



СТРОЕНИЕ КРУПНОЙ МИОЦЕНОВОЙ ПАЛЕОДОЛИНЫ В КАЛУЖСКОЙ ОБЛАСТИ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ КОМПЛЕКСНЫХ ЭЛЕКТРОРАЗВЕДОЧНЫХ РАБОТ

THE STRUCTURE OF MAJOR MIOCENE PALEOVALLEY IN THE KALUGA REGION AS A RESULT OF ELECTRICAL PROSPECTING COMPLEX

КУЛИКОВ В.А.

Доцент кафедры геофизических методов исследований земной коры геологического факультета Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова, д.г.-м.н., г. Москва, vic@nw-geophysics.ru

АЛЕКСАНОВА Е.Д.

Ведущий геофизик ООО «Северо-Запад», г. Москва, alex-len@inbox.ru

АЛЕКСЕЕВ А.С.

Профессор кафедры палеонтологии геологического факультета Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова, д.г.-м.н., г. Москва

ЗАЙЦЕВ С.В.

Студент кафедры геофизических методов исследований земной коры геологического факультета Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова, г. Москва, zay.ser.vl@gmail.com

СОЛОВЬЕВА А.В.

Аспирантка кафедры геофизических методов исследований земной коры геологического факультета Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова, г. Москва, nastya_soloway@rambler.ru

ШУСТОВ Н.Л.

Научный сотрудник кафедры геофизических методов исследований земной коры геологического факультета Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова, г. Москва, nickshus@gmail.com

KULIKOV V.A.

Associate professor of the Department of Geophysical Methods of Earth Crust Study, Faculty of Geology, Lomonosov Moscow State University, DSc (Doctor of Science in Geology and Mineralogy), Moscow, vic@nw-geo.ru

ALEKSANOVA E.D.

Leading geophysicist, North-West Ltd., Moscow, alex-len@inbox.ru

ALEKSEEV A.S.

Professor of the Department of Palaeontology, Faculty of Geology, Lomonosov Moscow State University, DSc (Doctor of Science in Geology and Mineralogy), Moscow

ZAYTSEV S.V.

Student of the Department of Geophysical Methods of Earth Crust Study, Faculty of Geology, Lomonosov Moscow State University, Moscow, zay.ser.vl@gmail.com

SOLOVIEVA A.V.

Postgraduate student of the Department of Geophysical Methods of Earth Crust Study, Faculty of Geology, Lomonosov Moscow State University, Moscow, nastya_soloway@rambler.ru

SHUSTOV N.L.

Researcher of the Department of Geophysical Methods of Earth Crust Study, Faculty of Geology, Lomonosov Moscow State University, Moscow, nickshus@gmail.com

Ключевые слова: миоценовая палеодолина; электроразведка; вертикальное электрическое зондирование; вызванная поляризация; зондирование становлением поля в ближней зоне; аудиоманнителлурическое зондирование.

Аннотация: в работе представлены результаты совместной интерпретации данных комплекса электроразведочных методов, нацеленных на изучение крупной миоценовой палеодолины, расположенной в среднем течении р. Угры в Калужской области. Применяемый комплекс представлен методами вертикального электрического зондирования с измерением вызванной поляризации (ВЭЗ-ВП), зондированием становлением поля в ближней зоне (ЗСБ) и аудиоманнителлурическим зондированием (АМТЗ). Верхняя часть геоэлектрической модели была получена путем подбора в специальной версии программы IPI2WIN единой модели, отвечающей данным ВЭЗ-ВП и ЗСБ. Эта модель, соответствующая верхней части разреза, была использована в качестве стартовой при подборе данных АМТЗ. Таким образом, глубинная часть модели миоценовой палеодолины получена на основе магнитотеллурических данных, а верхняя часть — на основе менее глубинных методов электроразведки — ВЭЗ и ЗСБ.

Введение

Изучение палеодолин имеет практическое значение при гидрогеологических, инженерно-геологических, эколого-палеогеографических исследованиях. В пределах палеоврезов изменяется соотношение ледниковых, флювиогляциальных, аллювиальных отложений, увеличивается их мощность и водонасыщенность. Через глубокие погребенные врезы осуществляется гидравлическая связь между водоносными горизонтами четвертичных отложений и водами коренных пород.

Погребенные палеодолины разного возраста широко распространены на территории Русской равнины. Они вскрыты бурением и зафиксированы геофизическими методами на разной глубине в палеозойско-кайнозойском чехле [10].

Сложная сеть палеодолин известна на западе Русской равнины между Калугой и Брянском [11, 12, 14]. Здесь выделяются три основные системы погребенных ископаемых речных бассейнов с северным, южным и юго-восточным направлением стока. Одна из крупных палеосетей Русской равнины — Окско-Угринская, довольно близко совпадает с современной долиной Угры на участке между городами Юхнов и Кондрово, а также прослеживается вдоль долин рек Вори и Угры к северо-западу от г. Юхнова [10].

В непосредственной близости от одной из крупных палеодолин неогенового возраста, относящейся к Окско-Угринской сети, в среднем течении р. Угры располагается учебная база «Александровка» геологического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова. В течение нескольких лет в рамках учеб-

но-научных практик для студентов геологического факультета МГУ проводились комплексные геофизические исследования, направленные на уточнение глубинного строения палеодолины, результаты которых представлены в данной работе.

Общая геологическая характеристика района

Учебная база геофизических практик «Александровка» геологического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова расположена в среднем течении р. Угры, в ее левобережной части. Этот район принадлежит юго-западной окраине Московской синеклизы [4].

Стратиграфия

Верхние 100–120 м осадочного чехла на изучаемой территории представлены отложениями нижнего карбона и четвертичными отложениями.

Приповерхностная часть разреза представлена преимущественно отложениями московского оледенения (конец среднего неоплейстоцена) мощностью до 35 м. Широко развиты водно-ледниковые отложения, подстилающие московскую морену или отделяющие ее от донской, а также водно-ледниковые отложения времени отступления московского ледника.

Нижний карбон на участке работ представлен отложениями турнейского и визейского ярусов.

Визейский ярус в целом имеет двучленное строение: внизу это преимущественно терригенные тульский и бобриковский горизонты, а сверху — известняковая толща с прослоями терригенных пород. Бобриковский горизонт сложен в основном глинами, в ко-

Key words: miocene paleovalley; electrical survey; vertical electrical sounding; induced polarization; time-domain electromagnetic sounding; audiomagnetotelluric sounding.

Abstract: the results of the joint interpretation of data of complex electric prospecting methods, aimed at studying the major Miocene paleovalley located in the middle reaches of the river Ugra in the Kaluga region, are presented in this paper. The complex of methods included vertical electrical sounding with induced polarization (VES-IP), time-domain electromagnetic sounding (TEM) and audiomagnetotelluric sounding (AMT). The upper part of the geoelectrical model was derived by fitting single model meeting the VES-IP and TEM data in a special version of the program IPI2WIN. This model, corresponding to the upper part of the section, was used as the starting model for the selection of AMT data. Thus, the depth of the Miocene paleovalley model was obtained on the basis of magnetotelluric data, and the upper part was based on less deep electrical methods — VES and TEM.

торых присутствуют пласты угля толщиной до 2–3 м. Основную по мощности часть тульского горизонта слагают серые глинистые пески и алевриты [1]. Во многих интервалах тульского и бобриковского горизонтов наблюдается рассеянная пиритизация глин и углей (до 10%), а также стяжения пирита размером 7–8 см [2]. Мощности отложений тульского и бобриковского горизонтов в районе полигона «Александровка» испытывают существенные колебания и по данным бурения составляют около 20–30 м.

Верхняя часть визейского яруса: алексинский, михайловский и веневский горизонты сложены песками, глинами и известняками общей мощностью около 25 м.

