

## ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ ЭЛЕКТРОРАЗВЕДКИ ПРИ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ИЗЫСКАНИЯХ В УСЛОВИЯХ СЕВЕРНОГО СКЛОНА ВОРОНЕЖСКОЙ АНТЕКЛИЗЫ

В. И. Жаворонкин, В. Н. Груздев, С. А. Зацепин, А. А. Бакумцев, А. Ю. Доманин

*Воронежский государственный университет*

Поступила в редакцию 16 сентября 2015 г.

**Аннотация:** в статье приводятся некоторые результаты картирования опорного горизонта методами электроразведки, которое осуществлялось летом 2014 г. в Липецкой области. В качестве опорного горизонта предполагается мощный слой известняков девонского возраста.

**Ключевые слова:** опорный горизонт, осадочный чехол, геоэлектрический разрез, геологический разрез, вертикальные электрические зондирования, симметричное электрическое профилирование.

### APPLICATION OF THE GEOELECTRICAL METHODS FOR GEO-ENGINEERING RESEARCHES ON THE NORTHERN SLOPE OF THE VORONEZH ANTICLINE

**Abstract:** SOME RESULTS OF MAPPING OF THE KEY HORIZON BY ELECTROINVESTIGATION METHODS WHICH WAS CARRIED OUT IN THE SUMMER OF 2014 IN THE LIPETSK REGION ARE GIVEN IN THE ARTICLE. AS THE KEY HORIZON THE POWERFUL LAYER OF LIMESTONES OF DEVONIAN AGE IS SUPPOSED.

**Keywords:** KEY HORIZON, SEDIMENTARY COVER GEOELECTRIC SECTION, GEOLOGICAL SECTION, VERTICAL ELECTRIC SOUNDING, SYMMETRIC ELECTRIC PROFILING.

#### Введение

Картирование поверхности опорного горизонта является важной задачей для строительства, инженерной геологии и геофизики, так как процессы, происходящие непосредственно в его пределах, могут иметь влияние на вышележащие слои пород, которые, в свою очередь, могут оказать воздействие на строящиеся или уже существующие здания и инженерные сооружения различного рода; такие воздействия могут носить катастрофический характер.

В связи с важностью таких исследований, летом 2014 года в Липецкой области сотрудниками кафедры геофизики ВГУ проводились электроразведочные работы на одной из строительных площадок. Как известно из различных научно-практических работ, проведённых ранее, территория Липецкой области является карстоопасной [1]. В пределах территории данного региона установлено более 700 проявлений карстово-суффозионной активности. По геологическим условиям имеются потенциальные возможности для их развития, которые непрерывно реализуются в виде новых объектов, о чем свидетельствуют ежеквартальные "Информационные сводки о проявлениях экзогенных геологических процессов на территории Российской Федерации" [2].

#### Цели и задачи

Целевым назначением работ являлось определение мощности пород верхней части разреза и картирова-

ние возможных неоднородностей строения осадочного чехла.

Перед геофизическими исследованиями стояли следующие задачи:

1. Изучение гипсометрии поверхности верхнедевонских карбонатных отложений;
2. Выявление и картирование неоднородностей в строении карбонатной толщи и в перекрывающих ее отложениях;
3. Оценка влияния опорного горизонта на развитие карстовых процессов в перекрывающей толще.

Решение поставленных геологических задач осуществлялось комплексом методов вертикальных электрических зондирований (ВЭЗ) и симметричного профилирования (СЭП).

#### Геологическое строение района исследований

В целом осадочный чехол характеризуется достаточно сложной внутренней структурой, осложнённой многочисленными флексурами. Представленный фрагмент геологического разреза (рис. 1), пересекающего г. Липецк с севера на юг, свидетельствует об унаследованном характере развития осадочного чехла от кристаллического фундамента.

В геологическом строении исследуемого участка принимают участие четвертичные, нижнемеловые и верхнедевонские отложения, с поверхности частично перекрытые техногенными образованиями.

