



УДК 624.131.31:550.834:550.837

ПРИМЕНЕНИЕ ГЕОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО МЕТОДА ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ИНЖЕНЕРНО-ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ФОРМИРОВАНИЯ РАСТИТЕЛЬНОГО ПОКРОВА РЕКУЛЬТИВИРУЕМОГО ОТВАЛА РЫХЛЫХ ПОРОД НА ЛГОК

Ю.С. Погорелов
С.В.Сергеев

*Белгородский государственный
национальный исследовательский
университет,
Россия, 308015, г. Белгород,
ул. Победы, 85
E-mail: strojanalit@mail.ru;
Sergeev@bsu.edu.ru*

Изложены методика и результаты геофизического дипольного электропрофилеирования на участках с различным развитием растительного покрова рекультивируемого отвала горных пород на Лебединском горнообогатительном комбинате. Установлено, что псевдоразрез кажущегося электрического сопротивления характеризует неоднородность верхней части насыпного массива по степени дисперсности твердой фазы и водопроницаемости грунта в зоне аэрации и позволяет выделить в нем участки с различными условиями развития растительного покрова, зоны глубинного водосбора. Показано, что геоэлектротометрия может быть эффективно использована для мониторинга рекультивации отвалов при разработке месторождений полезных ископаемых.

Ключевые слова: отвалы горных пород, рекультивация, геофизические методы, электропрофилеирование, растительный покров, насыпной массив, электрическое сопротивление, псевдоразрез, зона аэрации, связанная вода, водопроницаемость, зоны глубинного водосбора, мониторинг.

В процессе рекультивации отвалов карьеров рудников и горнообогатительных комбинатов большое значение имеет правильное формирование почвенно-литологического разреза, искусственно создаваемого в приповерхностном слое отвалов при отсыпке грунтов. Это определяет в дальнейшем характер развития на склонах отвалов травяной и древесной растительности, способствующей стабилизации поверхности откосов и влияющей в той или иной степени на экологическую обстановку в окрестности отвалов.

При изучении почвенно-литологических разрезов и гидрогеологических условий на данных участках весьма перспективным представляется применение современных методов инженерно-гидрогеологической геофизики.

Несомненным преимуществом геофизических методов является возможность оперативного и малозатратного получения информации о физических свойствах значительных по масштабам объемов исследуемого грунтового массива без нарушения его целостности и с различной степенью детальности.

Как известно [1], физико-механические и фильтрационные свойства насыпных грунтов в значительной мере зависят от их литологического состава.

Наиболее приемлемым геофизическим методом для изучения литологического состава грунтов на объектах промышленной зоны является кондукционная (электродная) модификация электрического метода геофизики, данные которой не искажаются наземными объектами (в отличие от георадарного метода) и акустическими шумами (в отличие от сейсмического метода), и, в значительно меньшей мере, чем в индукционной модификации электрического метода – приповерхностными металлическими предметами (рельсами и кабелями).

Принимая во внимание разнообразие условий и форм исследуемого объекта, постановка геофизического метода осуществлялась в пределах его рекультивируемой площади, на основных типах участков, находящихся в различных горно-природных условиях, с различной степенью развития на них растительного покрова:

- 1) участок со сроком формирования не менее 1 года, характеризуется начальным этапом образования растительного покрова;
- 2) участок с менее 3-х летним сроком формированием поверхностного слоя, с наличием на нем травяного покрова и отсутствием древесной растительности;
- 3) участок с более 3-х летним сроком формирования поверхностного слоя грунта, наличием на нем многолетнего травяного покрова и древесной растительности.

Выбранные участки геофизических исследований отвала представлены в дальнейшем изложении профилями 1, 2 и 3 (ПР 1, ПР 2 и ПР 3), соответственно.

Для обеспечения компактности измерительной установки и примерно одинаковой ее чувствительности к различным типам неоднородности грунтов, в качестве оптимального, использовался дипольный (осевой) вариант электропрофилирования (ДЭП).

С целью дифференциации геофизических данных по глубине исследования, измерения по всем разведочным профилям проведены на двух разносах измерительной установки – 1.5 и 5.0 м. Как показали результаты параметрических измерений, на исследуемых участках наблюдается благоприятный для кондукционной электроразведки тип геоэлектрического разреза (отсутствие проводящих и непроводящих субгоризонтальных электрических экранов) и поэтому указанными выше разносами достигается поинтервальное изучение объемов грунта на максимальную для этих разносов глубину 0.75 и 2.5 м, соответственно.