Отложения турнейского яруса представлены только двумя нижними горизонтами — малевским и упинским. Их суммарная мощность составляет 20 м. Малевский горизонт сложен очень характерной пачкой темно-серых и зеленоватых глин, а упинский горизонт представлен известняками.

По данным бурения александровской скважины № 1, начиная с глубины 112 м (абсолютная отметка +43 м), залегают карбонатные отложения фаменского яруса верхнего девона, представленные выдержанной пачкой загипсованных доломитов хованского и озерского горизонтов.

Палеодолины

В районе установлены палеодолины широкого возрастного диапазона, часто накладывающиеся друг на друга и образующие сложную многоярусную сеть, рисунок которой остается слабо известным [11–13].

Наиболее древними из известных являются ранневизейские палеодолины, которые выполнены угленосными отложениями бобриковского горизонта нижнего карбона. На территорию работ заходят также верховья геологического образования башкирского века среднего карбона — «азовской палеодолины». Известны также юрские палеодолины.

Древние долины, заполненные ныне миоценовыми песками, являются характерной геологической особенностью района работ. Одна из таких палеодолин шириной до 4 км и длиной более 10 км протягивается вдоль р. Угры (рис. 1). Следы этой ложбины теряются на севере за д. Ивановское, уже на территории Смоленской области. Краевая часть этой долины вскрыта скв. № 123 (урочище Борисенки), где глубина донеогенового вреза составляет не менее 35 м. Песчаная толща вложена в отложения алексинского, михайловского и тульского горизонтов нижнего карбона. Миоценовый возраст определен по аналогии с долиной у г. Кондрово, датированной палинологическим методом [11].

Рядом с геофизическим профилем глубоких скважин не пробурено, поэтому о максимальной мощности неогеновой долины можно судить по скважине № 125 в урочище Железинка, которая вскрыла ее в южной части площади. В этой скважине до глубины 53 м от поверхности (то есть до абсолютной отметки +119) залегают четвертичные отложения, а ниже, до отметки +82 м, пески неогенового возраста. Здесь, вероятно, имеет место наложение двух палеодолин — донеогеновой и древнечетвертичной.

Древнечетвертичные врезы образуют наиболее молодую генерацию палеодолин. Один из них, наиболее крупный, приурочен к левобережью долины р. Угры. Эта глубокая и разветвленная долина, в тальвеге которой вскрываются тульские и бобриковские отложения, уходит в запад-северо-западном направлении на территорию Смоленской области. Сходный врез вскрыт скважинами № 301 и № 303 (см. рис. 1), где нижнеплейстоценовая песчано-галечная толща заполняет долину глубиной около 90 м, в тальвеге которой, по всей вероятности, могут быть вскрыты отложения верхнего девона.

Исходя из имеющихся геологических данных, можно составить прогнозный геологический разрез по профилю геофизических работ (рис. 2), предположив, что в этом пересечении

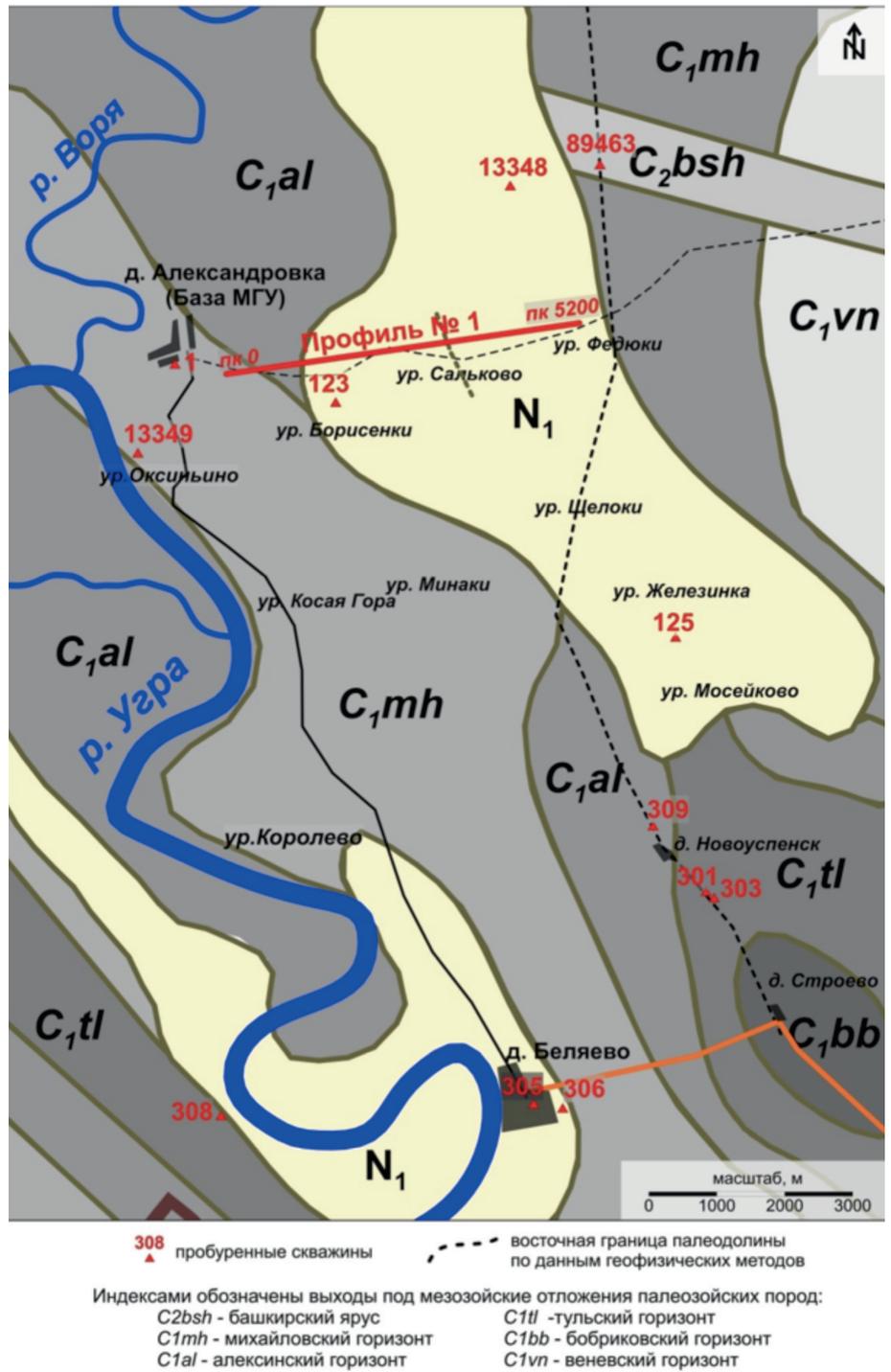


Рис. 1. Фрагмент геологической карты дочетвертичных отложений (Бобров, 2007). На карту вынесены скважины и положение профиля геофизических работ

мощность неогеновых песков в максимуме составит около 70 м и они срежут отложения тульского и частично бобриковского горизонтов.

Расположение профиля и методика работ

Комплексные работы несколькими электроразведочными методами были проведены вдоль старой дороги, соединяющей д. Александровку и д. Извольск Износковского района Калужской области. Азимут дороги близок к

широтному и составляет ВСВ 10°. Точки измерений были снесены на линию профиля, показанную на рис. 1. Длина профиля измерений составила около 5,2 км.

Главной задачей геофизических работ было изучение погребенной палеодолины неогенового возраста, выявленной в районе урочища Борисенки при проведении буровых работ на уголь в 60-х годах прошлого столетия [1].