Техногенные образования (ТН) представлены

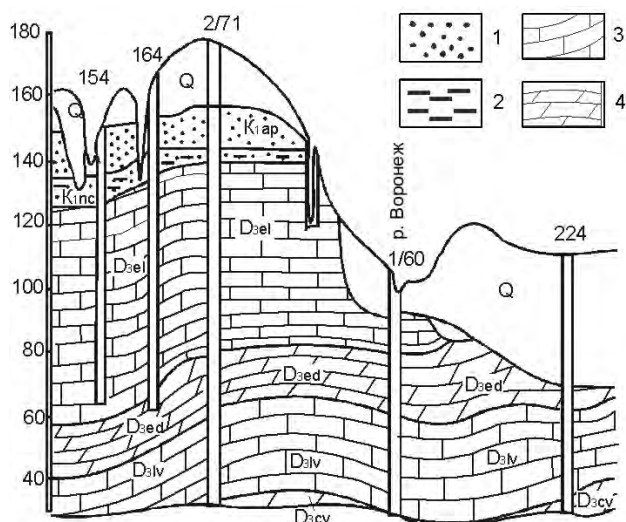


Рис. 1. Верхняя часть геологического разреза. Условные обозначения: 1 – пески; 2 – глины; 3 – известняки; 4 – доломиты.

насыпным грунтом, являющимся смесью чернозёма, суглинка и т.д. Распространены практически повсеместно. Мощность слоя невыдержанная, изменяется от 0,5 до 4 и более м.

Среднечетвертичные отложения ( $Q_{IV}$ ) представлены песком мелким, плотным, влажным, распространены не повсеместно, отдельными линзами. Мощность достигает нескольких метров. Суглинком мягкопластичным, местами полутвёрдым, мощность

слоя невыдержанная от 1,5 до 5–6 м.

Нижнемеловые отложения ( $K_1$ ) представлены песком мелким, в различной степени глинистым, иногда с отдельными линзами, глин. Мощность до 15 м. Переслаиванием песка, глины и алеврита; песком разнородным, глинистым, алевритистым.; глиной песчаной с глауконитом, алевритом глинистым

Верхнедевонские отложения ( $D_3$ ) представлены известняками плотными, местами перекристаллизованными. Возможны тонкие пропластки известковистых глин и мергелей. В верхней части обычно трещиноватый. Мощность отложений в районе г. Липецка более 60 м.

Литология и структурные характеристики надкарбонатной толщи чрезвычайно невыдержанны по laterally и в вертикальном направлении [4].

**Геоэлектрическая характеристика района работ**

Фактические сведения об электрическом сопротивлении пород распространенных в пределах изучаемой части Воронежской антеклизы приведены в таблице 1 [4].

Значения плотности для основных типов пород характерных для изучаемого разреза приведены в таблице 2.

Сейсмические свойства пород в районе исследования представлены в таблице 3.

Магнитные свойства пород характерных для верхней части разреза исследуемого района приведены в таблице 4.

Таблица 1

Электрическое сопротивление пород

№ п/п	Горные породы	Геологический возраст	Электрическое сопротивление, Ом·м	
			Пределы изменения	Наиболее распространенные величины
1	Глины: а) плотные б) песчаные	Q, N, K, D	8-25 15-30	10-15 15-25
2	Суглинки покровные	Q	20-60	20-40
3	Суглинки моренные	Q	10-40	15-30
4	Супеси	Q, N, K		
5	Песчано-глинистые отложения	Q, N, K	30-120	60-90
6	Пески: а) сухие б) обводненные или глинистые	Q, N, K	100-2000 80-400	200-400 120-200
7	Известняки: а) плотные б) трещиноватые в) глинистые	D	200-2000 100-400 100-400	500-800 200-400 200-400
8	Мергели	D	40-140	40-80
9	Песчаники	N, K	80-400	100-200

Таблица 2

Значения плотности некоторых типов осадочных пород

Порода	Наиболее часто встречающиеся значения, г/см <sup>3</sup>	$\sigma_{min}-\sigma_{max}$ , г/см <sup>3</sup>
Глина	2,2-2,5	1,21-2,8
Аргиллит	2,3-2,4	1,7-2,9
Песок	1,5-1,7	1,3-2,0
Алеврит	2,1-2,5	1,8-2,6
Мергель	2,2-2,4	1,5-2,8
Известняк	2,4-2,6	1,8-2,9
Доломит	2,5-2,6	1,9-3,0

Таблица 3

Сейсмические свойства пород различных типов  
в неводонасыщенном состоянии вблизи дневной поверхности

Породы	$V_P, м/с$	$V_S, м/с$	$V_S/V_P$	$\alpha_P, м^{-1}$ ( $\neq 80-110 Гц$ )	$\alpha_S, м^{-1}$ ( $\neq 50-80 Гц$ )
Скальные слаботрещинчатые (известняки, доломиты)	3500-5000	2000-3000	0,5-0,6	0,01-0,06	0,01-0,08
Крупнообломочные и песчаные (гравий, песок)	200-800	150-500	0,5-0,7	0,1-0,18	0,13-0,18
Глинистые (суглинки, глины)	300-1800	100-400	0,1-0,5	0,08-0,19	0,1-0,21

Примечания:  $V_P, V_S$  – скорость соответственно продольных и поперечных волн;  $\alpha_P, \alpha_S$  – коэффициент поглощения продольных и поперечных волн.

