоне от 1396 м до 1756 м. Глубина залегания поверхности фундамента вдоль второго профиля - в диапазоне от 1400 м до 1821 м. Глубина залегания поверхности фундамента вдоль третьего профиля - в диапазоне от 1323 м до 1560 м.



Глубина залегания поверхности фундамента вдоль четвёртого профиля - в диапазоне от 1703 м до 2053 м. Глубина залегания поверхности фундамента вдоль пятого профиля - в диапазоне 1653 м до 2129 м (рис. 9А).

**3. Третье защищаемое положение: Лучшие места для бурения водозаборных скважин в зонах А, Б и В в исследуемой территории были определены с использованием результатов интерпретации комплекса геофизических методов (ГИС, ВЭЗ и ЗСБ).**

Результаты интерпретации данных ВЭЗ и данных ЗСБ были использованы для построения карт глубины, толщины и удельного сопротивления водонасыщенных зон А, Б и В (рис. 9Б).

Глубина первого водоносного горизонта (Зона А) изменяется от 6 м до 15 м, его толщина - от 14 м до 26 м, а удельное сопротивление - от 340 Ом.м до 450 Ом.м. Высокие значения удельного сопротивления в зоне А полученные по данным ВЭЗ № 6, и 14 и по данным ЗСБ № 1, 5, 6, 7 и 15 указывают на пресную / слабосоленую воду. Большие толщины в зоне А получены по данным ВЭЗ № 6, 9 и 13 и по данным ЗСБ № 4, 5, 7, 13 и 14. Небольшие глубины кровли первого водоносного горизонта (Зона А) получены по данным ВЭЗ № 1, 6, 10, 16 и 17 и по данным ЗСБ № 1, 2, 5, 6, 17 и 18 (рис. 9Б).

Выбор места заложения водозаборных скважин определен по данным ВЭЗ и ЗСБ: основные критерии выбора- это высокие значения удельного сопротивления водонасыщенных горизонтов в зонах (А, Б и В), их толщины и небольшие глубины залегания кровли водоносного горизонта.

Кроме того, сравнения результатов интерпретации данных ВЭЗ в зоне А с результатами общей минерализации T.D.S.показывает, что самые низкие значения T.D.S. и короткий диапазон изменения удельного сопротивления в пределах от 340 до 450 омм наблюдаются в юго-восточной и юго-западной частях исследуемой области. Исходя из этих критериев лучшее место для бурения водозаборной скважины в зоне А на исследуемом участке находится в юго-восточной и юго-западной частях исследуемой области рядом с ВЭЗ № 13 и 17 и ЗСБ № 13, 17 и 18 (рис. 9Б).

Глубина второго водоносного горизонта (Зона Б) изменяется в пределах от 97 м до 120 м, его толщина - от 48 м до 61 м, а удельное сопротивление - от 330 Ом.м до 520 Ом.м. Высокие значения удельного сопротивления в зоне Б, полученные по данным ВЭЗ № 1, 13 и 15 и по данным ЗСБ № 1, 2, 7, 13 и 17 также характерны для пресной / слабоминерализованной воды. Большие толщины водоносного горизонта в зоне Б получены по данным ВЭЗ № 6 и 8 и по данным ЗСБ № 6, 7 и 9. Небольшие глубины кровли второго водоносного горизонта (Зона Б) получены по данным ВЭЗ № 8, 12, 14, 15, 16 и 17 и по данным ЗСБ № 8, 12, 16, 17 и 18. Исходя из вышеопределенных критериев лучшее место для бурения водозаборной скважины в зоне Б на исследуемом участке, по данным ВЭЗ находится недалеко от ВЭЗ № 1, 13 и 15, а по данным ЗСБ - недалеко от ЗСБ № 1, 13 и 17 (рис. 9Б).