Условия применения электрического метода геофизики на участке работ достаточно сложные: при измерениях отмечались интенсивные электрические помехи, присутствовал также ряд факторов, затрудняющих заземление электродов и способных вносить искажения в данные электрометрических измерений (наличие щебня в поверхностном слое грунта, сложный рельеф местности и т. п.).

Геофизические работы выполнены с современной цифровой компьютеризированной электроразведочной аппаратурой марки ЭРП-1 российско-украинского производства (г. Севастополь) и специализированными переносными электродами из комплекта отечественной аппаратуры марки АНЧ.

Шаг точек измерения по профилям (ПК) составлял 5 м. Для оценки точности полученных данных электропрофилирования выполнено 10% контрольных измерений. Среднеквадратичная погрешность измерений составила 2.1%, что характеризует достаточно высокое качество выполненных полевых работ.

Построенные по первичным данным кривые кажущегося электрического сопротивления ρ_k (рис. 1) имеют довольно сложную форму (что указывает на значительную неоднородность грунтов отвала) и отличаются по своему среднему уровню значений ρ_k на различных участках (что указывает на различные условия формирования грунта на данных участках).

Для количественной оценки характера неоднородности грунтов отвала на исследованных участках использовались параметры вертикальной и горизонтальной, относительной и абсолютной неоднородности массива.

Параметр вертикальной неоднородности массива определяется как отношение измеренных значений ρ_k в каждой точке профиля при различных разносах измерительной установки:

$$P_{\text{вн}} = \rho_{k, 5 \text{ м}} / \rho_{k, 1.5 \text{ м}};$$

относительной – по вертикальному направлению, абсолютной – без учета направления.

Параметр горизонтальной неоднородности массива определяется, как соотношение измеренных значений ρ_k в соседних точках профиля:

$$P_{\text{гн}} = \rho_{k, n+1} / \rho_{k, n};$$

относительной – по направлению профиля, абсолютной – без учета направления; вычисляется отдельно для каждого разноса измерительной установки ($P_{\text{гн}, 1.5 \text{ м}}$, $P_{\text{гн}, 5 \text{ м}}$) и характеризует горизонтальную неоднородность массива на соответствующих интервалах глубин.

Максимальное значение параметра вертикальной неоднородности массива по всем профилям составляет 4.96 и отмечается в интервале ПК 7 ПР 3, минимальное –



0.25 и отмечается в интервале ПК 1 ПР 1 (табл. 1 и рис. 2). Наибольшим средним уровнем значений этого параметра (2.52) характеризуется ПР 1.

Таблица 1

Характерные значения параметра вертикальной неоднородности грунтов

ПР №	максимальные		минимальные		средние
	величина	интервал	величина	интервал	
1	4.24	ПК 3	0.250	ПК 1	2.52
2	1.66	ПК 5	0.337	ПК 1	1.67
3	4.96	ПК 7	0.346	ПК 2	2.35

Максимальное значение параметра горизонтальной неоднородности массива составляет по профилям, соответственно: 95, 71и 79% (табл. 2 и рис. 3 и 4).

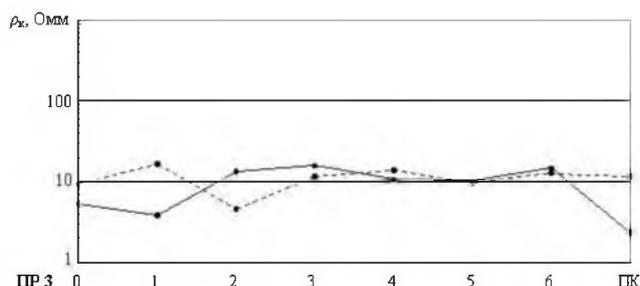
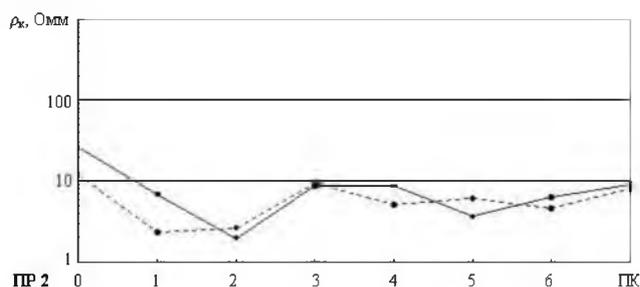
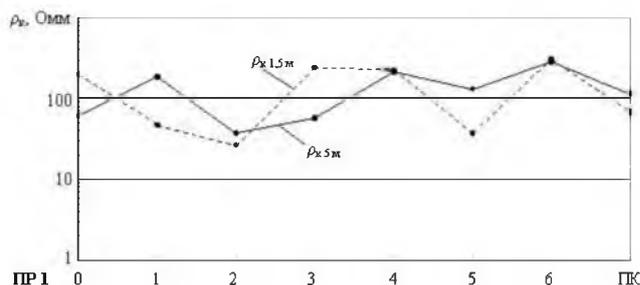