Электроразведочный комплекс был представлен методами ВЭЗ-ВП, ЗСБ и

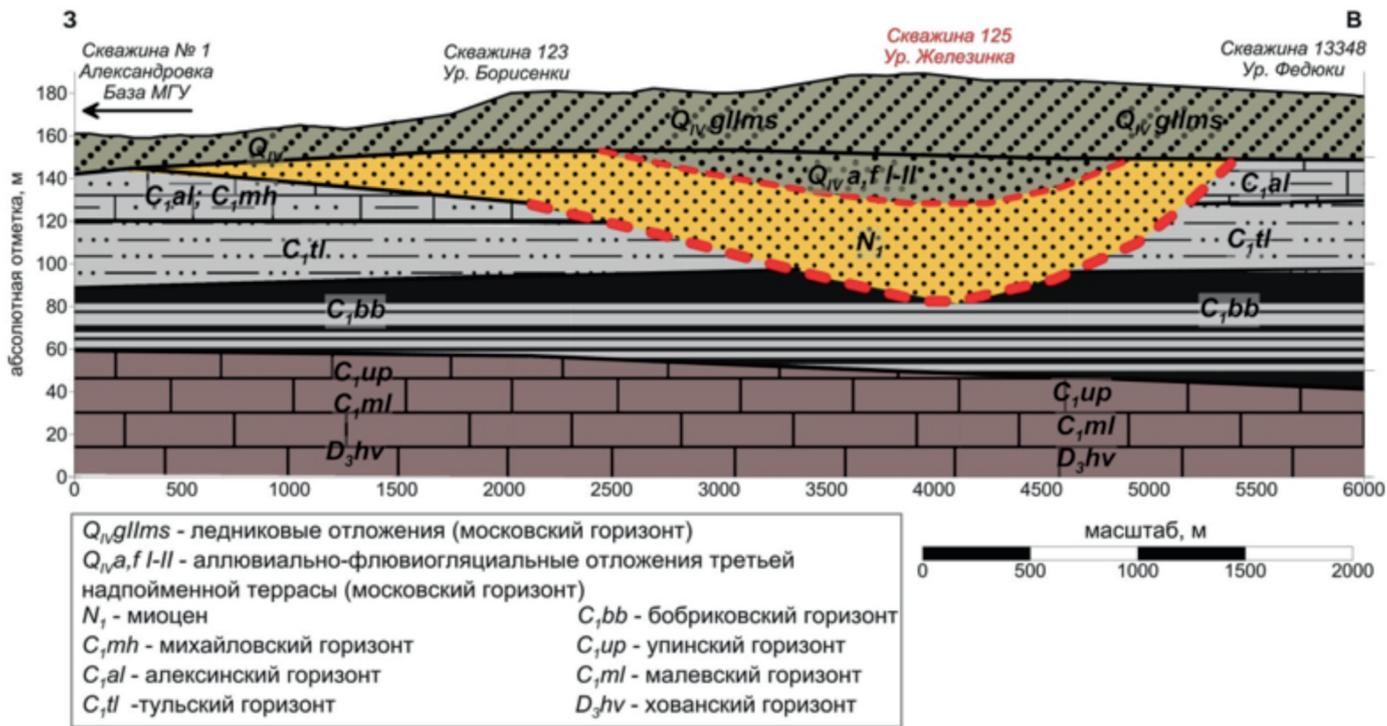


Рис. 2. Прогнозный геологический разрез по профилю геофизических работ

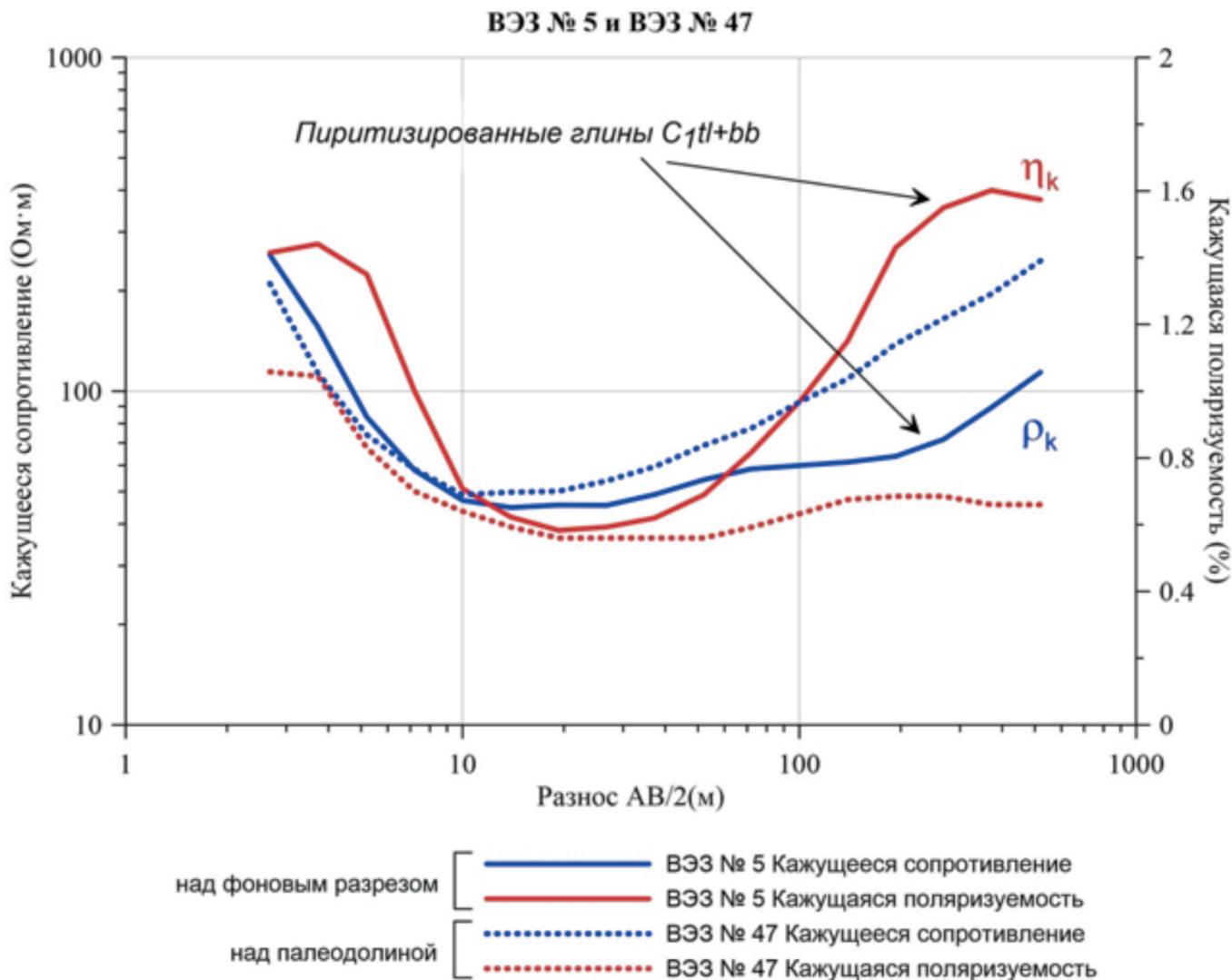


Рис. 3. Типичные кривые ВЭЗ-ВП над фоновым разрезом и над палеодолиной

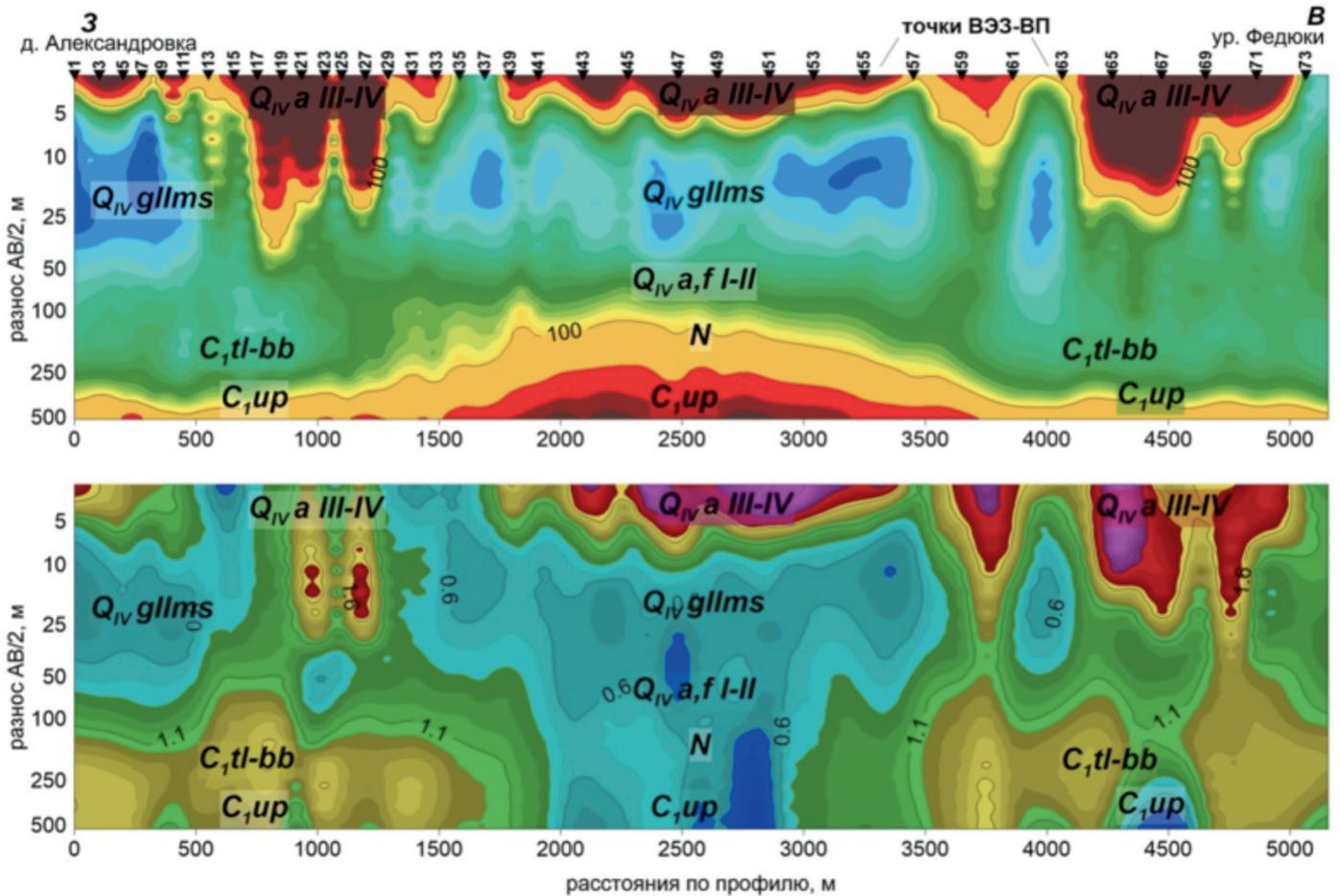


Рис. 4. Псевдоразрезы ρ_k и η_k от разности по профилю Александровка — Федюки. Расшифровка стратиграфических индексов приведена на рис. 2

АМТЗ. Ниже кратко описана методика проведения работ.

Метод вертикального электрического зондирования с измерением вызванной поляризации (ВЭЗ-ВП)

Измерения методом ВЭЗ-ВП проводились четырехэлектродной симметричной установкой Шлюмберже. Диапазон разносов питающей линии $AB/2 = 2-500$ м. Максимальный разнос $AB/2=500$ м обеспечивает в районе работ глубинность исследований 120–130 м, то есть до кровли плотных карбонатных пород упинского горизонта нижнего карбона. Для создания тока в питающей линии и измерения сигнала использовалась портативная аппаратура, разработанная в компании ООО «Северо-Запад»: электроразведочный генератор АСТРА и многофункциональный измеритель МЭРИ [6]. Шаг по профилю между точками зондирования в среднем составлял 100 м. На некоторых участках было выполнено сгущение до 50 м между точками ВЭЗ.

Для измерения вызванной поляризации использовался фазово-частотный метод. Кажущаяся поляризуемость (η_k)

рассчитывалась через дифференциальный фазовый параметр (ДФП) [7]. Измерения проводились на частоте 1,22 Гц.

Типичные кривые кажущегося сопротивления (ρ_k) и кажущейся поляризуемости (η_k) показаны на рис. 3. Кривая ВЭЗ № 5 (сплошная линия) получена на восточной окраине д. Александровки. Тип кривой ρ_k — НКН. Это наиболее распространенный тип кривых ВЭЗ в районе работ, который характеризует фоновый геоэлектрический разрез. Минимум на кривой кажущегося сопротивления, соответствующий разносам $AB/2=150-300$ м, связан с терригенными отложениями тувльского и бобриковского горизонтов нижнего карбона. За счет пиритизации глин и углей эти отложения обладают повышенной электрической поляризуемостью, что проявляется максимумом на кривой η_k — 1,6%.

