

ПЕРМСКИЙ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
НАЦИОНАЛЬНЫЙ  
ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ

# ГЕОЛОГИЯ И ПОЛЕЗНЫЕ ИСКОПАЕМЫЕ ЗАПАДНОГО УРАЛА

Сборник научных статей

Выпуск 6(43)



Пермь 2023

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего образования  
«ПЕРМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

# ГЕОЛОГИЯ И ПОЛЕЗНЫЕ ИСКОПАЕМЫЕ ЗАПАДНОГО УРАЛА

Сборник научных статей

Выпуск 6(43)

*Под общей редакцией П. А. Красильникова*



Пермь 2023

УДК 550.8+622

ББК 26.3

Г36

**Геология** и полезные ископаемые Западного Урала [Электронный ресурс] : сборник научных статей / под общ. ред. П. А. Красильникова ; Пермский государственный национальный исследовательский университет. – Пермь, 2023. – Вып. 6(43). – 27,5 Мб ; 322 с. – Режим доступа: <http://www.psu.ru/files/docs/science/books/sborniki/geologiya-i-poleznye-iskopaemye-zapadnogo-urala-43.pdf>. – Заглавие с экрана.

ISBN 978-5-7944-3085-1

ISBN 978-5-7944-3999-1 (вып. 6(43))

Сборник содержит научные статьи по материалам 43 Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Геоэкология, инженерная геодинамика, геологическая безопасность. Печеркинские чтения», состоявшейся 23–24 мая 2023 г. в Пермском государственном национальном исследовательском университете.

Статьи посвящены геологии западного склона Урала, Камского Приуралья и других регионов России. Рассмотрены общие вопросы геологии, проблемы минералогии, литологии, месторождений твердых полезных ископаемых нефти и газа, а также вопросов геофизических методов исследования недр, гидрогеологии, карстоведения, инженерной геологии, экологической геологии.

Для геологов широкого профиля, нефтяников, геофизиков и других специалистов по исследованию недр Земли, добыче полезных ископаемых, экономистов, а также для студентов геологических направлений и специальностей вузов.

УДК 550.8+622

ББК 26.3

*Печатается по решению ученого совета геологического факультета  
Пермского государственного национального исследовательского университета*

#### РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

д. г.-м. н. П. А. Красильников (главный редактор),  
д. г.-м. н. И. С. Копылов (отв. редактор), Е. А. Меньшикова,  
Е. Е. Кожевникова, В. И. Костицын, О. Б. Наумова, В. В. Середин

#### РЕЦЕНЗЕНТЫ

д. т. н., начальник отдела геофизических исследований ООО НИПППД «Недра»

**А. В. Татаркин**

д. т. н., директор по промысловой геофизике ПАО «Пермнефтегеофизика»

**А. В. Шумилов**

ISBN 978-5-7944-3085-1

ISBN 978-5-7944-3999-1 (вып. 6(43))

© ПГНИУ, 2023

## **ОЦЕНКА РАЗРЕШАЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ МЕТОДА ВЭЗ ПРИ КАРТИРОВАНИИ КРОВЛИ КОРЕННЫХ ПОРОД С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ**

Картирование кровли коренных пород является традиционной задачей для электроразведки методом ВЭЗ. С помощью имитационного моделирования определялись параметры установки ВЭЗ, позволяющие осуществлять успешное решение этой задачи в различных физико-геологических условиях. Рассмотрено 6 типов четырехслойных геоэлектрических разрезов, полученных в результате количественной интерпретации полевых геофизических данных. Для выполнения вычислительных операций и визуализации результатов геофизических исследований использовался комплекс программ «Зонд2». Полученные результаты могут использоваться при проектировании инженерно-геофизических работ и для оценки качества интерпретации.

**Ключевые слова:** Электроразведка, ВЭЗ, разнос питающей линии, удельное электрическое сопротивление, имитационное моделирование.

**R.N. Petrosyan, E.A. Ginzburg**  
Perm State University, petrosyan@antikarst.ru, ginzburg2014@mail.ru

## **EVALUATION OF THE RESOLUTION OF THE VES METHOD IN MAPPING THE ROOF BEDROCK USING SIMULATION MODELING**

Mapping of bedrock roof is a traditional task for electrical exploration using the VES method. With the help of simulation modeling, the parameters of the VES installation were determined, which made it possible to successfully solve this problem in various physical and geological conditions. Six types of four-layer geoelectric sections obtained as a result of quantitative interpretation of field geophysical data are considered. To perform computational operations and visualize the results of geophysical research, the Zond2 software package was used. The results obtained can be used in the design of geophysical works and to assess the quality of the interpretation.