Рис. 1. Графики кажущегося электрического сопротивления ρ_k ДЭП

и более) отмечаются на интервалах ПК 3 ... 4 и ПК 6 ПР 1 во всем исследованном интервале глубин разреза. Экстремально высокое значение (305 Ом) зафиксировано на ПК 6 ПР 1 в верхней части разреза.

Средний уровень значений ρ_k дифференцируется по профилям следующим образом: наиболее низкий уровень (7.61 Ом) отмечается на ПР 2; средний уровень (104, Ом) – на ПР 3; наиболее высокий (140 Ом) – на ПР 1; при этом средний уровень

Построенный по обработанным данным ДЭП псевдоразрез ρ_k , отражающий основные черты изменения удельного электрического сопротивления грунтов в разрезе на исследуемых участках, характеризуется заметной неоднородностью, как по горизонтали, так и с глубиной (рис. 5); при этом уровень значений ρ_k варьирует в пределах от 1.99 до 305 Ом – т. е. изменяется более чем в 150 раз. Основной характер неоднородности псевдоразреза ρ_k – специфический, почти не встречающийся на природных объектах естественного сложения, с субвертикальной направленностью изолиний ρ_k .

Локальная зона минимальных значений ρ_k (значения менее 2.0 Ом), отмечается в интервале ПК 1 ... 2 ПР 2 во всем исследованном интервале глубин разреза (с эпицентром на ПК 2 ПР 2 в нижней части разреза). Небольшая зона пониженных значений (2.3 Ом и менее) отмечается также на ПК 7 ПР 3 в нижней части исследованного интервала глубин.

Локальные зоны максимальных значений кажущегося электрического сопротивления грунта (достигающих 200 Ом

значений ρ_k , увеличивается относительно минимального, отмечающегося на ПР 2, в 1.37 раза на ПР 3 и в 18.4 раза на ПР 1.

Таблица 2

Максимальные изменения параметра горизонтальной неоднородности грунтов

ПР №	Верхний интервал исследования		Нижний интервал исследования	
	величина	интервал	величина	интервал
1	95.9 %	ПК 2 ... ПК 3	69.1 %	ПК 1 ... ПК 2
2	71.6 %	ПК 0 ... ПК 1	65.3 %	ПК 2 ... ПК 3
3	55.6 %	ПК 1 ... ПК 2	79.6 %	ПК 6 ... ПК 7

При инженерно-геологической интерпретации данных ДЭП исходим из того, что изучаемая часть насыпного массива отвала сложена рыхлыми грунтами и является

искусственным продолжением зоны аэрации, удельное электрическое сопротивление основных фракций рыхлых пород в которой тем больше, чем крупнее размер частиц их твердой фазы.

Как известно, основным проводником электрического тока в грунтах зоны аэрации является связанная вода, адсорбированная твердой фазой грунта. Поэтому величина электрического сопротивления грунтов в этой зоне (как величина, обратная электропроводности) характеризует в обратной зависимости степень дисперсности их твердой фазы.

Вместе с тем, чем более диспергирована твердая фаза грунта, тем большее сопротивление она оказывает фильтрующейся через грунт свободной (гравитационной) воде. Поэтому и, с учетом выше указанного, удельное электрическое сопротивление грунтов зоны аэрации определяет в обратной зависимости их фильтрационное сопротивление и в прямой – их водопроницаемость (величину, обратную фильтрационному сопротивлению).