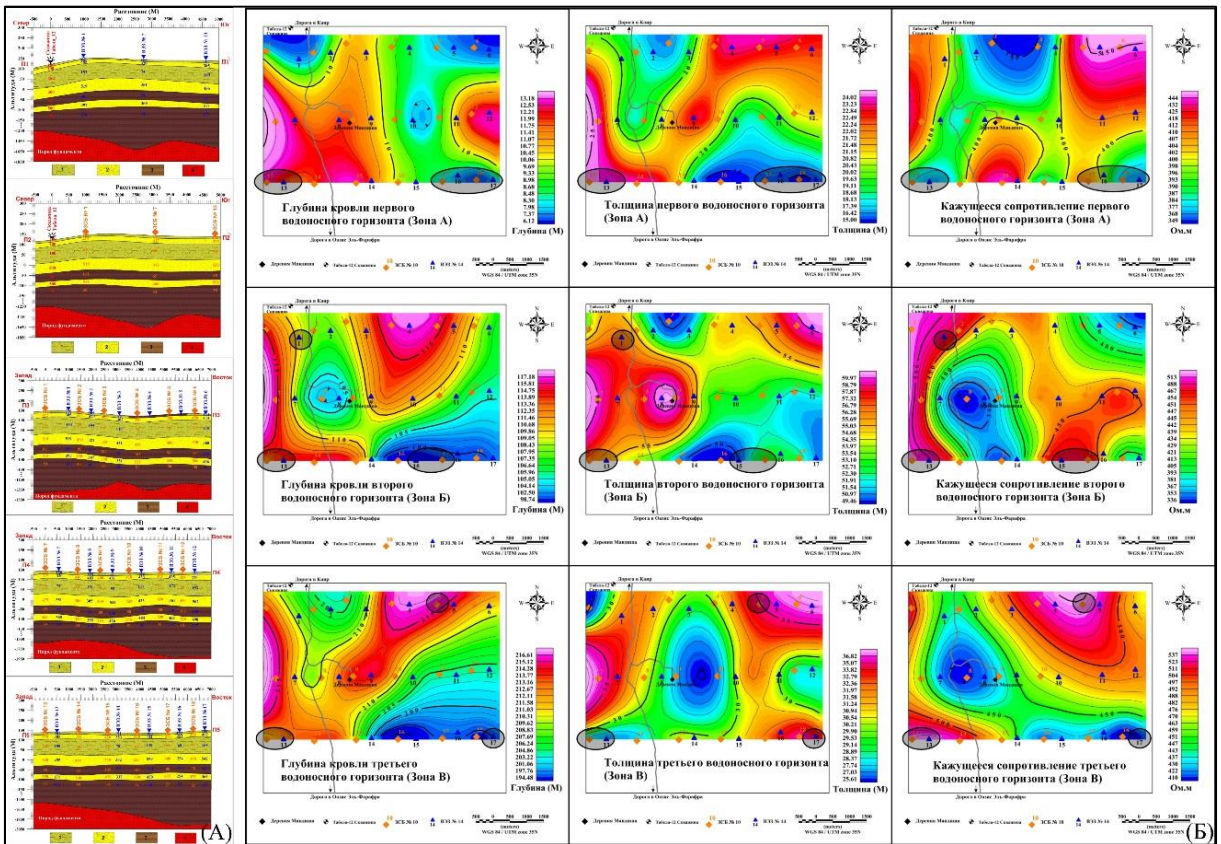


Рис. 9. (А) Геоэлектрические разрезы вдоль первого, второго, третьего, четвёртого и пятого профиля; 1- глинистый песчаник; 2- песчаник; 3- глина; 4- пород фундамента; (Б) Карты глубины залегания, толщины и кажущего удельного сопротивления первого водоносного горизонта (Зона А), второго водоносного горизонта (Зона Б) и третьего водоносного горизонта (Зона В)

Глубина третьего водоносного горизонта (зона В) изменяются в пределах от 190 м до 218 м, его толщина - от 23 м до 39 м, а удельное сопротивление - от 400 омм до 550 омм. Высокие значения удельного сопротивления в зоне В, полученные по данным ВЭЗ № 13 и по данным ЗСБ № 1, 4, 5 и 13 также указывают на пресную / слабосоленую воду. Большие толщины водоносного горизонта в зоне В получены по данным ВЭЗ № 6, 7 и 17 и по данным ЗСБ № 5, 6, 7 и 18. Небольшие глубины кровли третьего водоносного горизонта (Зона В) получены по данным ВЭЗ № 2, 11, 12, 14, 15, 16 и 17 и по данным ЗСБ № 3, 11, 12, 16, 17 и 18. Исходя из вышеопределенных критериев лучшее место для бурения водозаборной скважины в зоне В на исследуемом участке, по данным ВЭЗ, находится недалеко от ВЭЗ № 13 и 17, а по данным ЗСБ – недалеко от ЗСБ № 5 и 13 (рис. 9Б).