**Key words:** electrical prospecting, VES, spacing, half spacing, electrical resistivity, simulation modeling.

Электроразведка методом вертикального электрического зондирования (ВЭЗ) благодаря её относительной дешевизне и эффективности успешно зарекомендовала себя при решении многих геологических, гидрогеологических, инженерно-геологических и др. задач [4,6]. На сегодняшний день электрические зондирования остаются одними из самых часто применяемых электроразведочных методов [2]. Одной из наиболее часто решаемых задач в инженерной геологии является определение глубины залегания кровли коренных пород, что необходимо при проектировании различных сооружений. Электрическое зондирование – это модификация метода сопротивлений на постоянном или низкочастотном (до 20,0 Гц) токе, при которой в процессе работы расстояние между питающими электродами или между питающими и приемными линиями (разнос) постепенно

увеличивается. В результате полевых наблюдений строятся графики зависимости кажущегося сопротивления от разноса или кривая зондирования, которая характеризует изменение удельных электрических сопротивлений ( $УЭС$ ) с глубиной [1].

Априорной информации о геологическом строении участка работ и сведений о электрических свойствах горных пород, слагающих разрез до кровли коренных пород может быть недостаточно. Для корректного производства геофизических работ и последующего истолкования полевых наблюдений нужно определить количество разносов питающей линии АВ на этапе проектирования.

При проведении электроразведочных работ методом ВЭЗ необходимо подобрать такое количество разносов АВ, чтобы, с одной стороны, достичь глубины залегания исследуемого горизонта, с другой – избежать излишних затрат времени и ресурсов. Т.е. перед проведением геофизических исследований необходимо ответить на вопрос: достаточно ли планируемого количества разносов, чтобы достичь необходимой глубины исследования?

При определении глубины залегания кровли коренных пород такой вопрос стоит наиболее остро. Для успешного решения такой задачи необходимым условием будет являться не только информация об электрических свойствах вышележащей толщи горных пород, но и электрические характеристики коренных пород.

Известно, что имитационное моделирование является основным инструментом оценки возможностей компьютерных технологий решения обратных задач геофизики. Согласно В.Н. Страхову [5] процесс имитационного моделирования состоит в следующем:

1. Создание набора адекватных реальности числовых моделей изучаемого фрагмента геологической среды или геологического объекта;
2. Расчет аномальных эффектов для каждой из построенных моделей путем решения прямой задачи геофизики;
3. Осложнение полученных модельных полей искусственной помехой с некоторыми ожидаемыми на практике параметрами;
4. Решение целевых задач интерпретации для полученного набора данных, имитирующих изучаемый фрагмент среды или объект;
5. Сопоставление результатов, полученных для набора различных моделей и помех во входных данных
6. Оценка на качественном уровне надежности и точности решения поставленной задачи.

Для определения достаточного количества разносов на питающей линии АВ при определении кровли коренных пород нами моделировались шесть геоэлектрических разрезов, которые отличаются друг от друга своими электрическими свойствами. Помимо этого, предполагается, что максимальная длина полуразноса  $AB/2$  изменяется от 160,0 м до 200,0 м, что позволяет изменять эффективную глубину зондирования  $Z_{эф}$ . Разрезы включают в себя четыре горизонтальных слоя с различными электрическими сопротивлениями. Сведения о мощностях и электрических сопротивлениях каждого отдельного слоя представлены в табл. 1.

Таблица 1. Количество, мощность и электрическое сопротивление слоев

№	Литологический состав слоя	Мощность, м	Глубина кровли, м	УЭС слоев модели, Ом [3]
1	Почвенно-растительный слой (ПРС)	0,3	0,0	500,0
2	Песок	20,0	0,3	1500,0
3	Суглинок/ Глина/ Песок влажный	35,0	20,3	50,0/20,0/300,0
4	Известняк	∞	55,3	5000,0

Исследование реализовано с помощью программы «Модель2», предназначенного для численного моделирования данных ВЭЗ и МТЗ. В «Модель2» воссозданы геоэлектрические разрезы с различными значениями УЭС и мощностями горизонтов, заданы необходимые шаги увеличения разносов, их количество, а также расстояние между пикетами. В результате решения прямой задачи получен набор модельных кривых ВЭЗ.

Дальнейшая обработка и интерпретация кривых ВЭЗ осуществлялась в программе «Зонд2»: проведены интерполяция и сглаживание данных с определенным шагом, качественная и количественная интерпретация, в результате которых получены разрезы кажущихся сопротивлений и геоэлектрические разрезы [7].

Первый (ПРС), второй (Песок) и опорный (Известняк) горизонты сложены одними и теми же породами во всех 6 разрезах и имеют одинаковые мощности и электрические характеристики. Третий горизонт представлен суглинками на 1 и 2 разрезе, на 3 и 4 разрезе – глинами, на 5 и 6 – влажными песками.

Для визуализации кривых зондирования подобраны разносы, которые представлены в табл. 2.