Пунктирной линией показаны кривые ВЭЗ-ВП, полученные над центром палеодолины. На кривой кажущегося сопротивления пропадает минимум, связанный с тувско-бобриковскими отложениями, почти в четыре раза уменьшается суммарная продольная

проводимость до геоэлектрического экрана в кровле верхнедевонских отложений. Исчезает и максимум кажущейся поляризуемости, кривая η_k на больших разносах выходит на горизонтальную асимптоту на уровне 0,6–0,7%.

На рисунке 4 приведены псевдоразрезы кажущегося сопротивления и кажущейся поляризуемости. Качественные проявления тех или иных геологических горизонтов на этих разрезах обозначены соответствующими индексами.

Палеодолина, заполненная высокоомными песками, сливается с карбонатными породами верхнего девона и читается на псевдоразрезе кажущегося сопротивления как выступ высокоомного основания. На псевдоразрезе кажущейся поляризуемости участок, где мощность отложений палеодолины максимальна, выделяется отсутствием аномального горизонта, связанного с пиритизированными глинами и углями тувльского и бобриковского горизонтов нижнего карбона.

В приповерхностной части разреза, на разносах $AB/2 < 25$ м, на некоторых участках профиля наблюдаются области, характеризующиеся очень высокими

ми значениями кажущихся сопротивлений, до 1000 Ом·м и более. Эти аномалии ρ_k связаны с линзами надморенных флювиогляциальных позднемосковских песков, перекрывающих толщу моренных суглинков среднего плейстоцена. Все высокоомные приповерхностные зоны сопровождаются аномалиями кажущейся поляризуемости (η_k) до 2,5%. Высокие значения η_k над линзами аллювиальных песков в большинстве случаев связаны с повышенной поляризацией в зоне частично водонасыщения над уровнем грунтовых вод. Одна из таких аномалий в урочище Борисенки была детально изучена в ходе проведения студенческих практик [5].

Метод зондирования становлением поля в ближней зоне (ЗСБ)

Измерения методом становления поля проводились с портативной аппаратурой TEM-FAST-48 (производство Голландия — Россия) с однопетлевой установкой размером 50×50 м. Шаг между точками зондирования — 70 м. Диапазон регистрируемых времен становления: от 4 мкс до 4 мс.