4. Четвертое защищаемое положение: **Качество подземных вод для питьевых и бытовых целей в зоне А в исследуемом районе были определены с использованием результатов гидрохимических анализов подземных вод.**

Одиннадцать проб воды были отобраны из небольших скважин (их глубина не более 50 м), в зоне А в исследуемом районе, для изучения качества грунтовых вод для питьевых и бытовых целей. Местоположение каждой пробы воды регистрировалось с помощью устройства GPS (Garmin eTrex 10) (рис. 6А). 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 [APHA, 2005].

Собранные пробы подземных вод были проанализированы в лабораториях научно-исследовательского института почвы, воды и окружающей среды в Каире (SWERI, Cairo) на концентрацию водородных ионов (pH), общую минерализацию (T.D.S), электропроводность ( $\sigma$ ), общую жёсткость воды (С), Сульфат ( $\text{SO}_4$ )<sup>-2</sup>, Хлорид ( $\text{Cl}$ )<sup>-1</sup>, Бикарбонат ( $\text{HCO}_3$ )<sup>-1</sup>, Магний ( $\text{Mg}$ )<sup>+2</sup>, Кальций ( $\text{Ca}$ )<sup>+2</sup>, Калий ( $\text{K}$ )<sup>+1</sup> и Натрий ( $\text{Na}$ )<sup>+1</sup>.

Концентрации анионов и катионов во всех пробах водах показаны на рис. 10. Самые высокие концентрации разных анионов и катионов находятся в пробе воды № 7, а самые низкие значение концентраций разных анионов и катионов находится в пробе воды № 4 (рис. 10).

