

ФИЗИКА ГОРНЫХ ПОРОД

УДК 624.131.5:622.02

Н. Ю. Никулин, С. М. Простов, О. В. Герасимов

КОМПЛЕКСНЫЙ ГЕОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ СОСТОЯНИЯ И СВОЙСТВ ГРУНТОВОГО ОСНОВАНИЯ ГОРНОТЕХНИЧЕСКОГО СОРУЖЕНИЯ

Георадиолокационное зондирование (ГЗ) является уникальным методом изучения контрастных по электромагнитным свойствам слоистых сред. Наличие в геологическом разрезе локальных неоднородностей, воздушных и подземных коммуникаций осложняет интерпретацию георадиолокационных данных (радарограм)*.

Опыт ранее проведенных работ по изучению состояния и свойств грунтового массива [1, 2] по-

казал целесообразность использования метода ГЗ в комплексе с другими геофизическими и прямыми геологическими методами. В качестве вспомогательного геофизического метода хорошо зарекомендовал себя метод вертикального электрического зондирования (ВЭЗ), который позволяет оценить электрофизические свойства грунтов, в то время как метод ГЗ дает возможность установить границы распространения геоло-

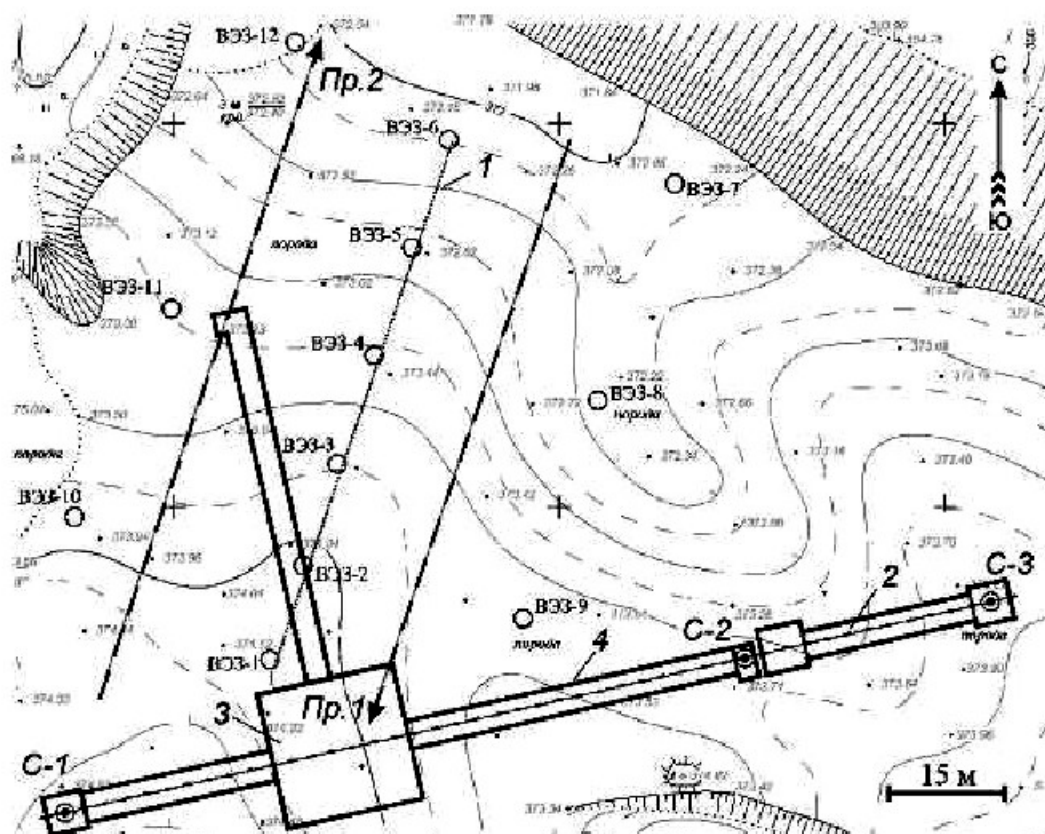


Рис. 1. Схема участка работ: ВЭЗ-1-12 – точки вертикального электрического зондирования; С-1-3 – инженерно-геологическая скважина; 1 – профиль геоэлектрического разреза; 2 – профиль инженерно-геологического разреза; 3 – обогатительный корпус; 4 – контур обогатительной установки; Пр. 1-2 – профили георадиолокационного зондирования

