

## ДИАГНОСТИКА ПОЧВ ЗОНЫ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА ОЗЕРА БАЙКАЛ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКОГО МЕТОДА

**Н. В. ВАШУКЕВИЧ**, кандидат биологических наук, доцент,  
Уральский государственный аграрный университет  
(620075, г. Екатеринбург, ул. К. Либкнехта, д. 42)

**Ч. Г. ГЮЛАЛЫЕВ**, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, руководитель отдела,  
Институт Географии Национальной Академии Наук Азербайджана им. акад. Г. А. Алиева  
(AZ1043, Азербайджан, г. Баку, пр. Г. Джавида, д. 31)

**С. Л. КУКЛИНА**, старший преподаватель,  
Иркутский государственный университет  
(664003, г. Иркутск, ул. К. Маркса, д. 1)

**Ключевые слова:** удельное электрическое сопротивление почв, мезоморфология почв, пирогенез, экологический мониторинг, заплесковая зона озера Байкал.

Методы электрометрии достаточно широко востребованы в современном почвоведении и экологии. Удельное электрическое сопротивление можно использовать как некоторую физическую характеристику самой почвы и ее генетических горизонтов. В настоящей работе рассматриваются почвы трансект-катены на участке побережья озера Байкал в заливе Большие Коты. Уже несколько лет это модельная территория Лимнологического института СО РАН для экологического мониторинга биоты и качественных характеристик интерстициальных вод. Характер терригенного материала, поступающего в зону заплеска озера Байкал, во многом зависит от особенностей почв как центрального компонента наземно-аквальных комплексов. Представлены результаты изучения удельного электрического сопротивления (УЭС) 3 типов почв (бурозем, литозем, стратозем). Внутривертикальное распределение УЭС имеет неоднозначный характер – от постепенно убывающего и возрастающего, до сложного полимодального. Привлечение данных по мезоморфологии и генезису отдельных почвенных горизонтов позволило выделить их группы с различными значениями удельного электрического сопротивления, которые зависят от воздействия пирогенеза, степени выветрелости почвообразующих пород и их возраста. Результаты изучения почв в контексте их электрофизических и мезоморфологических особенностей, по нашему мнению, могут стать основой экспресс-диагностики поступающего в заплесковую зону терригенного материала.

## ELECTROPHYSICAL METHOD IN THE SOILS DIAGNOSIS OF THE LAKE BAIKAL ENVIRONMENTAL MONITORING ZONE

**N. V. VASHUKEVICH**, candidate of biological sciences, associate professor,  
Ural State Agrarian University  
(42 K. Libknecht Str., 620075, Ekaterinburg)

**Ch. G. GULALYEV**, candidate of agricultural sciences, associate professor, head of department,  
Azerbaijan National Academy of Sciences named after G. A. Aliyev  
(31 H. Javid Avenue, AZ1043, Baku, Azerbaijan)

**S. L. KUKLINA**, senior teacher,  
Irkutsk State University  
(1 K. Marks Str., 664003, Irkutsk)

**Keywords:** electrical resistivity of soils, soil mesomorphology, pyrogenesis, environmental monitoring, splash zone, Lake Baikal

Electrometric methods are widely used in modern soil science and ecology. The electrical resistivity can be used as a physical characteristic of the soil itself and its genetic horizons. This paper describes the transect-catena soils in the Lake Baikal coast area at the Bol'shye Koty Bay - a model territory for environmental monitoring of biota and interstitial waters qualitative characteristics for Limnological Institute SB RAS. The terrigenous material supplied to the Lake Baikal splash zone is determined of soils as a central component of the terrestrial and aquatic systems. The detailed electrical resistivity analysis of 3 soil types (brown soil, litozem, stratozem) is presented. Features of the electrical resistivity distribution in studied soil profiles are ambiguous by gradually decreasing and increasing, to the complicated multimodal. Attracting by the mesomorphology and genesis data of individual horizons studied soil allowed to their grouping with different values of the electrical resistivity, which depend on the impact pyrogenesis, degree of weathering of the parent rocks and their age. The results of soil investigations in a context of the electrical and mesomorphology features, in our opinion, may be the basis for rapid diagnosis of the terrigenous material arriving in the Lake Baikal splash zone.