Средние величины характерных значений удельного электрического сопротивления в зоне

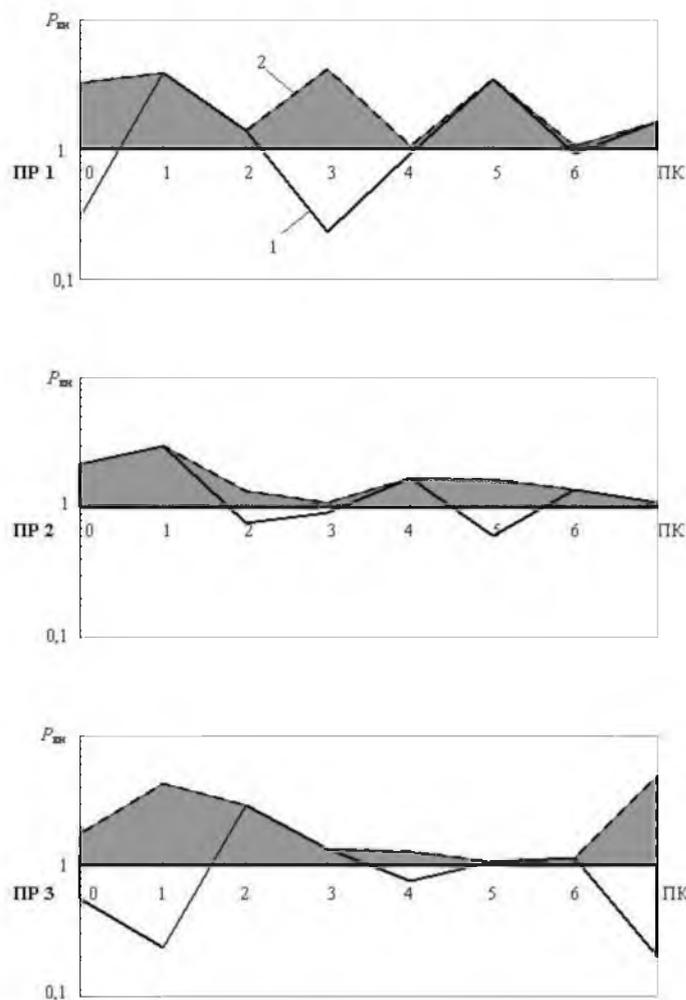


Рис. 2. Графики параметров относительной (1) и абсолютной (2) вертикальной неоднородности грунтов

аэрации примерно составляют: для тонкозернистой (глинистой) фракции твердой фазы грунта – 10 Омм и менее, для песчаной и грубозернистой фракции – 100 Омм и более; для переходных разностей: суглинков – около 25 Омм, супесей – 40 Омм; для присутствующей в данном массиве фракции мело-мергельного состава – 60 Омм. Удельное электрическое сопротивление грунтов, включающих более крупные фракции (дресву, щебень скальных пород), имеет, в целом, более высокие значения и, в



свою очередь, зависит от совокупности вышеуказанных разностей, заполняющих промежутки между частицами крупной фракции.