Таблица 2. Полуразносы питающей линии АВ

АВ/2,	1,0	1,25	1,6	2,0	2,5	3,2	4,0	5,0	6,3	8,0	10,0	12,5
м	16,0	20,0	25,0	32,0	40,0	50,0	63,0	80,0	100,0	125,0	160,0	200,0

Геоэлектрические разрезы, полученные в результате интерпретации модельных данных представлены на рисунке.

Опорный горизонт первого геоэлектрического разреза характеризуется сопротивлениями от 520 до 810 Ом (среднее – 642 Ом); второго разреза – от 2010 до 5000 Ом (среднее – 3512 Ом); третьего – от 180 до 1130 Ом (среднее – 609 Ом); четвертого – от 5000 до 5300 Ом (среднее – 5060 Ом); пятого – от 3110 до 5000 Ом (среднее – 4242 Ом), шестого – от 3300 до 6800 Ом (среднее – 4840,0 Ом).

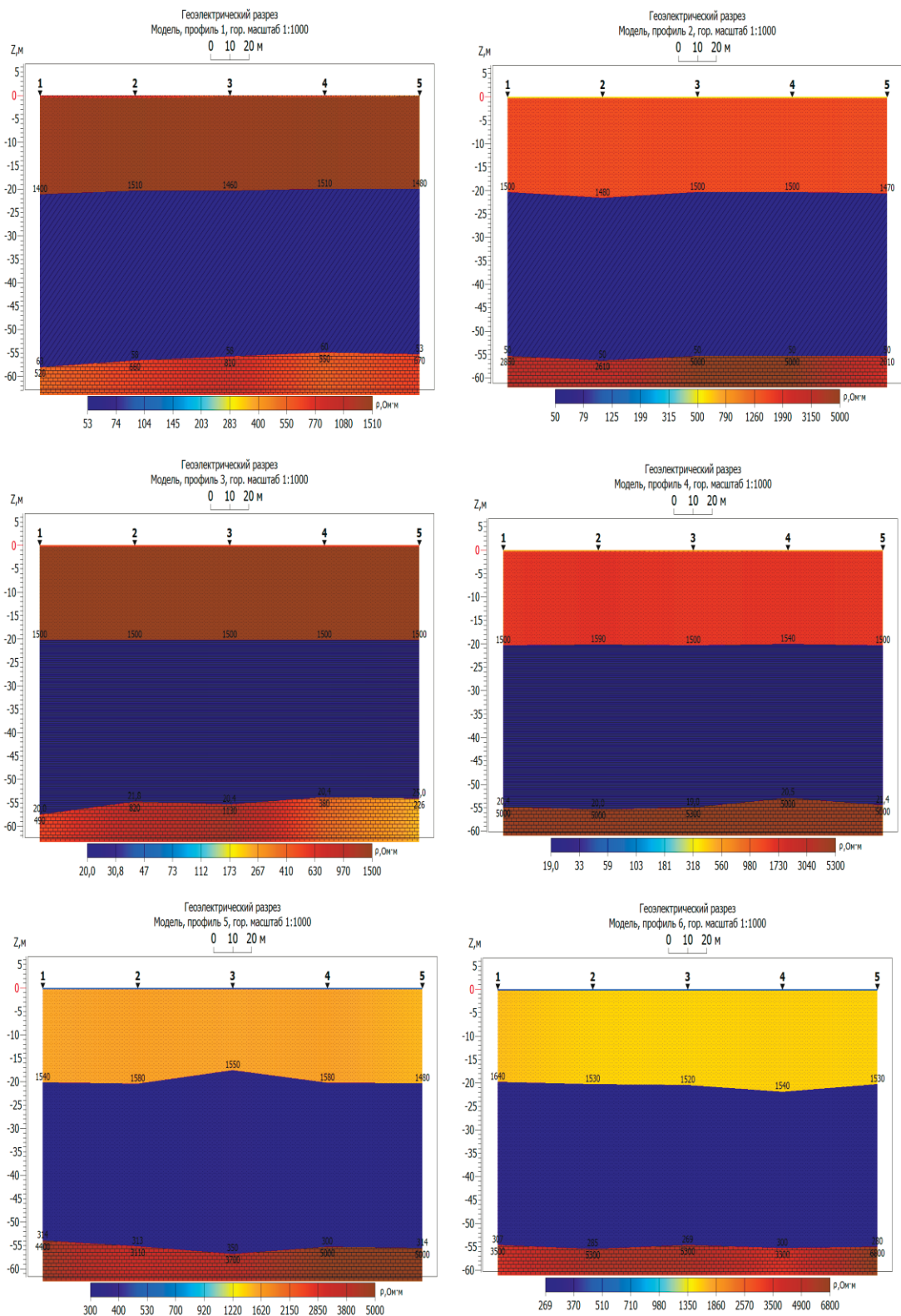


Рис. Геоэлектрические разрезы по профилям 1–6

Поскольку для разрезов 2, 4 и 6 максимальный полуразнос  $AB/2$  составлял 200,0 м, то для них количество точек кривой ВЭЗ, глубина которых больше глубины залегания кровли известняков, будет равно 3. Максимальное соотношение УЭС между 4-м и 3-м слоями имеют 3-й и 4-й разрезы – УЭС отличаются в 250 раз, 5-й и 6-й разрезы имеют минимальное соотношение – у них УЭС отличается