Положительная рецензия представлена А. П. Герайзаде, заслуженным деятелем науки, доктором аграрных наук, профессором, заведующим лабораторией физики почвы Института почвоведения и агрохимии Академии наук Азербайджана.

**Цель и методика исследований.** Почвы, находясь как в постоянном (стационарном), так и в переменном электрическом поле, проводят электрический ток. Это свойство характеризуется их удельным электрическим сопротивлением или удельной электропроводностью. Методы электротометрии достаточно широко востребованы при изучении засоленных почв, мониторинге территорий орошения, экологической оценке и контроле антропогенно нарушенных почв. В связи с появлением инновационных технологий в сельском хозяйстве, таких как точное земледелие (precision agriculture), электрофизика почв получила новый толчок к развитию, поскольку дает возможность проводить экспресс-диагностику ряда почвенных характеристик.

История и методология электротометрии в исследованиях почв, а также потенциал использования методов электропроводности (ЭП) при оценке почв рассмотрены достаточно подробно в работе М. Г. Субботиной и Б.-С. Хорхе [1].

Наиболее фундаментальный вклад в развитие электрофизических методов в современном почвоведении внес А. И. Поздняков [2, 3]. Исследование зонального ряда почв позволило ему сделать вывод, что электрическое сопротивление характеризует сорбционные и диффузионные свойства горизонтов, профилей, типов почв и косвенно определяется внешними факторами: типом ландшафта, почвенной геохимической провинцией, климатической зоной.

Электрофизические свойства основных типов лесных и степных ландшафтов Предбайкалья охарактеризованы в работах А. А. Козловой и Ч. Г. Гюлалыева [4, 5]. Особенностью почв региона является слабая дифференциация почвенного профиля на горизонты и ее зависимость в большей степени от литогенной неоднородности и состава почвообразующих пород, чем от почвообразования [6]. Это отразилось и на распределении показателей удельного электрического сопротивления. В почвах лесных ландшафтов (серые лесные, дерново-подзолистые) была выявлена тенденция зависимости электрического сопротивления от гранулометрического состава. В черноземах и каштановой почве электросопротивление тесно связано с содержанием гумуса [4].

В настоящей работе рассматриваются электрофизические характеристики почв трансект-катены на участке побережья озера Байкал в заливе Большие Коты, модельной территории Лимнологического института СО РАН. Здесь под руководством доктора биологических наук О. А. Тимошкина ведутся сезонные наблюдения за динамикой биоты интерстициальных вод заплесковой зоны озера (части литорали, подверженной влиянию брызг). Синхронно на точках наблюдения (ТН) организованы междисциплинарные исследования наземно-аквальных

комплексов, целью которых является оценка естественного хода показателей буферной зоны озера в зависимости от типов почвенного покрова, наземной растительности и геологической основы [7–9].

Репрезентативные точки наблюдения характеризуют 2 участка зоны заплеска: 1-й участок от пади Черной до пади Варначка (ТН 1–3), 2-й участок п. Варначка – п. Сенная (ТН 4). Особенности рельефа и растительности ТН ранее охарактеризованы М. В. Левашевой [9].

На каждой точке был заложен почвенный разрез, проведен отбор образцов, в том числе с ненарушенным строением для мезоморфологических исследований. Аналитические определения химических и физических свойств почв были выполнены в лаборатории кафедры почвоведения и оценки земельных ресурсов Иркутского госуниверситета по общепринятым методикам. Определение удельного электрического сопротивления ( $\rho$ ) проводилось в лабораторных условиях с использованием прибора Land Mapper-03. Все почвенные образцы доводились дистиллированной водой до пастообразного состояния, влажность при этом равнялась полной влагоемкости [10].

**Результаты исследований.** Согласно Классификации почв России почвы трансект-катены были отнесены к следующим типам. Точки наблюдения 1 «300 м северо-восточнее пади Черной» и 2 «Пещерка», разрезы № 10 и 9, тип почвы – бурозем АУ-ВМ-С. ТН 3 «Стационар ЛИИ СО РАН. Падь Жилище», разрез № 6, тип почвы – стратозем темногумусовый на погребенной почве RU-{ABC} и разрез № 7, тип почвы – бурозем АУ-ВМ-С. ТН 4 «п. Варначка – п. Сенная», разрезы № 3 и 4, тип почвы – литозем серогумусовый АУ-(С)-R.