Таблица 4

Значения магнитной восприимчивости некоторых типов осадочных пород (по В. Н. Кобрановой)

Характеристика пород	$\chi, н \cdot 10^{-3}$ ед. СИ	
	Предельные	Наиболее часто встречающиеся
Песок	0-3800	-
Алевролит	-3-6300	12,5-125
Глина	2,5-3800	12,5-125
Аргиллит	2,5-2500	12,5-125
Известняк	0,15-3800	12,5-30
Доломит	0,15-125	0-12,5
Мергель	0,15-250	1,25-30

#### Методика работ

Электроразведочные исследования выполнялись по системе профилей, направление которых было принято в крест основных геоморфологических структур исследуемой площади.

Наблюдения методом ВЭЗ, выполнены на одном из участков площадью около 1 км<sup>2</sup>. Площадные наблюдения проводились по сети 100x100 м. Местоположение детализирующих зондирований выбиралось с учетом геоэлектрических особенностей, установленных по результатам предварительной интерпретации.

Качество полевых измерений оценивалось по результатам контрольных наблюдений, объем которых составил 5 % от общего числа координатных точек ВЭЗ. Средняя относительная погрешность измерений кажущегося сопротивления составила 4,9 %. Для получения сведений об особенностях геоэлектрического разреза и для изучения влияния анизотропии на значения кажущегося сопротивления были выполнены крестовые наблюдения, то есть наблюдения на одной и той же координатной точке с взаимно перпендикулярными системами разносов. Общее число крестовых ВЭЗ составило 4% от общего числа ВЭЗ. Для детального изучения особенностей анизотропии геоэлектрического разреза на одном пункте выполнено круговое четырех азимутальное зондирование.

Во всех случаях наблюдения ВЭЗ выполнялись симметричной установкой АМNB, где А и В – питающие электроды установки, а М и N – приемные. Величина разносов питающей линии АВ/2 (АО) составила: 1,5; 2,2; 3; 4,2; 6; 9; 13; 20; 30; 42; 60; 90; 130; 220 м. Длина приемной линии удовлетворяла соотношению  $3MN \leq AB$ . При достаточно больших разносах

питающей линии АВ (АО) измеренная разность потенциалов на приемных электродах становилась слишком малой, что не позволяет получить непрерывную кривую  $\rho_k$  ВЭЗ. Поэтому для увеличения измеряемой разности потенциалов приходилось увеличивать длину приемной линии, сохраняя указанное соотношение с длиной питающей линии. Для сопряжения ветвей кривой ВЭЗ, соответствующих различным линиям MN, необходимо получить их перекрытие, для чего на переходных разносах питающих электродов производятся замеры на обеих линиях MN.

Центры зондирований располагались на профилях с шагом 100 м. Направление питающих разносов АВ выбиралось с таким расчетом, чтобы максимально исключить искажающее влияние современных форм рельефа на измеряемые величины. На пунктах наблюдения, расположенных вблизи окружной автодороги направление разносов пришлось изменить с тем, что бы питающая линия АВ не пересекала её.

Наблюдения СЭП проводились симметричной установкой АМNB с АВ = 200 м шаг наблюдений по профилям при площадной съемке составлял 25 м, на отдельных детализационных профилях – 10 м. Для того, чтобы исследовать «мертвую зону», возникающую при приближении одного из питающих электродов к асфальтированной автодороге, были пройдены маршруты параллельные ей.

Оценка качества наблюдений  $\rho_k$  СЭП проведена по результатам контрольных наблюдений, выполненных в объеме 5 % от общего числа координатных точек. Средняя относительная погрешность измерений кажущегося сопротивления составила 5 %.

В качестве измерительной аппаратуры в методах ВЭЗ и СЭП использовался автокомпенсатор АЭ-72.