* Работа выполнена в рамках реализации ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009–2013 годы

гических элементов в плане и по глубине, что взаимодополняет эти методы. Физико-механические свойства грунтов определяют путем инженерно-геологических изысканий и лабора-

торных исследований. Методика комплексного геолого-геофизического мониторинга приведена на блок-схеме (рис. 2).

Ниже рассмотрена реализация комплекса геофизических и инженерно-геологических методов при мониторинге на проблемном участке строительства обогатительной установки «Краснобродского угольного разреза» (поле «Вахрушевское»). Схема участка работ приведена на рис. 1.

Исследуемый участок располагался на территории Прокопьевского района Кемеровской области, на юго-западной окраине г. Киселевска. Площадка находится на действующем предпри-

яти, территория которого характеризуется наличием множества коммуникаций и сооружений (логические автодороги, линии ВЛ-6 кВ, ж/д пути). Район работ имеет сложный рельеф, образовавшийся в результате ведения горных работ и имеет полностью техногенное происхождение.

Изучение свойств грунтов включало инженерно-геологические изыскания и геофизические работы. Точки и профили измерений представлены на рис. 1.

По данным бурения построен инженерно-геологический разрез по профилю С1-С2-С3 вдоль галерей, который до глубины 20,0 м представлен

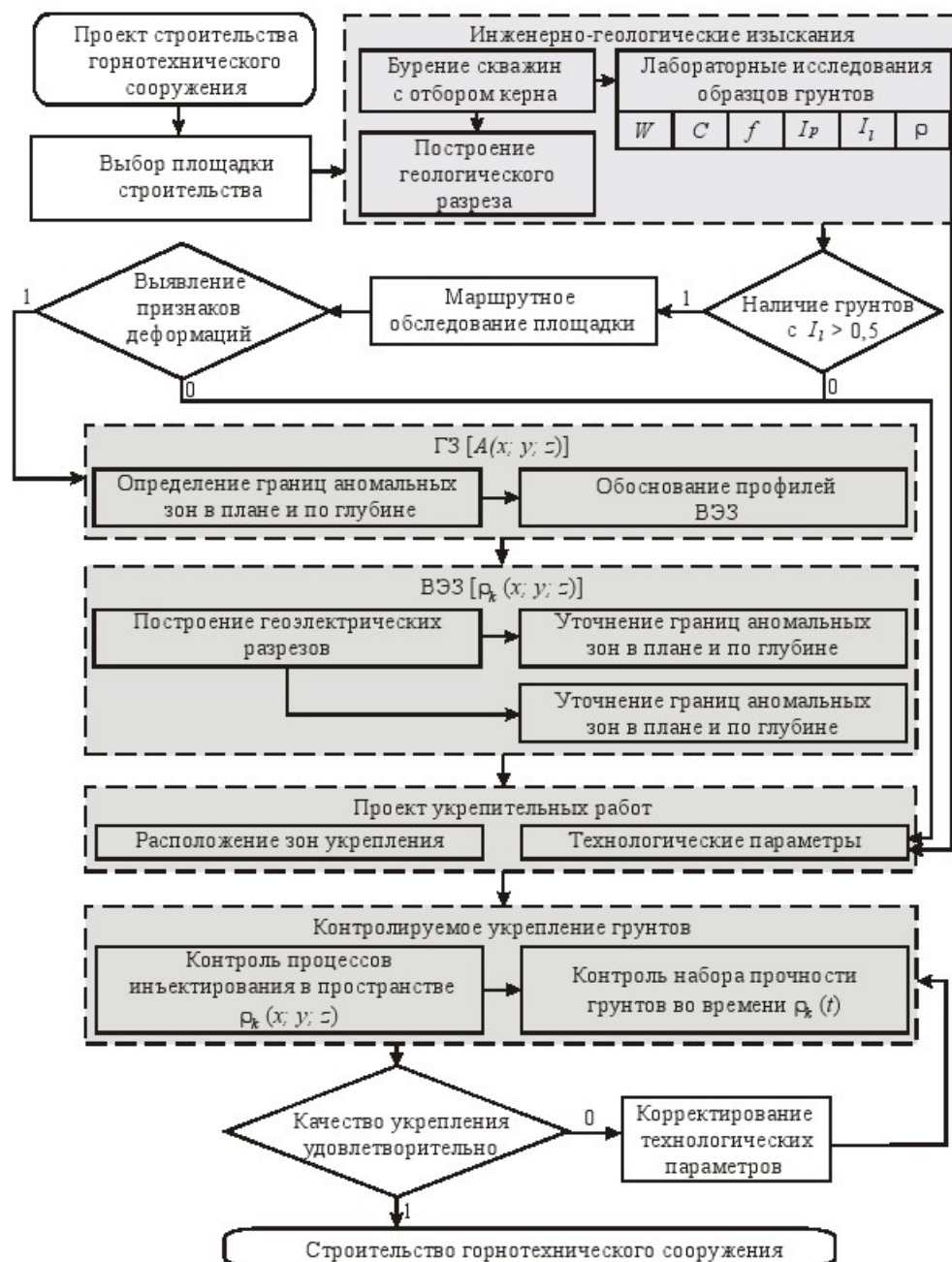


Рис.2. Алгоритм геолого-геофизического мониторинга при укреплении грунтовых оснований и сооружений: W – влажность; C – сцепление; φ – угол внутреннего трения; I_p – число пластичности; I_t – показатель текучести; ρ – плотность; A – амплитуда отраженного сигнала; ρ_k – эффективное УЭС; x, y, z – координаты; t – время

*Таблица 1. Физико-механические свойства грунтов

№ скв.	Глубина отбора, м	Природная влажность W	Число пластичности I_p	Показатель текучести I_L	Плотность $\rho, \text{г/см}^3$
1	2,0	0,09	0,12	0,75	-
	3,0	0,24	0,13	0,15	2,02
	6,0	0,11	0,12	0,50	2,07
2	3,0	0,09	0,10	0,80	2,08
	8,0	0,14	0,13	0,54	2,05
3	2,0	0,07	0,07	1,30	-
	5,0	0,12	0,08	0,75	-
	8,0	0,16	0,07	0,43	-

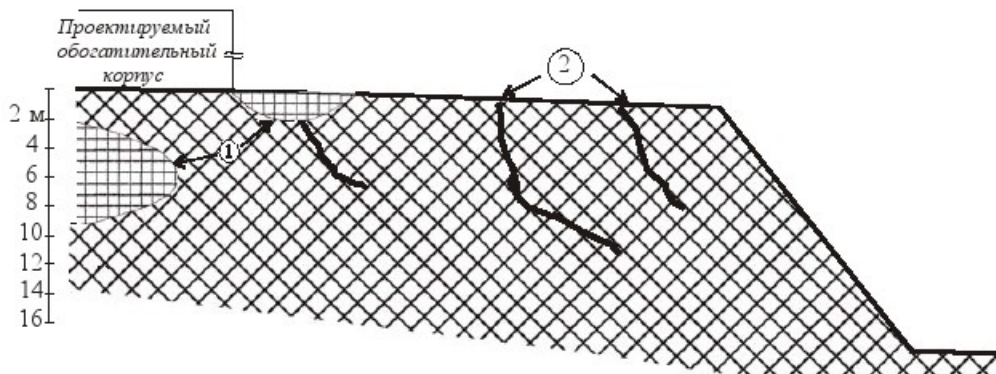


Рис 3. Схема процесса оползнеобразования:

1 – зона интенсивного разуплотнения; 2 – трещины отрыва

отложениями современного возраста (t_{QIV}) в виде смеси дресвы, щебня, глыб, супесчаного и песчаного материала, с глубины 0,5–1,0 м представлен насыпным суглинком серым, темно-серым до черно-серого, твердым с дресвой и щебнем. Обломки представлены осадочными породами, преимущественно песчаниками, выветрелыми, малой прочности. Грунт имеет повсеместное распространение, залегает с поверхности однородным слоем.

По результатам лабораторного изучения грунтов получены основные физико-механические характеристики, которые приведены в табл. 1.

Параллельно инженерно-геологическим изысканиям было проведено маршрутное обследование, в ходе которого на поверхности площадки в северо-восточной части выявлены трещины отрыва оползневого характера, свидетельствующие о частичном смещении грунтовых масс в сторону незакрепленного откоса. Образование трещин объясняется тем, что с северо-восточной стороны площадки насыпные грунты не имеют подпора, откос насыпи при высоте 15–17 м не укреплен, поэтому в северо-восточном направлении происходит разуплотнение грунтового массива и смещение грунтовых масс. Схема оползнеобразования на участке приведена на рис. 3.

Для разработки мероприятий по ликвидации опасных процессов, было принято решение о проведении геофизических работ по выявлению и оконтуриванию аномальных разуплотненных зон.

Геофизические изыскания были разделены на следующие этапы:

– предварительная оценка расположения ано-

мальных зон методом ГЗ;

– дополнение и подтверждение георадиолокационных данных, изучение электрофизических свойств массива методом ВЭЗ.

ГЗ производилось аппаратурой ОКО-2 с антенным блоком АБ-150, что позволило изучать массив на глубину до 10 м. Зондирование было проведено по профилям (см. рис. 2) в северо-восточной части площадки в местах интенсивного проявления процессов трещинообразования.

Для интерпретации данных георадиолокационной съемки использовалась измерительная программа Geoscan 32 (ООО «ЛОГИС») и результаты электроразведки.

Результаты георадиолокационного зондирования представлены в виде радарограмм, совмещенных с данными электрических зондирований (рис. 4), что позволило выявить аномальные зоны (зоны интенсивного разуплотнения грунта и скрытые трещины отрыва). Скрытые трещины отрыва выявлены в северной части площадки на расстоянии 20–90 м от бровки откоса.

В южной части площадки в районе проектируемого строительства обогатительного корпуса на глубине 3–10 м обнаружена аномальная зона, представленная разуплотненным увлажненным грунтом.

Для уточнения границ распространения аномальных зон и расчленения полученных радарограмм на слои по электрофизическим свойствам было проведено ВЭЗ.

Зондирования выполнялись низкочастотной электроразведочной аппаратурой типа «Березка»