Удельное электрическое сопротивление почв зависит от многих факторов, среди которых следует отметить минералогический и гранулометрический состав, пористость, влажность, концентрацию солей в почвенных растворах, температуру [2, 3].

Мезоморфологические исследования (бинокулярная лупа, 4x-кратное увеличение) в данном случае имеют принципиальное значение. Они позволили оценить характер агрегатов и трещин, поровое пространство, особенности жизнедеятельности мезофауны, новообразований и т. д.

Характер распределения УЭС по профилям основных типов почв участка экологического мониторинга заплесковой зоны неоднозначен. Сложное бимодальное распределение показателя выявлено в буроземе (р. 7) и стратоземе (р. 6) точки наблюдения 3, что, вероятно, можно связать с их нахождением в устьевом расширении пади Жилище, где активизированы процессы переноса и перемешивания материала почвенных и горизонтов (рис. 1). Ранее отмечалось [9],

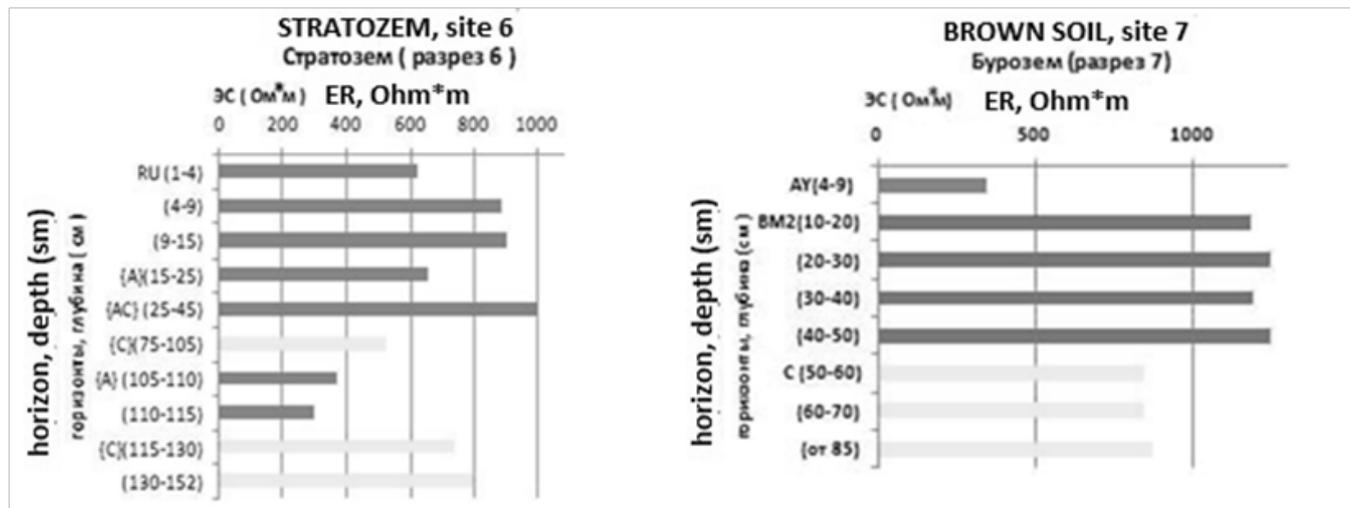


Рис. 1

Профильное распределение удельного электрического сопротивления в почвах точки наблюдения 3 (ТН 3)

Fig. 1

Electric resistance profile distribution in the soils of the observation point 3 (OP 3)