Интерпретация результатов ВЭЗ проводилась с целью получения геологической информации. Для получения общего представления о геологическом строении района вначале была проведена качественная интерпретация результатов ВЭЗ. Далее была выполнена количественная интерпретация результатов ВЭЗ [5].

#### Результаты

В ходе интерпретации было выявлено, что в исследуемом геоэлектрическом разрезе выделяются несколько горизонтов (рис. 2).

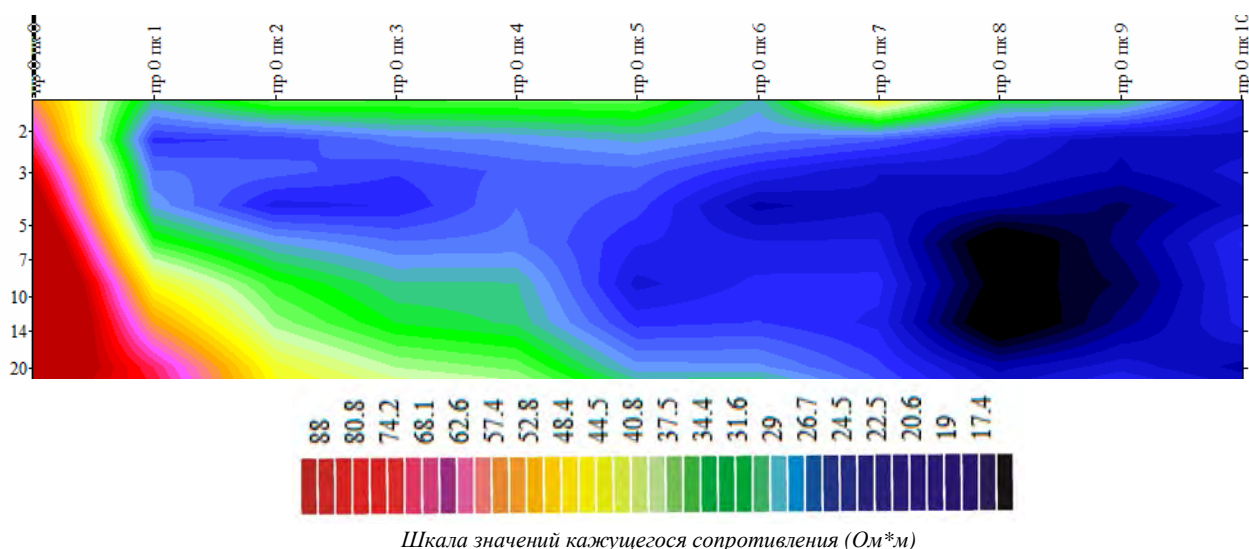


Рис. 2. Геоэлектрический разрез по одному из профилей ВЭЗ.

Первый геоэлектрический горизонт (сверху) мощностью от 2 м до 10 – 15 м имеет широкие интервалы изменений значений УЭС от 10 до 200  $\text{Ом}^*\text{м}$  и представлен почвенно-растительным слоем и покровными отложениями четвертичного возраста, представлен суглинками, глинами песчаными, прослоями песка.

Второй геоэлектрический горизонт имеет мощность от 15 м до 50 м. Представлен он песчано-

глинистыми отложениями; песками с прослоями глин, песчаников. Значения УЭС данного горизонта изменяется в широких пределах – от 10 до 100  $\text{Ом}^*\text{м}$  и отождествляется, в основном, с образованиями нижне-мелового возраста.

Третий геоэлектрический горизонт является в данном случае опорным и представлен предположительно известняками верхнего девона, значения УЭС колеблются в пределах 160–700  $\text{Ом}^*\text{м}$ . Абсолютные отметки кровли данного горизонта изменяются в интервале 97 – 162 м.

Для изучения и учета анизотропии удельного сопротивления была выполнена интерпретация крестовых и азимутальных ВЭЗ.

Использование электроразведки методом СЭП позволило существенно детализировать картину распределения геоэлектрических неоднородностей на изученных участках (рис. 3).

Указанные материалы полевых работ методом СЭП были использованы при составлении схем распределения кажущегося удельного сопротивления. На данных схемах хорошо просматриваются зоны повышенных и пониженных значений кажущегося удельного сопротивления пород, предположительно отвечающие уровню глубин опорного горизонта или несколько выше него. Для исследуемого участка геоэлектрическое строение более однородно и характеризуется общим возрастанием  $\rho_k$  в направлении с юга на север.