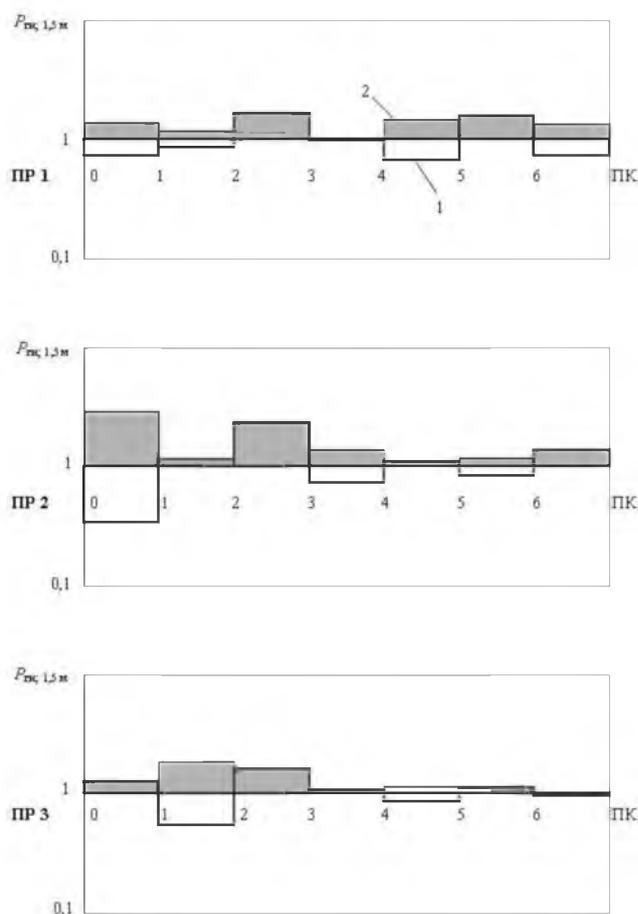


Рис. 3. Диаграммы параметра относительной (1) и абсолютной (2) горизонтальной неоднородности грунтов в верхнем интервале исследования

грунтов соответствует, в основном, уменьшение содержания в них крупной фракции и увеличение содержания мелкозернистой и глинистой фракций, а также общее уплотнение грунта.

С учетом вышеуказанных особенностей изменения удельного электрического сопротивления рыхлых грунтов, а также данных проведенного бурения скважин, полученные геофизические данные позволяют охарактеризовать основные черты литологического состава грунтов изучаемой насыпи следующим образом.

На верхней площадке отвала (ПР 1) залегает относительно «молодой» приповерхностный слой грунта, его слагают еще неуплотнившиеся грунты различного состава, имеющие значительную внутреннюю пустотность, заполненную, в основном, воздухом, и поэтому имеющие также высокую водопроницаемость (см. рис. 5). Этот участок характеризуется также наибольшей неоднородностью грунтов по горизонтали и вертикали (см. табл. 1 и 2 и рис. 2 – 4).

Ниже на площадках отвала (ПР 2 и ПР 3) находится более «старый» (уплотнившийся) приповерхностный слой; его слагают, в основном, грунты смешанного фракционного состава (суглинистого, супесчаного и мело-мергельного), неоднородные по водопроницаемости при среднем уровне этой величины.

В интервале ПК 2 ПР 2 массив отвала включает субвертикально залегающее грунтовое тело глинистого состава.

В изучаемой насыпи отвала для отмечающихся (по данным бурения) разностей литологического состава грунтов повышению удельного электрического сопротивления соответствует увеличение содержания в грунтах фракции песчаной фракции, а также каменного (высокоомного) материала (в основном, дресвы и щебня кварцита) и увеличение крупности последнего.

На повышении удельного электрического сопротивления грунтов также сказывается степень разуплотненности грунта (связанная с увеличением пустотности, свободной пористости грунта, заполненной электроизолятором-воздухом), которая повышает общий уровень значений удельного электрического сопротивления грунта. При этом указанная выше зависимость удельного электрического сопротивления грунтов от их фракционного состава на участках, сложенных разуплотненным грунтом, как правило, менее выражена.