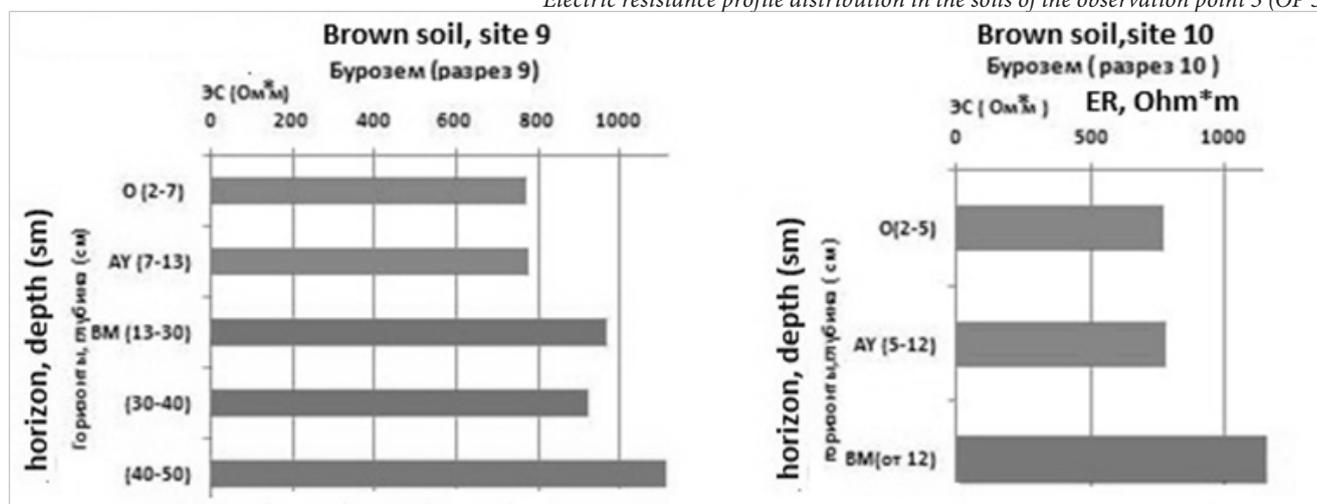


Рис. 2

Профильное распределение удельного электрического сопротивления в почвах ТН 1 и ТН 2

Fig. 2

Electric resistance profile distribution in the soils of the observation points 1 and 2

что в данной точке наблюдения прогнозируются наибольшие градиенты параметров проб, т. к. рыхлые отложения, слагающие уступ террасы, легко разрушаются, и материал почвогрунтов регулярно поступает в пляжную зону.

Более стабильно электрическое сопротивление горизонтов на ТН 1, 2, где в буроземах разрезов 9 и 10 наблюдается постепенное возрастание УЭС в нижней части профиля (рис. 2). Скальное основание берегового уступа является в данной точке механическим барьером для миграции геохимических элементов [9].

В литоземах ТН 4 распределение электросопротивления зеркально противоположно, в разрезе 4 – постепенно убывающее, в разрезе 3 – постепенно возрастающее вниз по профилю. Основную роль здесь явно играет смена характера подстилающих пород. На месте закладки разреза 3 юрские конгломераты сменяются протерозойскими кристаллическими породами.

Рассмотрение коррелятивных зависимостей показателей удельного электрического сопротивления от различных свойств почв заплесковой зоны (рН сол., содержание гумуса, илистой фракции и физической глины) каких-либо четких тенденций не выявило. В буроземах (р. 9, 7) и литоземе (р. 3) тесная отрицательная корреляция была выявлена с содержанием гумуса (коэффициент линейной корреляции (КК) – 0,7–0,9). В литоземе разреза 4 связь между гумусом и УЭС носила противоположный характер (КК +0,9), а в стратоземе такой связи вообще выявлено не было. Коэффициенты корреляции между УЭС и содержанием ила/физической глины не зависели от типа почв. Например, в буроземе (р. 9) и литоземе (р. 3) эта зависимость была прямой (КК +0,8), а в аналогичных по типовой принадлежности разрезах 7 и 4 – обратной (КК – 0,6–0,9).