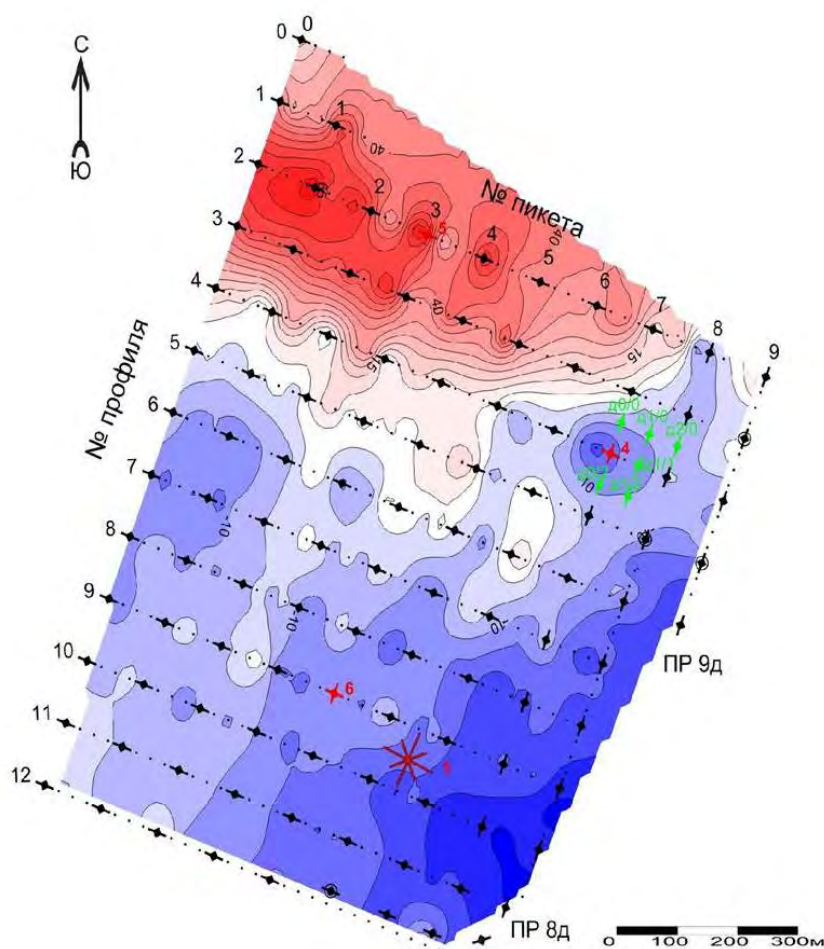


Рис. 3. Схема распределения аномального кажущегося удельного сопротивления на участке (изолинии в  $\text{Ом}^*\text{м}$ ).