в 16,67 раз. Таким образом, 3-й и 4-й разрезы характеризуются наибольшей контрастностью электрических свойств, а 5-й и 6-й – наименьшей. Значения сопротивлений 4-го и 6-го разрезов ближе всего к значениям сопротивлений опорного горизонта модельных данных. Это объясняется тем, что для данных профилей максимальный полуразнос составлял 200 м, однако опорный горизонт 2-го разреза, для которого максимальный АВ/2 также составлял 200 м, отличается относительно низкими сопротивлениями. Опорный горизонт 5-го разреза также обладает сопротивлениями близкими к сопротивлениям опорного горизонта модельных данных, что можно объяснить низкой контрастностью электрических свойств 3-го и 4-го слоёв. Результаты исследования представлены в табл. 3.

Таблица 3. Результаты исследования

№ разреза	АВ/2 макс, м	Состав, перекрывающего опорный горизонт, слоя	Кол-во разностей на опорный горизонт	Соотношение УЭС 4 и 3 слоёв по модельным данным	Среднее УЭС опорного горизонта, Ом	Относительная погрешность измерения УЭС опорного горизонта, %
1	160,0	Суглинок	2	100,00	642	87,2
2	200,0	Суглинок	3	100,00	3512	29,8
3	160,0	Глина	2	250,00	609	87,8
4	200,0	Глина	3	250,00	5060	1,2
5	160,0	Песок влажный	2	16,67	4242	15,2
6	200,0	Песок влажный	3	16,67	4840	3,2

Как известно, любой геофизический метод может быть успешно применен в том случае, когда изучаемая геологическая среда обладает высокой контрастностью физических свойств [1,3]. Однако в случае электроразведки методом сопротивлений, высокая контрастность может приводить к увеличению абсолютной погрешности измерения. Это связано с тем, что измеряемый параметр, кажущееся сопротивление, отражает интегральное значение УЭС от поверхности до эффективной глубины [2]. Данное свойство кажущегося сопротивления приводит к тому, что на определение УЭС нижележащего слоя оказывает влияние УЭС вышележащего слоя.

По результатам исследования видно, что погрешность измерения УЭС опорного горизонта разрезов 1 и 3, обладающих наибольшей контрастностью электрических свойств, наибольшая, 87,2 % и 87,8% соответственно. Однако такая зависимость прослеживается только для разрезов, на опорных горизонтах которых приходится 2 разности. В случае, когда на опорный горизонт приходится 3 разности, погрешность измерения значительно снижается, так для разрезов 1 и 3 она равна 29,8% и 1,2%.

Таким образом, увеличение количества разностей характеризующих горизонт приводит к резкому снижению погрешности определения УЭС, при этом зависимость погрешности от степени контрастности весьма сложная: увеличение разностей для наиболее ( $\rho_4/\rho_3 = 250$ ) и наименее контрастных ( $\rho_4/\rho_3 = 16,67$ ) разрезов



приводит к резкому понижению погрешности, в то время как для разреза со средней степенью контрастности ( $\rho_4/\rho_3 = 100$ ) погрешность уменьшилась не так значительно.

Также помимо количества разносов, приходящих на горизонт, на измеряемые значения электрического сопротивления влияют эффективная глубина разносов, которая зависит от расстояния АВ и степени анизотропии геологической среды.

#### **Библиографический список**

1. *Костицын В.И. Хмелевской В.К.* Основы геофизических методов. Пермь: издательство ПГНИУ, 2010. 400 с.
2. *Марченко М.Н.* Вертикальное электрическое зондирование. Учебное пособие М.: издательство МГУ, 2013. 28 с.
3. *Матвеев Б.К.* Электроразведка. М: издательство «НЕДРА», 1990. 368 с.
4. РСН 64-87 Инженерные изыскания для строительства. Технические требования к производству геофизических работ. Электроразведка.
5. *Страхов В.Н.* Новое в геофизике и геоинформатике. М.: ИФЗ РАН, 2005. 133 с.
6. СП 11-105-97 Инженерно-геологические изыскания для строительства. Часть 6. Правила производства геофизических исследований.
7. Краткое руководство по работе с программным комплексом «Зонд 2». Пермь, 2017. 54 с.