При подробном изучении распределения показателей удельного электрического сопротивления с привлечением данных по мезоморфологиче-

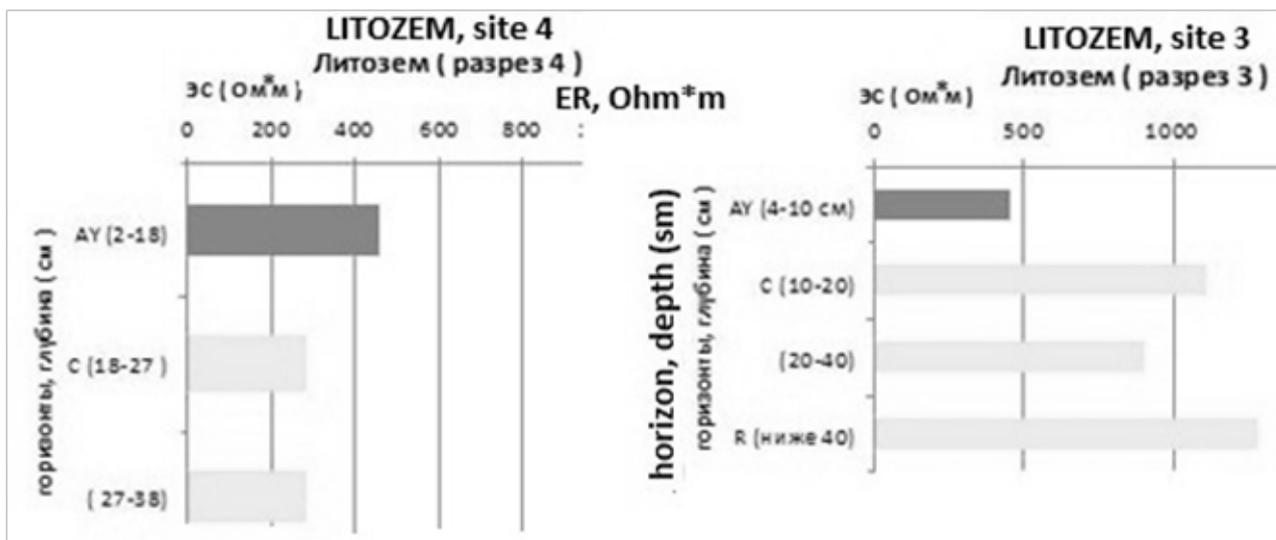


Рис. 3  
Профильное распределение удельного электрического сопротивления в почвах ТН 4  
Fig. 3