Понижению удельного электрического сопротивления

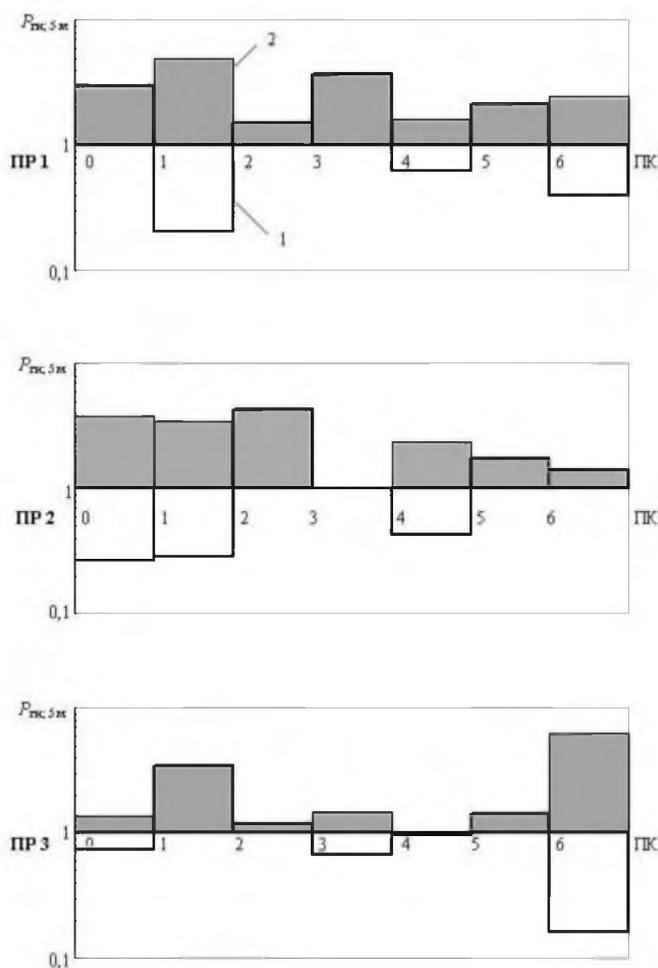


Рис. 4. Диаграммы параметра относительной (1) и абсолютной (2) горизонтальной неоднородности грунтов в нижнем интервале исследования

4 и ПК 6 ... 7 ПР 3).

Природа данной закономерности заключается в том, что в соответствующих глубинных интервалах грунтового массива (с уменьшающейся по глубине водопроницаемостью) происходит локальная задержка свободной гравитационной воды (инфильтрующейся в массив обогащенной кислородом атмосферной влаги), что создает на соответствующих подповерхностных участках грунтового массива весьма благоприятные условия для питания корневой системы растений и способствует развитию на поверхности данных участков травяной и древесной растительности.

На участках отвала, сложенных в приповерхностном слое грунтами повышенной водопроницаемости или включающих субвертикально ориентированные тела, состоящие из таких грунтов, богатая кислородом подземная влага не задерживается в приповерхностном слое и уходит вглубь массива, не поддерживая при этом питание растений.

На участках с пониженной водопроницаемостью грунтов в приповерхностном слое массива образуются застойные приповерхностные зоны подземных вод, что неблагоприятно сказывается на развитии на данных участках большей части видов травяной и древесной растительности.

На некоторых интервалах исследованных участков по доразрезу ρ_k отмечается последовательное уменьшение с глубиной удельного электрического сопротивления грунтов (см. рис. 5), что характеризует, как было показано выше, уменьшение с глубиной размера фракций залегающего на этих участках грунта, а также его пористости и водопроницаемости. Такой характер неоднородности грунта приводит к образованию в насыпном массиве глубинных зон водосбора.

Указанные особенности разреза отмечаются, в основном на ПК 0...1.5, ПК 3.5...4.3 и ПК 6.3...7 ПР 3, и, в небольшой степени – в области ПК 2...2.3 и ПК 4.6...5.5 ПР 2, а также в приповерхностной части в интервалах ПК 0...0.5 и ПК 2.2...3.1 ПР 1 (см. рис. 5).

При этом наблюдается отчетливая корреляция местоположения отмеченных зон ρ_k с зонами развития растительности на соответствующих участках – как травяной, так и древесной (см. рис. 5). Характерно, что древесная растительность произрастает, в основном, там, где такие особенности псевдоразреза ρ_k наиболее выражены (ПК 0 ... 1.5, ПК