Фоновые кривые кажущегося сопротивления имеют, как правило, тип «НКНК» или «КНК». Минимумы на кривой ρ_k отвечают проводящим горизонтам московской морены, тульского-бобриковским отложениям и проводящему водоносному горизонту в девонских отложениях. Над центром неогеновой палеодолины тип кривых меняется на «НК» или просто «К» (рис. 5), на кривых полностью пропадает минимум, отвечающий терригенным образованиям тульского и бобриковского горизонтов.

Границы развития высокоомных отложений неогеновой палеодолины хорошо «читаются» на псевдоразрезе кажущихся сопротивлений (рис. 6). Максимум ρ_k приходится на интервал профиля от 1700 до 3500 метров. В отличие от псевдоразреза по ВЭЗ здесь аномалия кажущегося сопротивления выделяется как отдельный глубинный объект.

Метод аудиоманнителлурического зондирования (АМТЗ)

Измерения методом АМТЗ проводились для изучения глубинной части разреза с помощью аппаратуры канадского производства MTU-5A (производитель Phoenix Geophysics). Шаг по профилю между точками зондирования составил 70 метров. На каждой точке

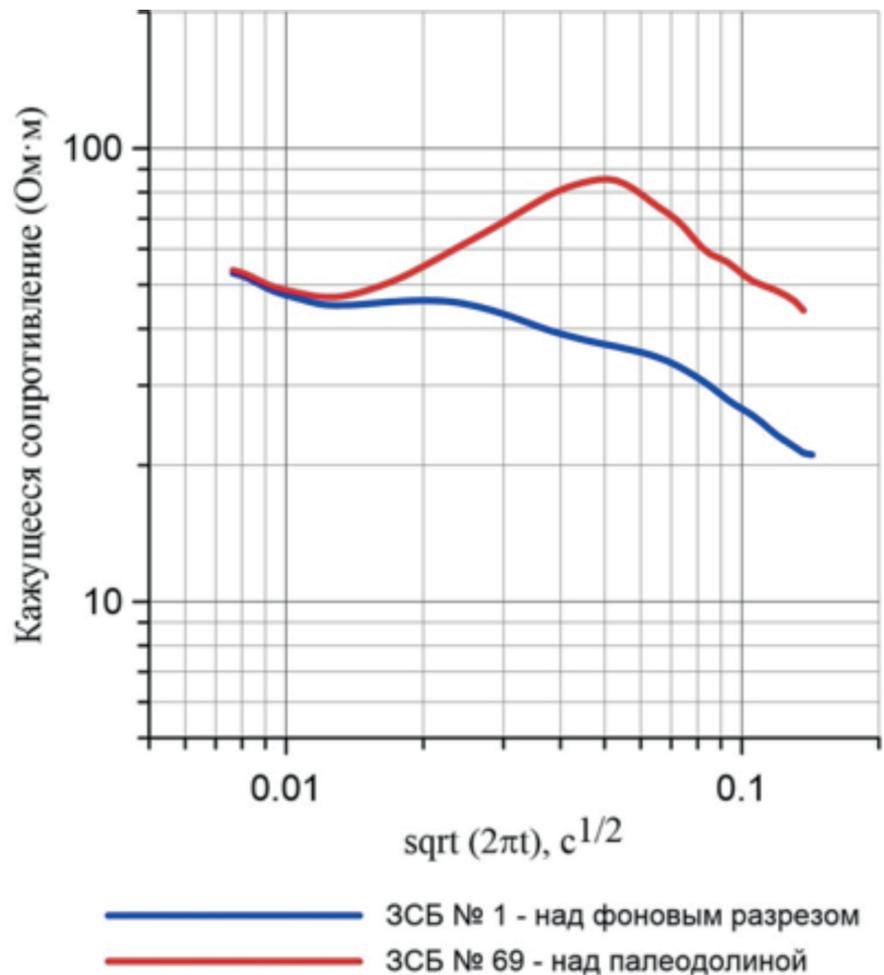


Рис. 5. Типичные кривые ЗСБ над фоновым разрезом и над палеодолиной

регистрировались 5 компонент естественного электромагнитного поля: E_x , E_y , H_x , H_y , H_z . Приемные линии MN и индукционные датчики для регистрации магнитного поля располагались по направлению географической север-юг и запад-восток. Диапазон периодов по результатам обработки временных записей поля составил от 10 кГц до 0,5 Гц.

Типичные амплитудные и фазовые кривые АМТЗ приведены на рис. 7. Кривая в точке АМТЗ № 4 получена на западном краю профиля, рядом с базой МГУ в д. Александровке. Кривая имеет тип «НКНКНК». Первый проводник, проявляющийся на кривой ρ_k , отвечает отложениям тульского и бобриковского горизонтов. Второй минимум в центральной части кривой ρ_k отвечает проводнику в карбонатных отложениях верхнего девона. Низкие сопротивления на данных глубинах предположительно связаны с двумя водоносными горизонтами — плавским и лебедянско-оптуховским. Суммарная мощность этих двух водоносных горизонтов составляет в скважине «Александровка» 140 м, а кровля приходится на

абсолютную отметку +23 м [2]. По составу вода в этих горизонтах сульфатная, кальциево-магниева, с минерализацией более 3 г/л.

Нижний проводник, проявляющийся на кривой ρ_k на больших периодах, связан с водоносными горизонтами среднего девона и венда, в которых минерализация пластовых вод достигает 150–200 г/л [8], а удельное сопротивление водонасыщенных пород составляет первые единицы Ом·м.

Кривая ρ_k , полученная над центром неогеновой палеодолины (АМТЗ № 34), претерпевает существенные изменения. Вместо первого минимума на кривой кажущегося сопротивления появляется максимум, а сама кривая смещается вверх по оси сопротивлений, что можно рассматривать как S-эффект от высокоомной приповерхностной неоднородности. Второй и третий минимумы, отвечающие девонским водоносным горизонтам, на кривой сохраняются.

На рисунке 8 приведены псевдоразрезы кажущихся сопротивлений для широтной (ρ_{xy}) и меридиональной (ρ_{yx}) компонент. Исходя из азимута простирания

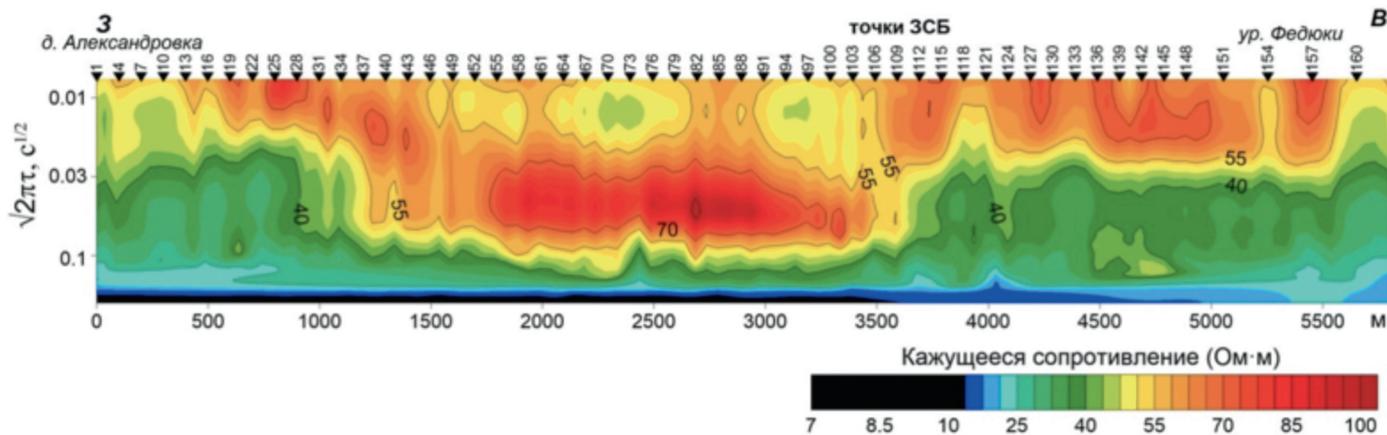


Рис. 6. Псевдоразрез ρ_k от времени становления по профилю Александровка — Федюки

неогеновой палеодолины (см. рис. 1), широтную компоненту можно рассматривать в качестве поперечной (Н-поляризация), а меридиональную в качестве продольной (Е-поляризация).