Electric resistance profile distribution in the soils of the observation point 4

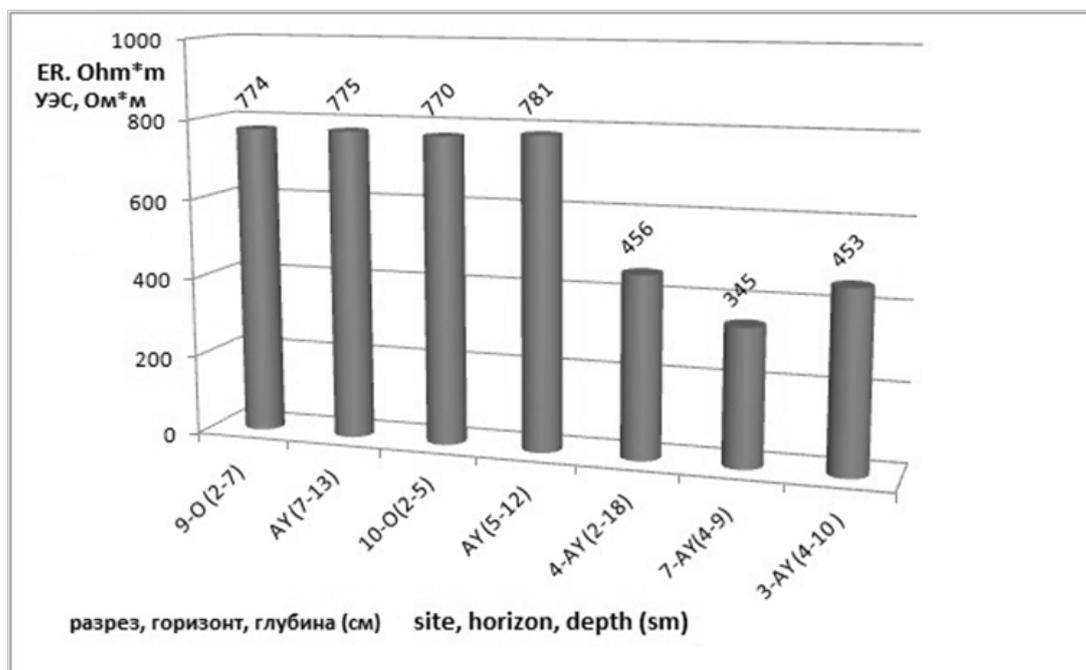


Рис. 4  
Распределение показателей удельного электрического сопротивления (УЭС) в гумусовых горизонтах исследуемых почв  
Fig. 4

Electrical resistivity indices in the humus horizons of investigated soils

ским особенностям почв данные УЭС были сгруппированы по горизонтам. В результате среди гумусовых горизонтов выделились группы с показателями удельного электрического сопротивления 770–780 и 350–450 Ом·м (рис. 4). Также 2 группы были выявлены среди горизонтов ВМ 920–970 и 1100–1250 Ом·м (рис. 5). Сравнительная оценка показала, что большие значения по гумусовым горизонтам и меньшие значения в горизонтах ВМ приурочены к зонам, где, согласно мезоморфологическим исследованиям, отмечались проявления пожаров. Пирогенные воздействия обнаружены в срединных горизонтах разрезов буроземов.

Выделение групп показателей удельного электросопротивления в горизонтах С(Р) оказалось зависимым от особенностей генезиса пород (рис. 6). Группа с минимальными значениями 280–295 Ом·м – это горизонты слабо выветрелых юрских конгломератов (литозем, р. 4). В горизонтах С стратозема (р. 6), которые представлены продуктами выветривания и переотложения тех же юрских конгломератов и связанных с ними песков, показатели УЭС составили 740–840 Ом·м.

Наивысшие показатели удельного электрического сопротивления (1100–1300 Ом·м) выявлены в литоземах, сформированных на протерозойских породах (р. 3) – подстилающих породах совершенно иного генезиса.

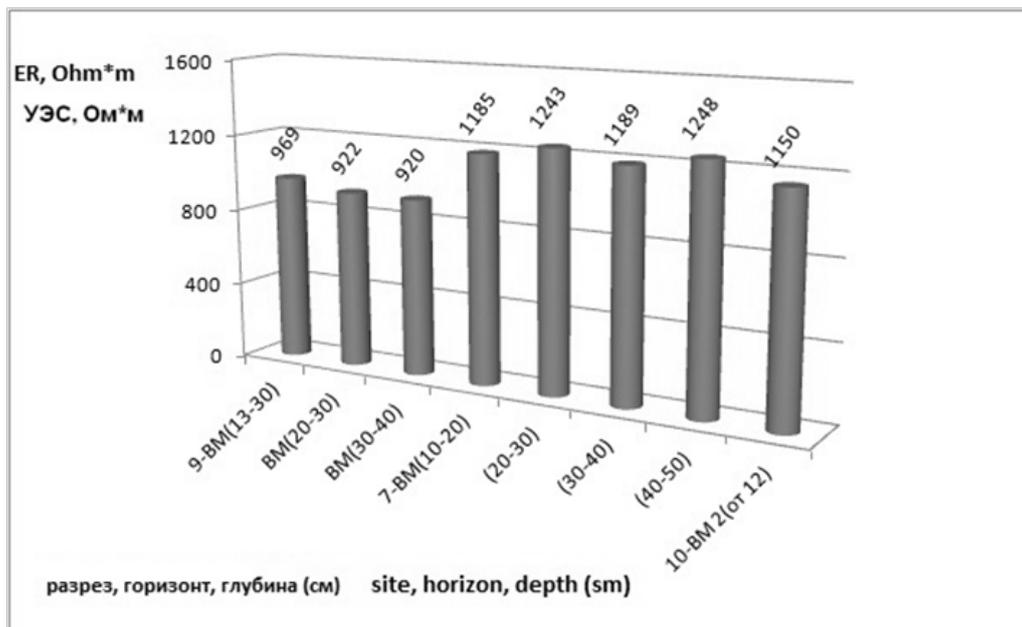


Рис. 5  
 Распределение показателей удельного электрического сопротивления (УЭС) в горизонтах ВМ исследуемых почв  
 Fig. 5  
 Electrical resistivity indices in the horizons BM of investigated soils