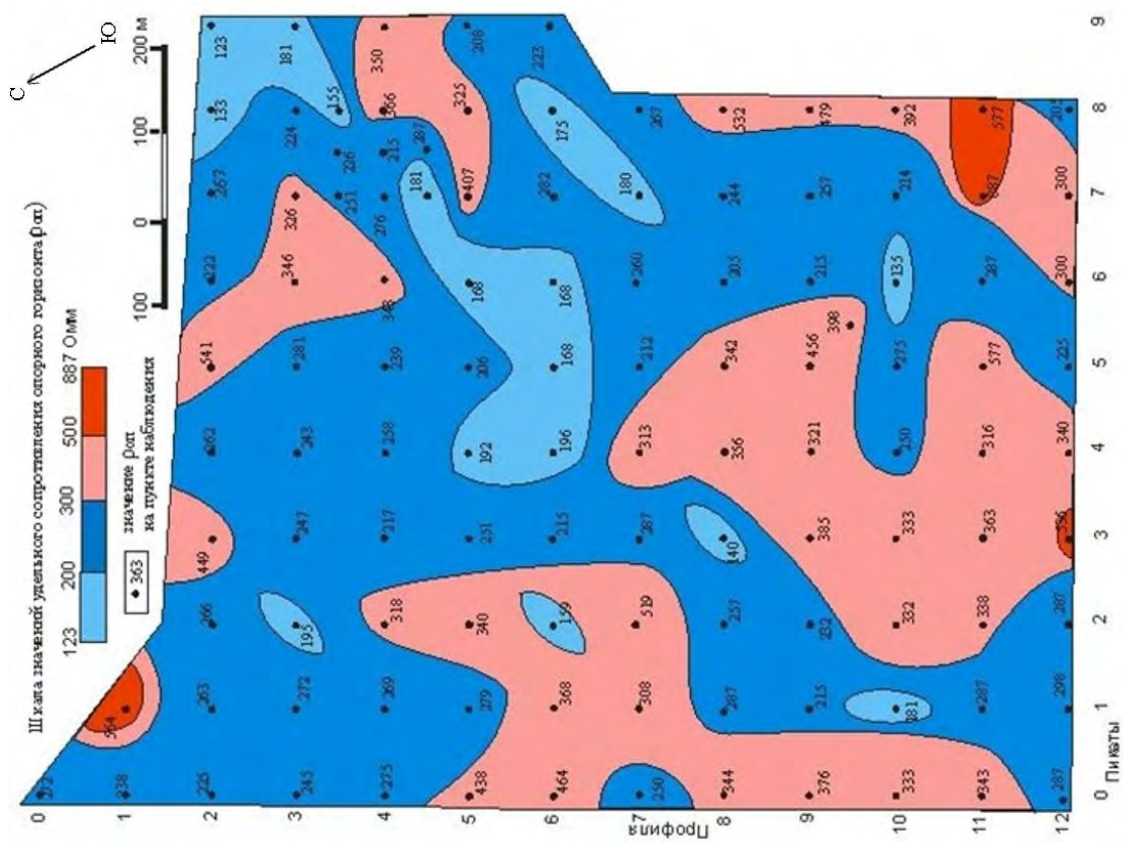


Рис. 4. Схема распределения интервалов абсолютных значений глубины опорного горизонта по данным ВЭЗ.

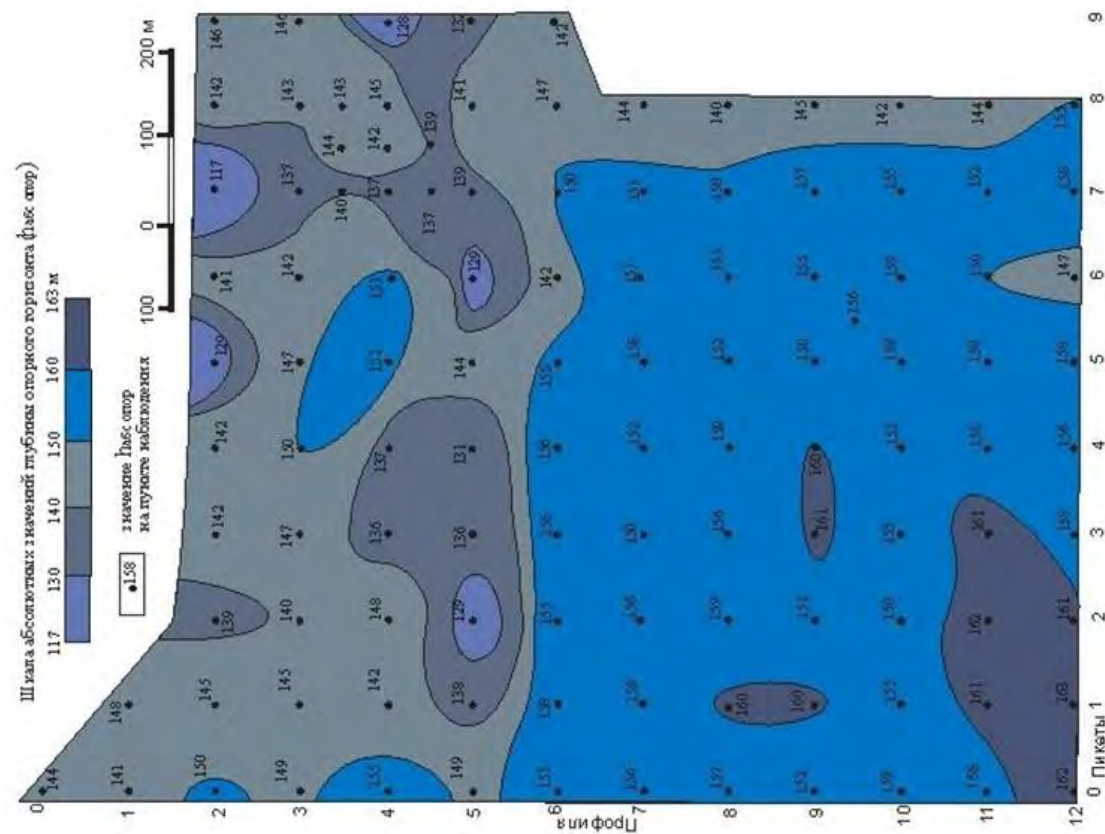


Рис. 5. Схема распределения значений удельного сопротивления опорного горизонта по данным ВЭЗ.