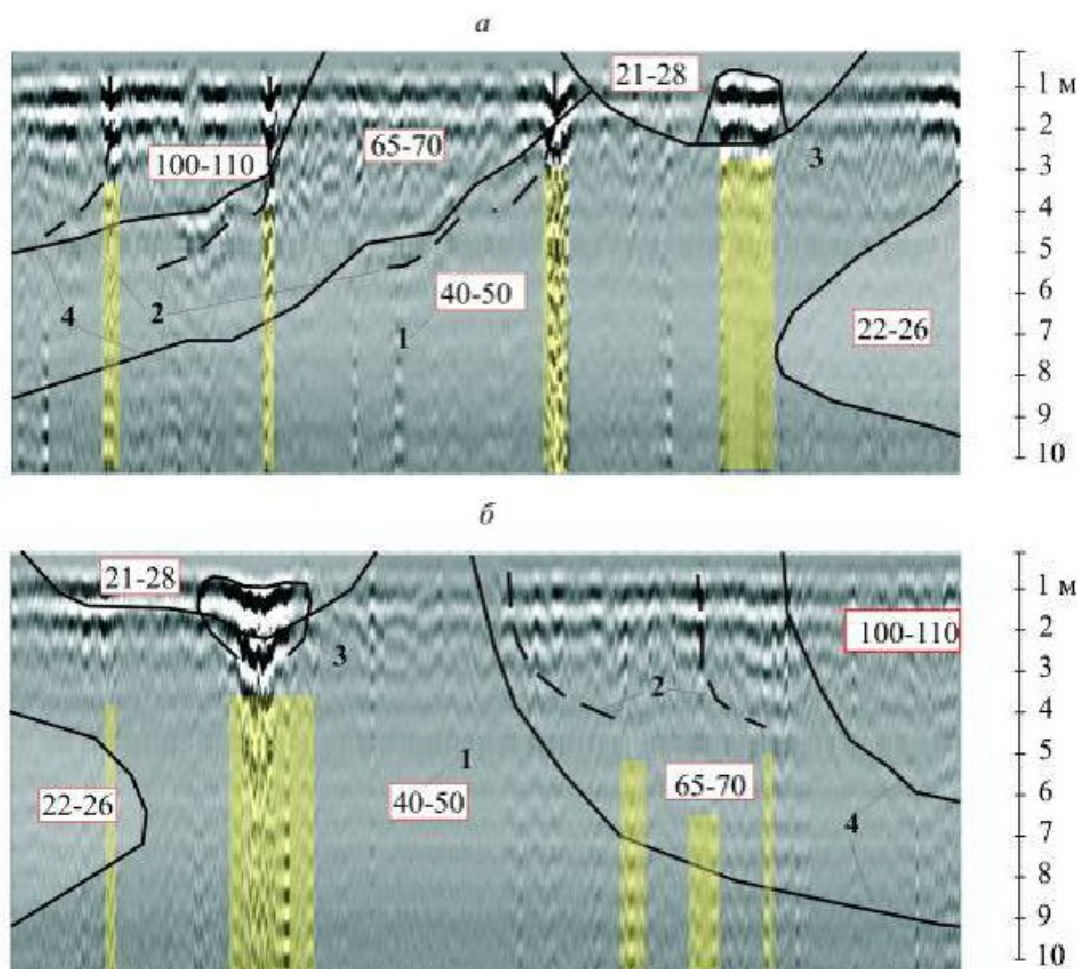


Рис. 4. Радарограммы по профилям 1 (а) и 2 (б): 1 – диапазон УЭС; 2 – трещины отрыва; 3 – зона интенсивного разуплотнения; 4 – граница геоэлектрических слоев

на частоте $f = 4,88$ Гц симметричной установкой $AMNB$ с максимальными разносами питающей линии $AB = 110$ м.

Точки ВЭЗ располагались так, чтобы перекрыть площадь с наиболее интенсивным проявлением оползневых процессов в северо-восточной части участка.

Для построения геоэлектрического разреза между профилями ГЗ проведены ВЭЗ с максимальным сгущением вдоль линии профиля центрального участка (ВЭЗ-1-6) с интервалом до 30 м.

Результаты интерактивной интерпретации профиля ВЭЗ-2-6 в компьютерной программе IPI2WIN приведены на рис. 5.

Построенный вдоль этой линии геоэлектрический разрез расчленен на следующие зоны по электрофизическим свойствам:

Номер зоны	1	2	3	4
Диапазон УЭС, Ом·м	0–30	30–60	60–90	90–120

Часть разреза, приближенная к откосу насыпи, преимущественно представлена высокоомными грунтами, эффективное УЭС составило ($\rho_k = 70-110$ Ом·м), что интерпретируется как насыпной крупнообломочный грунт.