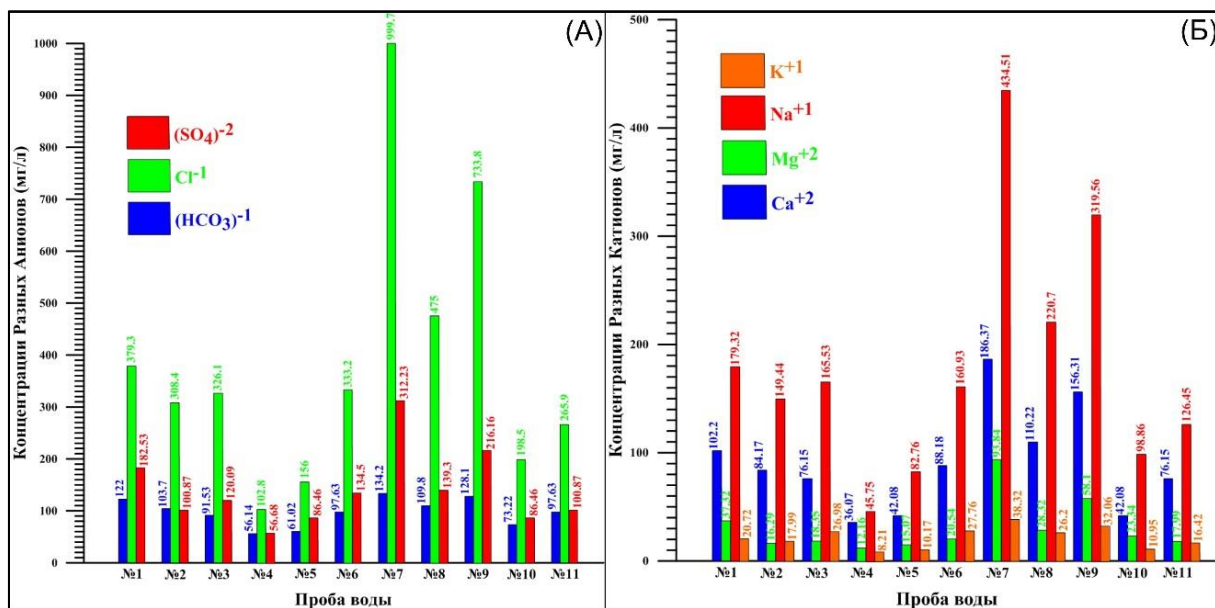


Рис. 10. Концентрации разных ионов (А) Концентрации Разных Анионов ( $(\text{HCO}_3)^{-1}$ ,  $\text{Cl}^{-1}$  и  $(\text{SO}_4)^{-2}$ . (Б) Концентрации Разных Катионов  $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Mg}^{+2}$ ,  $\text{Na}^{+1}$  и  $\text{K}^{+1}$

Концентрация водородных ионов (рН), общая минерализация (Т.Д.С), электропроводность ( $\sigma$ ) и общая жёсткость воды (С) также определялись во всех пробах водах, отобранных в районе исследования. Результаты этих анализов представлены на рис. 11.

Концентрация Водородных Ионов (рН) является показателем кислотности или основности раствора. Значения рН анализируемых проб воды, что свидетельствует о том, что подземная вода исследуемого района является щелочной водой с рН более 7 (рис. 11А).

Общая Минерализация (Т.Д.С) определяет характер качества подземных вод и степень их загрязнения [AWWA, 1971; Davis, 1966; Robinove, 1958]. Самые высокие значения минерализации (Т.Д.С) расположены в северо-восточной и восточной частях исследуемого района, а самые низкие значения минерализации (Т.Д.С) находятся в юго-восточной и юго-западной частях исследуемой области (рис. 11Б).

Самые низкие значения электропроводности ( $\sigma$ ) находятся в юго-восточной и юго-западной частях исследуемой территории, а самые высокие значения электропроводности ( $\sigma$ ) находятся в восточной и северо-восточной частях исследуемой территории (рис. 11В).

Общая жёсткость воды (С) зависит от наличия щелочноземельных элементов, кальция и магния [Wurts, 1993]. Самые низкие значения общей жёсткости воды (С) находятся в юго-восточной и юго-западной частях исследуемого района (пробы воды № 4 и 5), а самые высокие значения общей жёсткости воды (С) - в восточной и северо-восточной частях исследуемого района (пробы воды № 7 и 9) (рис. 11Г).