Геоэлектрический разрез всего осадочного чехла в рамках магнитотеллурического метода можно рассматривать как горизонтально-слоистую среду. Поэтому широтная и меридиональная компоненты слабо отличаются друг от друга (рис. 8). Влияние неогеновой палеодолины, заполненной высокоомными песками, несколько сильнее сказывается на широтной компоненте, ориентированной вкрест ее простирания. Наличие высокоомных геоэлектрических неоднородностей в приповерхностной части разреза приводит к смещению кривых вверх по оси сопротивлений и изменению положения кровли нижнего проводника. Примерно одинаковый гальванический эффект мы наблюдаем над центром палеодолины (дистанция по профилю 2500 м) и над небольшой приповерхностной песчаной линзой на восточном фланге профиля, в районе дистанции профиля 4500 м. На меридиональной компоненте S-эффекты сказываются слабее, и кровля глубинного проводящего слоя более выдержана по профилю (см. рис. 8).

Интерпретация и построение единой геоэлектрической модели

Качественный анализ выполненных электроразведочных работ показал, что объект изучения — песчаная толща неогеновой палеодолины — ярко и уверенно фиксируется всеми методами. С учетом разной глубинности применявшихся методов она по-разному отображается на первичных данных.

В методе ВЭЗ, который обладает наименьшей глубинностью, пески неогеновой палеодолины сказываются на

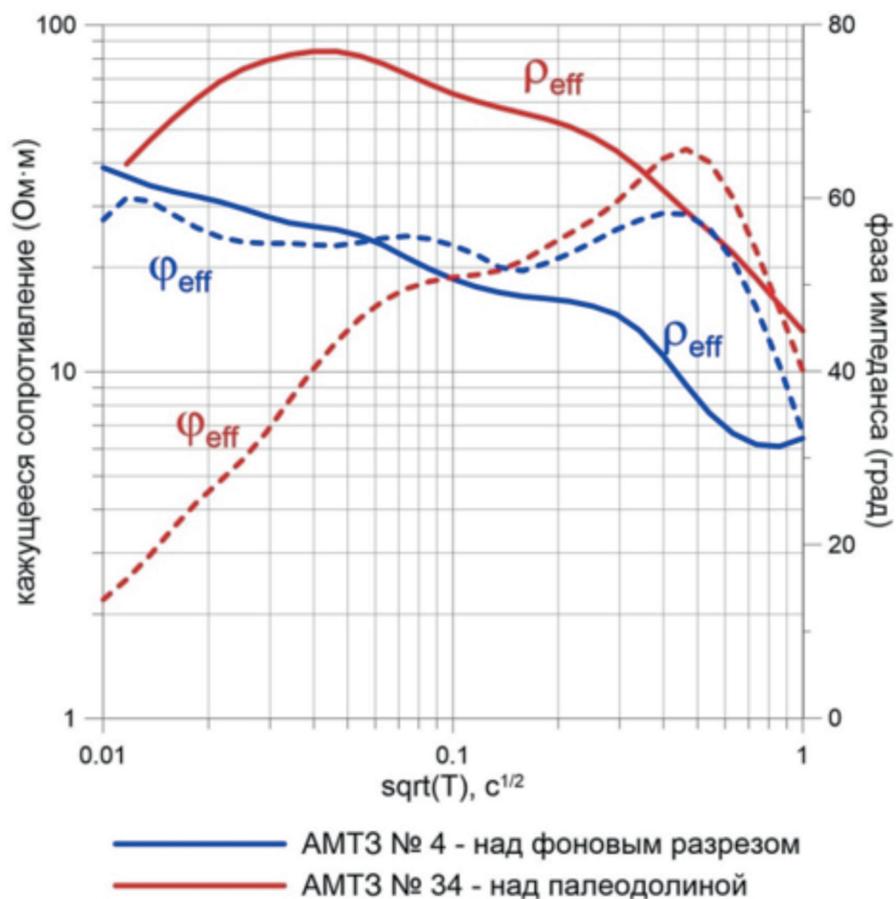


Рис. 7. Типичные кривые АМТЗ над фоновым разрезом и над палеодолиной

больших разносах и сливаются с высокоомным основанием, представленным карбонатными породами упинского горизонта нижнего карбона и хованского горизонта верхнего девона. Влияние палеодолины очевидно и на результатах метода вызванной поляризации. Сами неогеновые пески поляризуются слабо, но отложения палеодолины срезают пиритизированные терригенные отложения тульского и бобриковского горизонтов, что приводит к исчезновению регионального поляризуемого слоя, характерного для всей территории исследований.

На кривых зондирования становлением поля влияние высокоомных отложений палеодолины проявилось в виде появления характерного максимума в середине рабочего частотного диапазона. Поэтому именно на первичных результатах ЗСБ долина выражена наиболее ярко.

Наибольшей глубинностью среди представленных обладает метод аудиоманнитотеллурического зондирования. Максимальные регистрируемые в АМТЗ частоты — 10 кГц — не позволяют с такой же степенью детальности, как, например, в ВЭЗ, восстановить са-

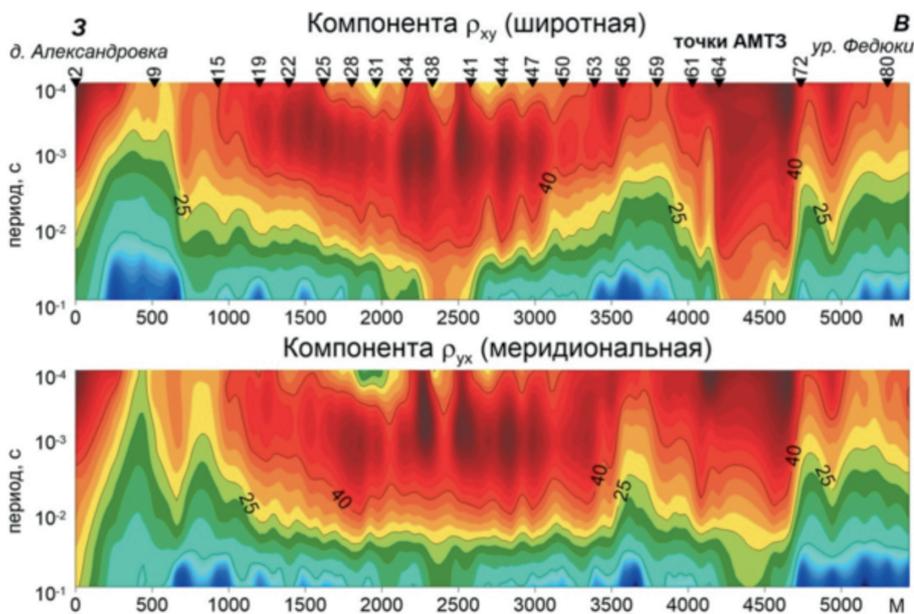


Рис. 8. Псевдоразрезы ρ_{xy} и ρ_{yx} от периода по профилю Александровка — Федюки

мую верхнюю часть разреза, но позволяют изучать глубинную структуру всего верхнедевонского карбонатного комплекса.

Интерпретация осуществлялась в несколько этапов.