В районе, примыкающему к обогатительному корпусу, на глубине 3–13 м залегают низкоомные грунты ($\rho_k = 22$ Ом·м), что свидетельствует о разуплотнении и водонасыщенности грунтов.

Результаты ВЭЗ-2 и ВЭЗ-3 также выявили поверхностное влагонасыщение грунтов на глубину до 1,5 м.

Таким образом, исследуемый техногенный массив слагают насыпные грунты, обладающие высокой водопроницаемостью, поэтому их разуплотнение приводит к резкому водонасыщению, что отображается аномально низкими значениями УЭС.

Также по результатам ВЭЗ были построены карты изоом (рис. 6) для разносов $AB = 6, 22$ и 44 м, что согласно рекомендациям, изложенным в [3], соответствует глубине зондирования $h = 1, 3,6$ и $7,3$ м.

Анализ построенных карт подтвердил расположение аномальных низкоомных разуплотненных грунтов в районе обогатительного корпуса, и высокоомных грунтов, представленных трещиноватыми и крупнообломочными насыпными грунтами, в северо-восточной части площадки. Полученные результаты позволили выявить и установить границы распространения аномальных

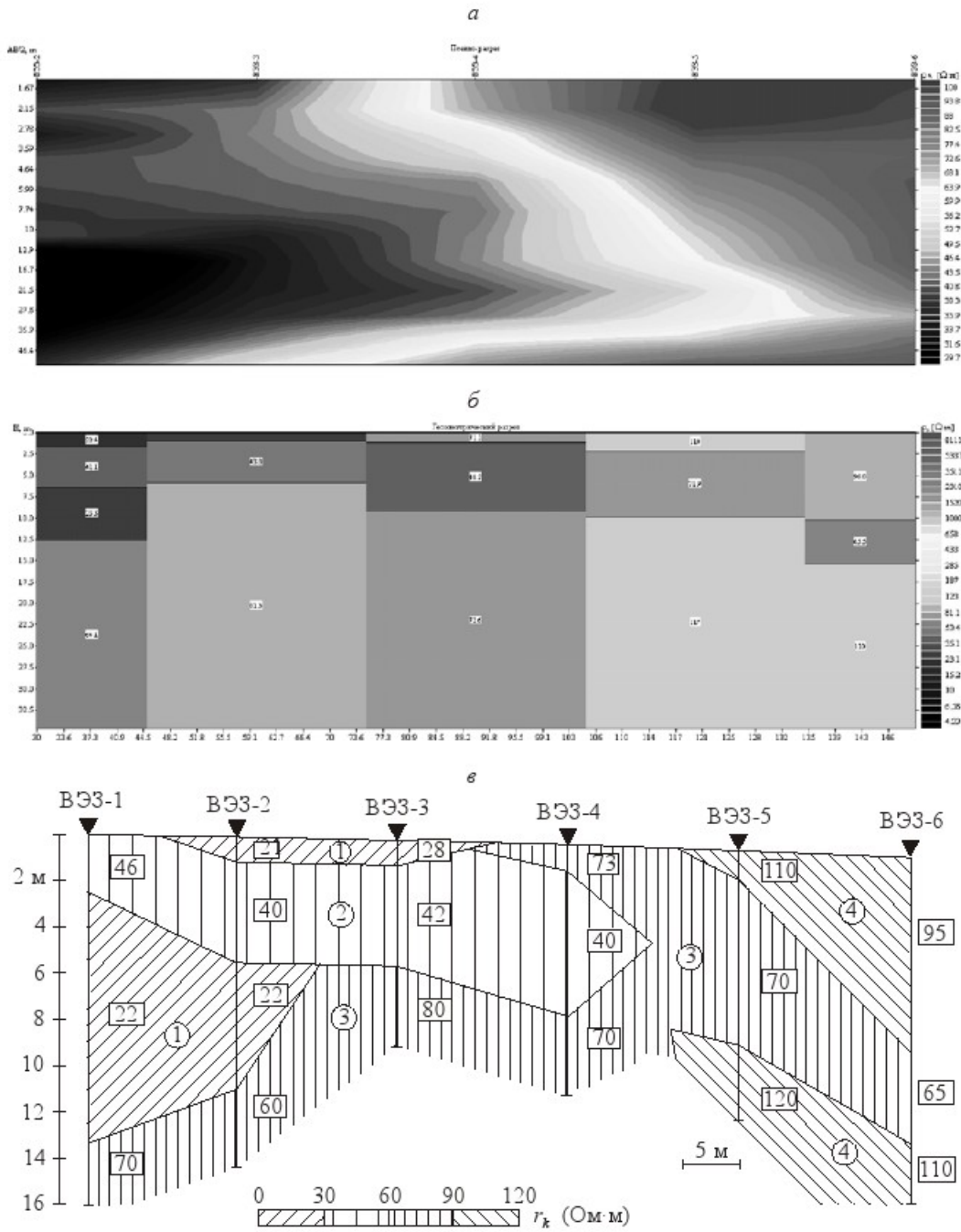


Рис. 5. Результаты интерпретации ВЭЗ, разрез эффективных (а) и истинных УЭС (б), полученные в результате компьютерной инверсии ВЭЗ, геоэлектрический разрез, полученный путем интерактивной интерпретации ВЭЗ (в): **42** – величина УЭС; 1–4 – зоны геоэлектрического разреза

зон в плане и по глубине, оконтурить зону развития оползневых процессов. Данные зоны возникают в результате разуплотнения грунтов в процессе частичного смещения грунтовых масс в сторону незакрепленного откоса грунтовой насыпи.

Для обеспечения устойчивости грунтового массива и предотвращения дальнейшего развития опасных процессов локального разуплотнения рекомендовано выполнить следующие мероприя-

тия:

- укрепить откос насыпи в северо-восточной части площадки с помощью поярусной отсыпки с целью предотвращения процессов оползания и разуплотнения;

- провести упрочнение грунтов под фундаментами методом высоконапорной инъекции цементно-песчаных растворов с целью снижения влияния оползневых процессов и разуплотнения грунтов в основании сооружения.