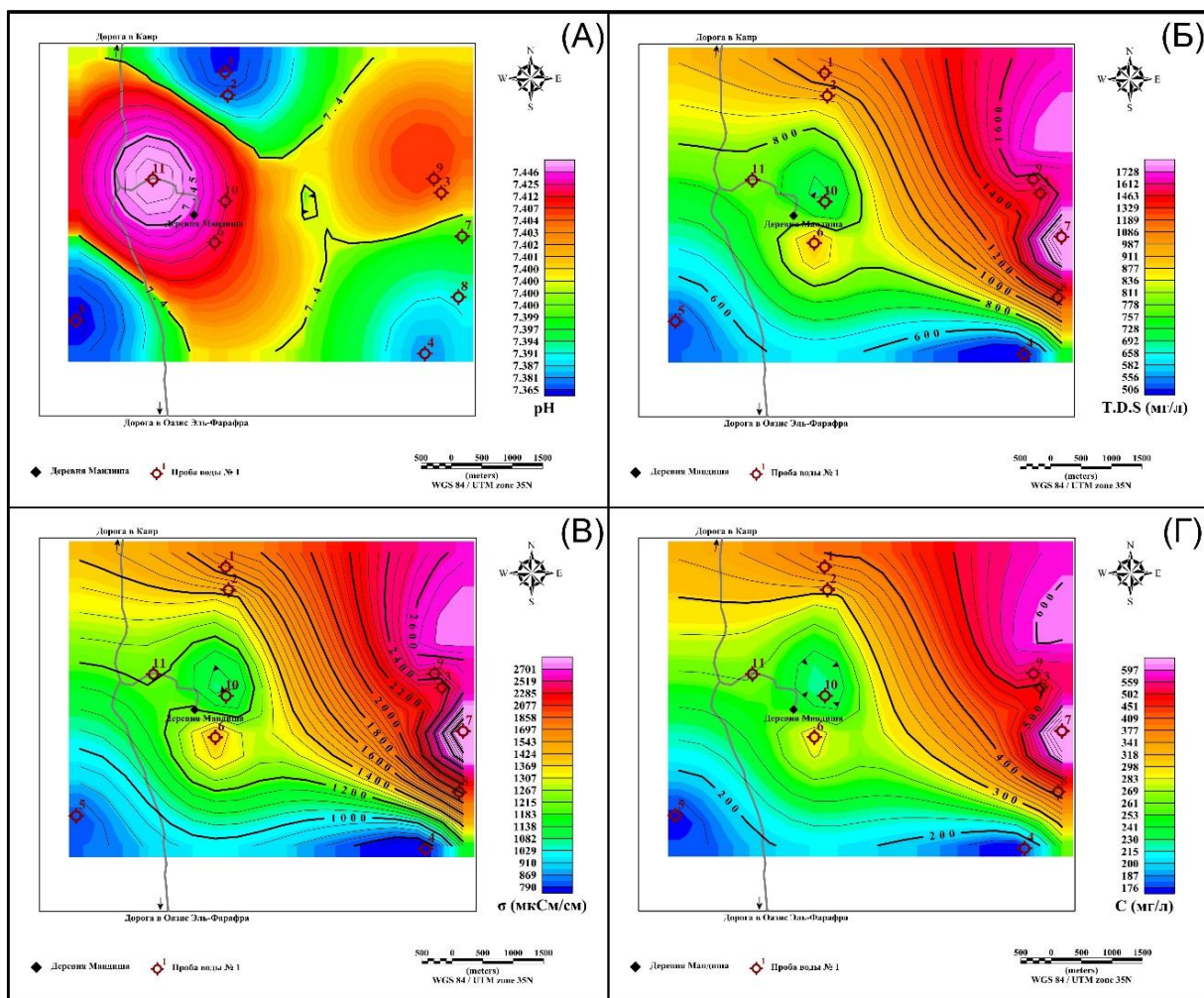


Рис. 11. Пространственные карты распределения; (А) Концентрация Водородных Ионов (рН). (Б) Общая Минерализация (T.D.S). (В) Электропроводность ( $\sigma$ ). (Г) Общая Жёсткость Воды (С)

Результаты химических параметров проб грунтовых вод (T.D.S,  $\sigma$  и C) сравнивались со стандартами качества воды в Египте (Таблица 2), задокументированными Всемирной Организацией Здравоохранения [World Health Organization, 2011] для определения пригодности грунтовых вод для питьевых и бытовых целей.

По результатам определения общей минерализации (T.D.S), электропроводности ( $\sigma$ ) и общей жёсткости проб воды (C) можно сделать следующие выводы:

(А) Пробы воды № 4 и 5, значения общей минерализации (T.D.S) которых менее 600 мг/л, - это хорошая вода для питья.

(Б) Проба вода № 4, электропроводность ( $\sigma$ ) которой находится между 250 -750 мкСм/см, является хорошей водой.

(В) Проба вода № 4, значение общей жёсткости воды (C) которой находится между 75 -150 мг/л, средней умеренной жесткой водой.

(Г) Обобщение результатами определения общей минерализации (T.D.S), электропроводности ( $\sigma$ ) и общей жёсткости проб отобранной воды (C) свидетельствует о том, что проба воды № 4, которая отобрана в юго-восточной части района исследования, является хорошей водой для питьевых и бытовых целей.

Таблица 2. Стандарты классификации качества воды в Египте

| ПАРАМЕТР   | КЛАССИФИКАЦИЯ             |              | ЛИТЕРАТУРЫ                        |
|--|---------------------------|--------------|-----------------------------------|
| <b>Общая Минерализация (T.D.S), мг/л</b>                 | Пресная вода              | 0 – 1000     | (Fetter C.W., 2014)               |
|  | Солоноватая вода          | 1000 - 10000 |                                   |
|  | Солёная вода              | 10000-100000 |                                   |
|  | Вода повышенной солёности | >100000      |                                   |
| <b>Электропроводность (<math>\sigma</math>), мкСм/см</b> | Превосходная вода         | < 250        | (Wilcos L.V., 1955; Sen Z., 2015) |
|  | Хорошая вода              | 250 - 750    |                                   |
|  | Удовлетворительная вода   | 750 - 2000   |                                   |
|  | Сомнительная вода         | 2000 - 3000  |                                   |
|  | Непригодная вода          | > 3000       |                                   |
| <b>Общая Жёсткость Воды (C), мг/л</b>                    | Мягкая вода               | 0 - 75       | (Sen Z., 2015)                    |
|  | Средняя жёсткость Вода    | 75 - 150     |                                   |
|  | Жёсткая вода              | 150 - 300    |                                   |
|  | Очень жёсткая вода        | > 300        |                                   |