Так как из всех методов электроразведочного комплекса метод сопротивлений обладает наибольшей чувствительностью к высокоомным объектам, то за основу было решено взять модель, полученную в результате интерпретации кривых ВЭЗ-ВП. Одномерный ручной подбор кривых кажущегося сопротивления и кажущейся поляризуемости был выполнен в программе IPI (автор А.А. Бобачев, МГУ). При интерпретации учитывались априорные геологические данные. Средняя невязка подбора кривых ВЭЗ-ВП составила 3,2%.

На втором этапе полученная модель была уточнена с помощью специально разработанной версии программы IPI, которая позволяет проводить одновременный подбор кривых кажущегося сопротивления для методов ВЭЗ и ЗСБ (рис. 9, а). На основе этой модели была выполнена повторная интерпретация кривых кажущейся поляризуемости и построена поляризационная модель (рис. 9, б).

Интерпретация данных АМТЗ была выполнена методом двумерной бимодальной инверсии с учетом типпера (вертикальной компоненты магнитного поля) в программе ZONDMT2D. Фазовым кривым при инверсии задавался больший вес, чем амплитудным (в со-

отношении 3/1). Учет гальванических искажений амплитудных кривых осуществлялся в процессе подбора с помощью специальной опции. В качестве стартовой задавалась геоэлектрическая модель, полученная при совместном подборе кривых ВЭЗ и ЗСБ.

Основные черты геоэлектрической модели

В качестве основного результата мы рассматриваем геоэлектрическую модель, полученную при совместной интерпретации данных ВЭЗ и ЗСБ (см. рис. 9, б). В первом приближении в итоговой модели можно выделить пять слоев.

Верхний слой — относительно проводящие породы московского оледенения — суглинки, супеси, пески. Мощность моренных отложений увеличивается от 15 м в начале профиля до 20–25 м в районе урочища Сальково. Удельные электрические сопротивления моренных отложений изменяются в диапазоне от 30 до 60 Ом·м. На некоторых участках профиля, например на западной окраине ур. Борисенки, моренные отложения перекрыты высокоомными флювиогляциальными или аллювиальными песками.

Второй слой представлен породами относительно высокого сопротивления. В начале профиля (0–1000 м) высокие сопротивления второго слоя предположительно связаны с карбонатными отложениями алексинского и михайловского горизонтов нижнего карбона, а на восточном фланге (3200–5200 м) с

флювиогляциально-аллювиальными песками, заполняющими древнечетвертичные впадины (молодые палеодолины).

Третий слой представлен хорошо проводящими породами тульского горизонта мощностью около 30 м. Удельные электрические сопротивления в пределах третьего слоя изменяются от 15 до 30 Ом·м. Сопротивления терригенных пород бобриковского горизонта несколько выше, чем тульского, и достигают значений 60–100 Ом·м.

В центральной части профиля (1100–3500 м) выделяется высокоомное тело песчаной линзы неогенового возраста, срезающее тульские и бобриковские отложения, мощность которых на этом интервале не превышает 20 м. Сопротивление неогеновых песков составляет 150–250 Ом·м, максимальная мощность 65–70 м. Неогеновые пески, вероятно, перекрыты песками четвертичного возраста, так как верхние горизонты палеодолины характеризуются более низкими значениями удельного электрического сопротивления (УЭС), чем основное тело линзы, — 80–100 Ом·м.

На абсолютной отметке +50 метров в модели выделяется слой высокого сопротивления, отвечающий карбонатным отложениям упинского горизонта нижнего карбона и залегающим ниже загипсованным доломитам хованского и озерского горизонтов верхнего девона. Для метода ВЭЗ этот горизонт является непроницаемым экраном, его удельное сопротивление составляет несколько тысяч Ом·м. Такие высокие значения УЭС могут быть связаны только с прослоями гипса в озерском горизонте. В скважине № 1 (д. Александровка) кровля слоя гипса вскрыта на глубине 125 м (абс. отметка +30 м). Мощность высокоомного слоя определяется с помощью индукционных методов (ЗСБ и АМТЗ) и составляет всего 30–35 м.

В отложениях верхнего девона выделяется проводящий слой, который авторы связывают с водоносными горизонтами — плавским и лебедянско-оптуховским. Положение кровли проводника хорошо согласуется с данными по опорной скв. № 1, пробуренной на базе МГУ, где кровля водоносного горизонта приходится на абсолютную отметку +23 м [2]. Минерализация пластовых вод по результатам гидрогеологического опробования составляет около 3 г/л.

Геоэлектрическая модель, полученная путем двумерной инверсии аудиоманнитотеллурических данных (см.

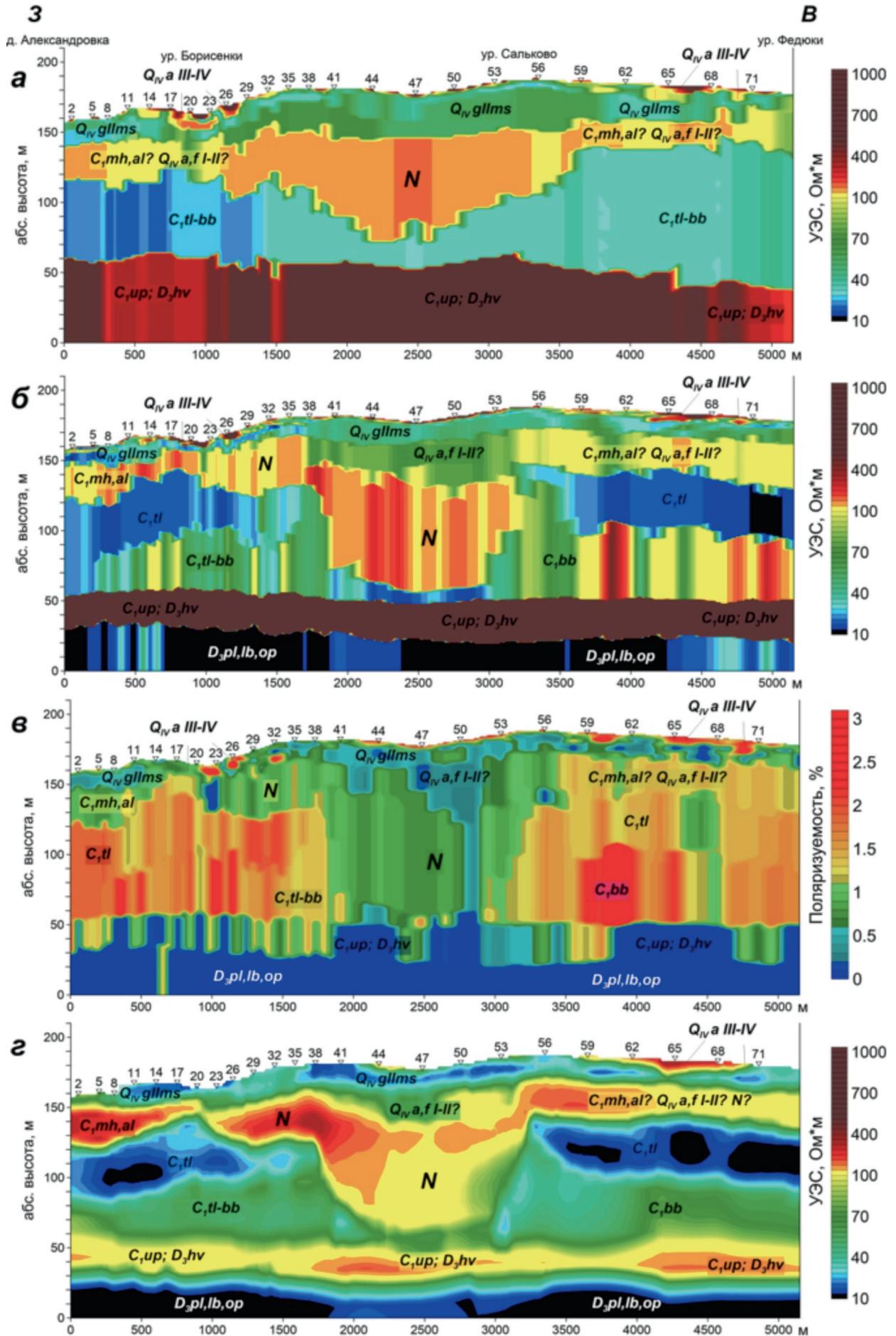


Рис. 9. Результаты интерпретации в виде глубинных моделей по разным методам: а — модель УЭС по результатам подбора кривых ВЭЗ; б — модель УЭС по совместному подбору кривых ВЭЗ и ЗСБ; в — поляризованная модель; г — модель по результатам двумерной инверсии данных АМТЗ. Расшифровка стратиграфических индексов приведена на рис. 2