С целью более чёткого выделения геоэлектрических неоднородностей, по данным исследований методом СЭП, были построены схемы аномальных значений  $\rho_k$ , отсчитываемые от медианных значений этого параметра по территории каждого из участков работ.

Приведённые выше результативные материалы геофизических работ по обоим участкам позволяют определить, что глубина залегания опорного горизонта, в качестве которого предполагается мощный комплекс известняков, измеряется от уровня дневной поверхности и отмечается значительными колебаниями по изученной территории. Диапазон глубин опорного горизонта составляет примерно от 15 м до 75 м, что при относительно ровном дневном рельефе обеспечивает существенные локальные вариации абсолютных отметок глубин (рис. 4). В региональном плане отмечается тенденция возрастания глубины опорного горизонта с запада – юго-запада на восток – северо-восток, что достаточно надёжно выявляется по сглаженным данным о глубинах (рис. 5).

#### Выводы

1. Опорный горизонт довольно выдержан по профилю. Отмечается локальное изменение глубины

залегания опорного горизонта без резких разрывов. В случае значительной дезинтеграции комплекса интерпретационные материалы электроразведки ВЭЗ будут показывать некоторое завышение глубины кровли опорного горизонта.

2. Удельное сопротивление опорного горизонта не содержит резких колебаний. Отмечены незначительные зоны вблизи опорного горизонта с низким значением сопротивления, что связано с наличием обводнённости пород.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Информационный бюллетень о состоянии недр на территории Российской Федерации в 2009 г. — Вып. 33. — М.: ООО “Геоинформмарк”, 2010. — 208 с.
2. Информационная сводка о проявлениях экзогенных геологических процессов на территории Российской Федерации за II квартал 2013 г.
3. Шевченко, Л. Н. Отчет о комплексной гидрогеологической и инженерно-геологической съемке для целей мелиорации (листы N-37-127-А, Б, Г) масштаба 1:50 000 на Задонской площади (II очередь) в Липецкой области проведенной в 1983–85 гг. ТГФ ЦР, 1986.
4. Якубовский, Д. В. Электроразведка / Д. В. Якубовский, И. В. Рейнард. — М.: Недра, 1991. — 358 с.

*Воронежский государственный университет*

*Груздев В. Н., доцент кафедры геофизики  
E-MAIL: GRUMMER@RAMBLER.RU  
Тел.: 89525535030*

*Жаворонкин В. И., доцент кафедры геофизики  
E-MAIL: ZHAVORONKIN@GEOL.VSU.RU  
Тел.: 89036512163*

*Зацепин С. А., аспирант кафедры геофизики  
E-MAIL: CHLAVERT@INBOX.RU  
Тел.: 89204252013*

*Бакумцев А. А., аспирант кафедры геофизики  
E-MAIL: ABAKUMTSEV@GMAIL.RU  
Тел.: 89202193912*

*Доманин А. Ю., магистр кафедры геофизики  
E-MAIL: IESSCBP@GMAIL.RU  
Тел.: 89515498708*

*VORONEZHSTATE UNIVERSITY*

*GRUZDEV V. N., PROFESSOR ASSISTANT OF THE GEOPHYSICS DEPARTMENT  
E-MAIL: GRUMMER@RAMBLER.RU; TEL.: 89525535030*

*ZHAVORONKIN V. I., PROFESSOR ASSISTANT OF THE GEOPHYSICS DEPARTMENT  
E-MAIL: ZHAVORONKIN@GEOL.VSU.RU; TEL.: 89036512163*

*ZATSEPIN S. A., POSTGRADUATE STUDENT OF THE GEOPHYSICS DEPARTMENT  
E-MAIL: CHLAVERT@INBOX.RU; TEL. 89204252013*

*BAKUMTSEV A. A., POSTGRADUATE STUDENT OF THE GEOPHYSICS DEPARTMENT  
E-MAIL: ABAKUMTSEV@GMAIL.RU; TEL.: 89202193912*

*DOMANIN A. Y., MASTER OF THE GEOPHYSICS DEPARTMENT  
TEL.: 89515498708  
E-MAIL: IESSCBP@GMAIL.RU*