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные результаты диссертации формулируются следующими выводами:

1) Основной водоносный горизонт в исследуемом районе расположен в нубийском песчанике (Сеноман), который залегает непосредственно на поверхности фундамента. Нубийский песчаник состоит из песчаника с прослоями глины. Водоносный горизонт нубийского песчаника в оазисе Эль-Бахария подразделяется на пять зон (А, Б, В, Г и Д). Зоны А, Б и В залегают на глубине менее 300 метров, а Зоны Г и Д - на глубине более 300 метров в исследуемом районе. В диссертации изучены свойства водоносных горизонтов в зонах А, Б и В.

2) Глубина поверхности фундамента в исследуемой территории колеблется от 1150 м до 2150 м, по данным магниторазведки. В Северо-восточном, Северо-западном, Северном и Западном районах исследуемой территории глубина залегания поверхности пород фундамента значительно меньше, чем в восточной части исследуемой территории. Соответственно толщина осадочного чехла наибольшая в восточной части района исследования. Следовательно, в восточной части исследуемой территории увеличивается возможность накопления подземных вод.

3) Основными направлениями разломов в исследуемом районе являются Запад-Восток, СВ-ЮЗ и СЗ-ЮВ направления по результатам интерпретации данных магниторазведки.

4) Основными зонами водоносных горизонтов в исследуемом районе до глубины 250м являются зоны А, Б и В, свойства которых определены по данным ГИС, ВЭЗ и ЗСБ. Глубина зоны А колеблется от 6 м до 15 м, глубина зоны Б – от 97 м до 120 м, глубина зоны В – от 190 м до 218 м.

5) Лучшее место для бурения водозаборной скважины в зоне А на исследуемом участке, по результатам общей минерализации (Т.Д.С) и данным ВЭЗ и ЗСБ находится недалеко от ВЭЗ № 13 и 17 и ЗСБ № 13, 17 и 18.

6) Лучшее место для бурения водозаборной скважины в зоне Б на исследуемом участке, по данным ВЭЗ и ЗСБ, находится недалеко от ВЭЗ № 1, 13 и 15 и ЗСБ № 1, 13 и 17, а лучшее место для бурения водозаборной скважины в зоне В на

исследуемом участке, по данным ВЭЗ и ЗСБ, находится недалеко от ВЭЗ № 13 и 17 и ЗСБ № 5 и 13.

7) 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.

8) Подземная вода исследуемого района является щелочной водой в соответствии с концентрацией водородных ионов (рН).

9) Обобщение результатов общей минерализации (Т.Д.С), электропроводности ( $\sigma$ ) и общей жёсткости воды (С) свидетельствует о том, что проба воды № 4, которая отобрана в юго-восточной части района исследования, является хорошей водой для питьевых и бытовых целей.

## **СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ**

### **В рецензируемых изданиях, рекомендуемых ВАК Минобрнауки РФ**

Научные статьи, опубликованные в журналах из списка рекомендованных ВАК для защиты в диссертационном совете МГРИ по специальности 25.00.10:

1) **Wael Ragab Gaweish**, Hossam Hassan Marzouk, Aleksey Vladimirovich Petrov, Igor Alekseevich Maraev Magnetic data interpretation to determine the depth of basement rocks and structural elements of Mandisha village, El-Bahariya Oasis, Western Desert, Egypt // Известия Уральского государственного горного университета, 2019, Вып. № 2 (54), Стр. 7 - 19.