рис. 9, б), хорошо согласуется с результатами ВЭЗ и ЗСБ. По результатам АМТЗ уверенно подтверждается положение кровли проводящего слоя в верхнем девоне. Что касается самой палеодолины, то по результатам АМТЗ самые высокие сопротивления характерны для западного борта, где УЭС достигают 300 Ом·м. В восточной части сопротивление по данным АМТЗ не превышает 150 Ом·м.

Поляризационная модель приведена на рис. 9, в. Высокой электрической поляризуемостью (1,5–2,5%) отличается слой отложений тульского и бобриковского горизонтов. Это характерный для нашего района работ аномальный горизонт, в котором повышенная поляризуемость связана с пиритизацией на разных уровнях. В опорной скважине № 1, которая пробурена на полигоне МГУ в д. Александровке, пиритизированные слои в тульской и бобриковской толщах встречаются в диапазоне глубин от 36 до 93 м [2]. На некоторых интервалах включения пирита или марказита (5–7%) находятся в алевритистых глинах, также встречаются крупные стяжения пирита (до 10 см) в прослойках бурого угля (рис. 10).

Повышенные значения поляризуемости характерны также для слоя высокого сопротивления, залегающего на тульских отложениях на восточном фланге профиля. Этот слой мы связываем или с карбонатными отложениями алексинского и михайловского горизонтов нижнего карбона, или с флювиогляциально-аллювиальными песками четвертичного возраста. Поляризуемость песков в центральной части неогеновой палеодолины составляет около 1%.

Локальные приповерхностные аномалии поляризуемости коррелируют с линзами высокого сопротивления и предположительно связаны с зонами частичного водонасыщения в приповерхностных песчаных линзах над верховодкой.



Рис. 10. Скважина № 1. Бобриковский горизонт. Стяжение пирита в буром угле

Выводы

Комплексом современных электро-разведочных методов было проведено изучение строения крупной неогеновой палеодолины на севере Калужской области. Палеодолина сложена кварцевыми песками и проявляется на результатах электроразведки как линзовидное тело высокого сопротивления.

Итоговая геоэлектрическая модель была получена в результате совместной интерпретации данных ВЭЗ-ВП и ЗСБ с использованием специальной версии программы PI.

Ширина центральной части палеодолины составляет примерно 2,5 км. Максимальная мощность песчаного тела составляет 70–75 м и находится между урочищами Борисенки и Сальково.

Удельные электрические сопротивления кварцевых песков, слагающих тело палеодолины, по результатам интерпретации разных методов различаются не сильно и составляют 150–300 Ом·м.

Песчаное тело срезает почти полностью отложения тульского и бобриковского горизонтов нижнего карбона, которые создают региональную площадную аномалию вызванной поляризации за счет пиритизации глин и бурых углей, отсутствующую в пределах долины.

Широкое применение описанного выше комплекса геофизических методов позволяет раскрыть картину сложной системы разновозрастных палеодолин в Калужской и других областях Центральной России. Эти долины имеют важное значение в формировании подземных вод региона. 🌐

Список литературы

1. Алексеев А.С., Шик С.М., Кабанов П.Б. Геологическое строение участка «Александровка». М.: МГУ, 1996. 68 с.
2. Васильев А.Г., Гатовский Ю.А., Полянский Б.В., Пекин А.А. Бурение параметрической опорной скважины № 1 П/А на территории Александровской (Калужская область) базы учебных геофизических практик геологического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова. М.: Изд-во геологического ф-та МГУ имени М.В. Ломоносова, 2008. 233 с.
3. Геологический атлас Калужской области / Министерство природных ресурсов Калужской области. Сост. В.С. Бобров. Редакторы: Н.А. Божко, О.О. Разумовский, Г.И. Празян. Калуга: ППП Притяжение, 2007. 70 с.
4. Геология СССР. Т. IV: Центр европейской части СССР. Геологическое описание. М.: Недра, 1971. 742 с.
5. Куликов В.А., Амбросимова М.И., Бобачев А.А., Ермаков А.П., Модин И.Н., Паленов А.Ю., Соловьева А.В. Строение погребенной долины в урочище Борисенки (Юхновский район, Калужская область) по результатам комплексных геофизических работ // Инженерные изыскания. 2015. № 4. С. 42–55.
6. Куликов В.А., Груздева И.Д., Яковлев А.Г. Результаты работ методом ВЭЗ-ВП в районе полигона «Александровка» Калужской области // Вестник Московского университета. Сер. 4. Геология. 2013. № 3. С. 53–61.

7. Куликов В.А., Зорин Н.И., Манжеева И.Т., Яковлев А.Г. Разделение аномалий вызванной поляризации по частотным характеристикам дифференциального фазового параметра // Геофизика. 2013. № 6. С. 23–31.
8. Петров В.Г. Геологическое строение и полезные ископаемые Калужской области. Калуга: ИД «Эйдос», 2003. 440 с.
9. Романовская М.А., Никитин Р.М. Геологическое строение и гидрогеологические условия Калужской области и района дер. Александровки. М.: МГУ, 2007. 53 с.
10. Судакова Н.Г., Антонов С.И., Введенская А.И. Палеогеографические закономерности развития морфолитосистем Русской равнины. Районирование. Стратиграфия // Геоэкология. М.: Изд-во географического ф-та МГУ имени М.В. Ломоносова, 2013. С. 97.
11. Филипович В.Ф. Новые сведения о миоценовых отложениях Подмосковья // Бюллетень М. о-ва исп. природы, отд. геологии. 1969. Т. XLIV (2). С. 88–91.
12. Филипович В.Ф. Погребенные долины северной части Калужской области // Геология, полезные ископаемые и инженерно-геологические условия центральных районов европейской части СССР. М., 1984. С. 110–117.
13. Фурсикова И.В. Неогеновые отложения Подмосковья // Геология, полезные ископаемые и инженерно-геологические условия центральных районов европейской части СССР. М., 1984. С. 40–56.
14. Шик Е.М., Геништа Е.Н., Лаврович О.Н., Жаке Т.Ю. Позднебашкирские и раннемосковские континентальные отложения южного крыла Московской синеклизы // Стратиграфия, палеонтология и палеогеография карбона Московской синеклизы. М., 1979. С. 4–20.
15. Электроразведка: пособие по электроразведочной практике для студентов геофизических специальностей / под ред. проф. В.К. Хмелевского, доц. И.Н. Модина, доц. А.Г. Яковлева. М.: МГУ, 2005. 311 с.

ГЕОТЕХНИКА

Журнал для изыскателей, проектировщиков и строителей

Цель журнала — ознакомление российских специалистов с передовым отечественным и зарубежным опытом в области геотехники

Периодичность в 2017 году:
6 номеров

Стоимость годовой подписки:

3900 рублей

info@geomark.ru