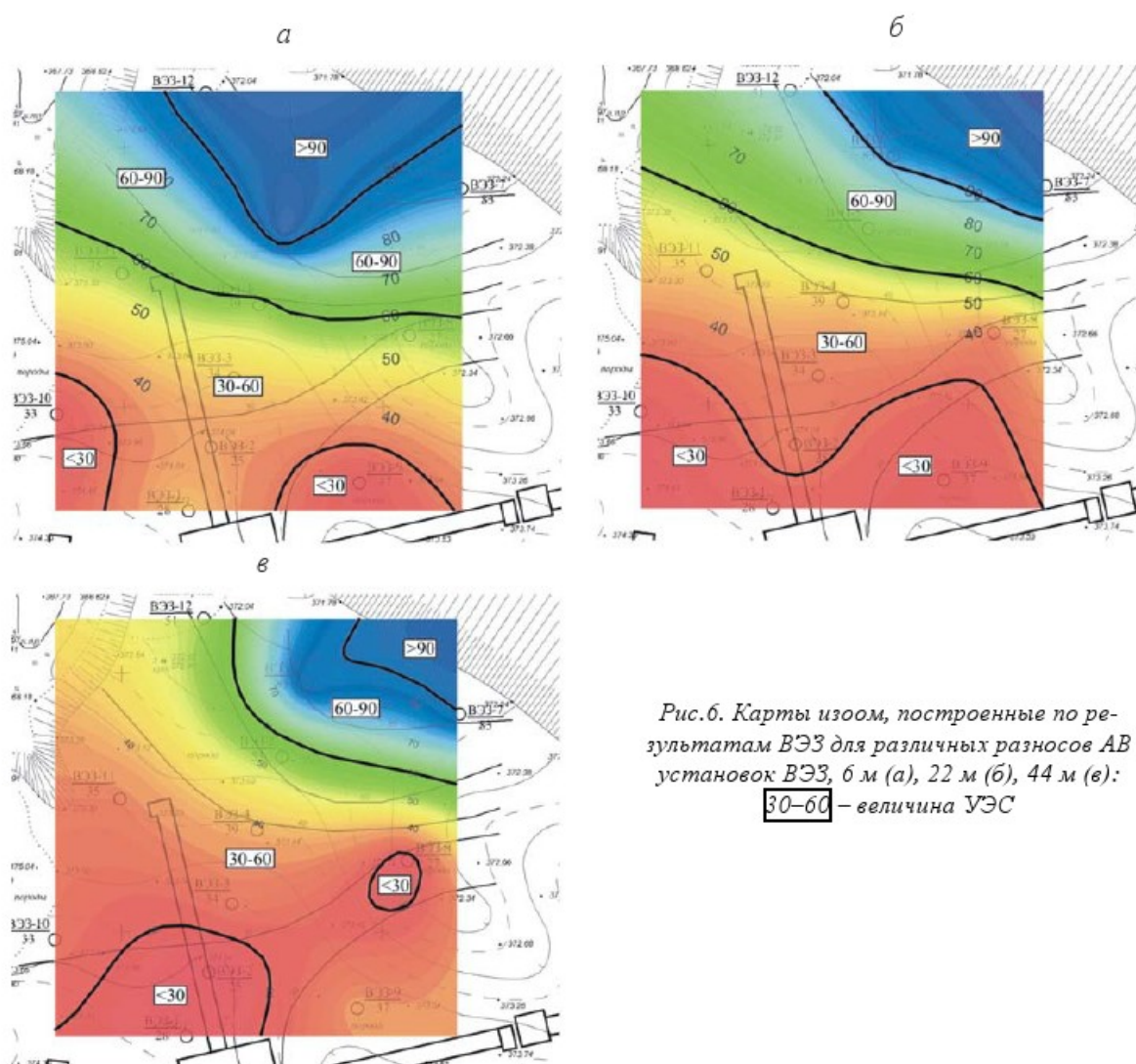


Рис. 6. Карты изоом, построенные по результатам ВЭЗ для различных разнесов АВ установок ВЭЗ, 6 м (а), 22 м (б), 44 м (в):
30-60 – величина УЭС

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Никулин, Н. Ю. Диагностирование состояния и свойств грунтового основания участка железнодорожного пути на угольном разрезе «Краснобродский» / Н. Ю. Никулин, С. М. Простов, Р. Ю. Зима, Е. О. Тихонов // Вестник КузГТУ. – 2010. – №5 (81). – С. 51–56.
2. Никулин, Н. Ю. Диагностирование состояния и свойств грунтов основания надшахтного сооружения / Н. Ю. Никулин, С. М. Простов // ГИАБ. – 2011. – №12. – С. 125–128.
3. Якубовский Ю.В. Электроразведка. М.: Недра, 1973. – 304 с.

□ Авторы статьи

Простов
Сергей Михайлович,
докт. техн. наук, проф. теоретической
и геотехнической механики КузГТУ,
е – mail psm.kem@mail.ru.

Никулин
Николай Юрьевич,
аспирант каф. теоретической и геотехнической механики КузГТУ),
е – mail n.y.nikuln@mail.ru.

Герасимов
Олег Васильевич,
канд. техн. наук, ген. директор
ООО «НООЦЕНТР-Д»,
е – mail administrator@noocentr.ru.