2) **Гавеиш Ваел Рагаб**, Мараев Игорь Алексеевич, Эль-Дееб Мохаммед Абдель-Сабур, Эль-Барбари Самах Мохаммед Гидрохимические анализы для оценки водоносного горизонта подземных вод в оазисе Эль-Бахария, Западная пустыня, Египет // Разведка и охрана недр, 2019, Том № 10, Стр. 31 - 35.

3) **Ваэль Рагаб Гавеиш**, Игорь Алексеевич Мараев, Султан Авад Султан, Петр Вячеславович Новиков, Андрей Александрович Иванов, Виктор Валерьевич



Романов, Кирилл Сергеевич Мальский Поиски подземных вод в оазисе Эль-Бахария в Западной пустыне Египта по результатам интерпретации данных каротажа и кривых ВЭЗ // Известия Уральского государственного горного университета, 2019, Вып. № 4 (56), Стр. 25 - 32.

4) **Гавеиш Ваел Рагаб** Применение геофизических методов исследования скважин для оценки глубины и толщины водоносного горизонта в зоне Г геологического разреза в северной части оазиса Эль – Бахария, Западная пустыня, Египет // Разведка и охрана недр, 2020, Том № 2, Стр. 43 - 50.

5) **Ваэл Рагаб Гавеиш**, Игорь Алексеевич Мараев, Мухаммед Абдель Захер Мухаммед, Ибрагим Мухаммед Дарвиш, Алексей Игоревич Посеренин Гидрохимические анализы для оценки качества подземных вод для питьевых, бытовых и орошения целей в северо-восточной части Оазиса Эль – Бахария, Западная пустыня, Египет // Известия Уральского государственного горного университета, 2020, Вып. № 2 (58), Стр. 30 - 38.

#### **В других изданиях и материалах различных конференций**

1) **Гавеиш В.Р.**, Мараев И.А. Петрофизические параметры водоносного горизонта нубийского песчаника в оазисе Эль-Бахария, Западная Пустыня, Египет // Международная научно-практическая конференция стратегия развития геологического исследования недр: настоящее и будущее (К 100-летию МГРИ–РГГРУ), S-VI Секция разведочной геофизики и геоинформатики. Доклады. ПГНИУ - Москва, МГРИ–РГГРУ, 2018, Стр. 374 - 375. ISBN 978-5-9906475-6-5.

2) **В.Р. Гавеиш** Стратиграфия и геологическое строение оазиса Эль-Бахария (Египет, Западная Пустыня) // геология в развивающемся мире, сборник научных трудов по материалам XI Международной научно-практической конференции, Раздел 6: Палеонтология, стратиграфия и региональная геология. Доклады. Том II. Пермь, 2018, Стр. 252 - 255. ISBN 978-5-7944-3071-4.

3) **Гавеиш В.Р.**, Мараев И.А. применение 2D и 3D магнитного моделирования для топографического картирования фундамента в окрестностях деревни Мандиша в оазисе Бахария в Западной Пустыне Египта // Всероссийская научно-практическая

конференция и выставка «Геофизика и МГРИ. 100 лет вместе», Сборник трудов. Доклады. Москва, МГРИ–РГГРУ, 2018, Стр. 31 - 35.

4) **Гавеиш В.Р.**, Петров А. В., Мараев И.А. Интерпретационная обработка данных Магниторазведки с использованием компьютерной технологии "Коскад 3D" (окрестности деревни Мандишав оазисе Бахария в Западной Пустыне Египта ) // XIV Международной научно-практической конференции "Новые идеи в науках о Земле". Тезисы докладов. Том IV «Инновационные и цифровые технологии геологической разведки, горном деле, бурении скважин». Москва, МГРИ, 2019, Стр. 366 - 367.

5) **Гавеиш В.Р.**, Мараев И.А. Интерпретация данных вертикального электрического зондирования (ВЭЗ) для поисков малоглубинных подземных водоносных горизонтов в районе Мандиша, в оазисе Эль-Бахария, Западная Пустыня, Египет // XIV Международной научно-практической конференции "Новые идеи в науках о Земле". Тезисы докладов. Том IV «Инновационные и цифровые технологии геологической разведки, горном деле, бурении скважин». Москва, МГРИ, 2019, Стр. 362 - 365.