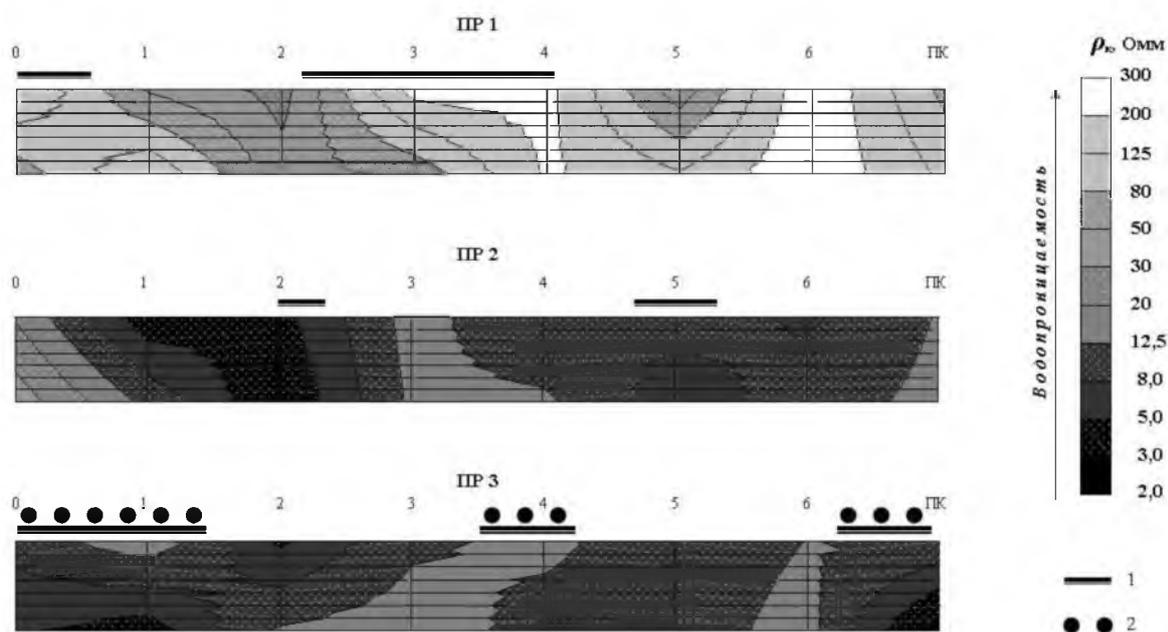


Рис. 5. Псевдоразрезы ρ_k ДЭП и характер растительного покрова на различных участках отвала: заливка - градации ρ_k , Ом·м; 1 и 2 – произрастание травяной и древесной растительности

Следует также отметить, что, как показал опыт выполненных ранее работ на откосах грунтовой дорожной насыпи [2], субвертикально ориентированные неоднородности литологического состава нарушают механическую связность массива, а субгоризонтально ориентированные способствуют образованию в грунтовом массиве, как глубинных зон водосбора, так и плоскостей скольжения отдельных грунтовых масс. Все это в сумме создает неблагоприятные инженерно-геологические условия, чреватые потерей устойчивости грунтового массива и оползнеобразованием в соответствующей его части.

Проведенные геофизические работы показали также, что геоэлектротометрия является чувствительным методом реагирования на степень уплотнения насыпных грунтов – своеобразной объемной тензометрией грунтов, что позволяет использовать этот метод для мониторинга уплотнения рыхлых грунтов на отвалах вскрышных пород при разработке месторождений полезных ископаемых. Весьма перспективным представляется применение этого метода на завершающем этапе отвалообразования для контролируемой отсыпки подстилающего слоя грунта при подготовке отвала к рекультивации, с целью создания благоприятных почвенно-гидрогеологических условий для развития растительного покрова на рекультивируемых участках.

Список литературы

1. Огильви А.А. Основы инженерной геофизики. – М.: Недра, 1990. – 452 с.
2. Погорелов Ю.С., Сергеев С.В. Применение геоэлектрического метода для диагностики оползнеобразования в откосах грунтовой насыпию – «Безопасность строительного фонда России. Проблемы и решения»: материалы междунар. акад. чтений, Курск, 23-25 сент. 2010 г. / Курский ГУ; отв. ред. С.И. Меркулов. – Курск, 2010. – С. 105–111.



APPLICATION OF A GEOELECTRIC METHOD FOR STUDY OF INFLUENCE OF ENGINEERING-HYDRO-GEOLOGICAL CONDITIONS ON FORMATION OF A VEGETATIVE COVER OF A RECULTIVATED DUMP OF LOOSE ROCKS IN LEBEDINSKY ORE DRESSING INDUSTRIAL COMPLEX

Y.S. Pogorelov
S.V. Sergey

*Belgorod State National Research University
Pobedy St., 85, Belgorod, 308015,
Russia*

*E-mail: strojanalit@mail.ru;
Sergeev@bsu.edu.ru*

The technique and results of performance of geophysical dipolar electric profiling on sites with various development of a vegetative cover of a recultivated dump of rocks in Lebedinsky Ore Dressing Industrial Complex are stated. It is established that the pseudo-cut of seeming electric resistance characterizes heterogeneity of the top part of a bulk file on degree of dispersion of a firm phase and water penetration of the ground in a zone of aeration and allows to allocate in it sites with various conditions for development of a vegetative cover, a zone of a deep reservoir. It is shown that geoelectrometry can be effectively used for monitoring of recultivation of dumps while working out of mineral deposits.

Key words: dumps of rocks, recultivation, geophysical methods, electric profiling, a vegetative cover, a bulk file, electric resistance, a pseudo-cut, the aeration zone, the connected water, water penetration, zones of a deep reservoir, monitoring.