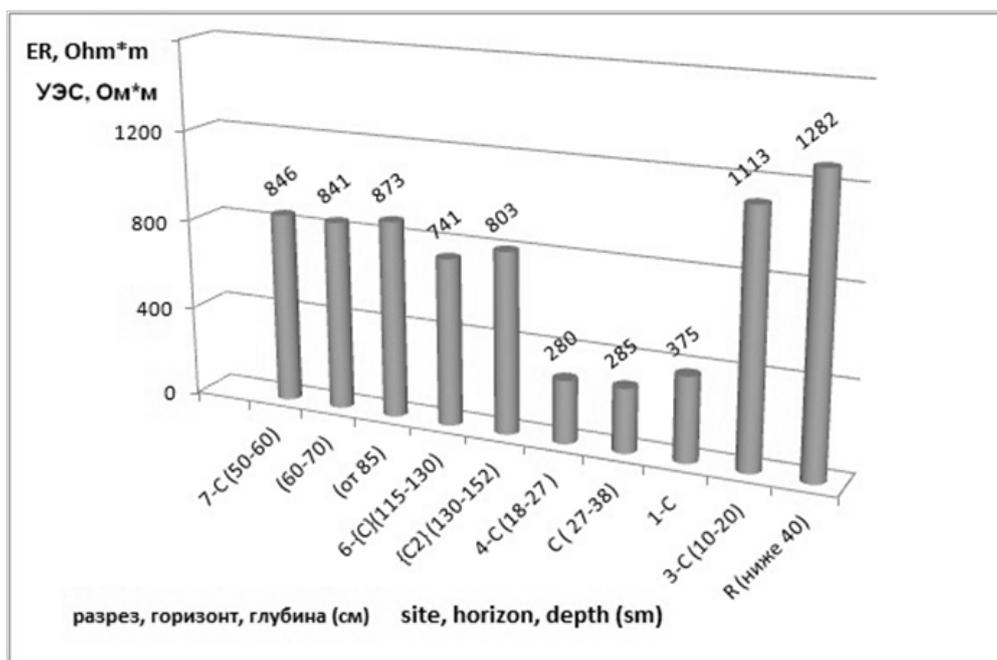


Рис. 6  
 Распределение показателей удельного электрического сопротивления (УЭС) в горизонтах C(R) исследуемых почв  
 Fig. 6  
 Electrical resistivity indices in the horizons C(R) of investigated soils

**Выводы. Рекомендации.** Характер терригенного материала, поступающего в зону заплеска озера Байкал, во многом зависит от особенностей почв как центрального компонента наземно-аквальных комплексов. Проведено изучение удельного электрического сопротивления 3 типов почв зоны заплеска. Внутрипрофильное распределение УЭС имеет неоднозначный характер – от постепенно убывающего и возрастающего до сложного полимодального. Привлечение данных по мезоморфологии и генезису от-

дельных почвенных горизонтов позволило выделить их группы с различными значениями УЭС, которые зависят от воздействия пирогенеза, степени выветрелости почвообразующих пород и их возраста. Результаты изучения почв в контексте их электрофизических и мезоморфологических особенностей, по нашему мнению, могут стать основой экспресс-диагностики поступающего в заплесковую зону терригенного материала.

**Литература**

1. Субботина М. Г., Хорхе Б.-С. Об электропроводности почв в современных исследованиях // Пермский аграрный вестник. 2013. № 3. С. 28–33.
2. Поздняков А. И. Электрические параметры почв и почвообразование // Почвоведение. 2008. № 10. С. 1188–1197.
3. Поздняков А. И., Гюлалыев Ч. Г. Электрофизические свойства некоторых почв. Москва–Баку : «Адилъоль», 2004. 240 с.
4. Козлова А. А., Гюлалыев Ч. Г. Удельное электрическое сопротивление целинных и освоенных почв юга Иркутской области // Живые и биокосные системы. 2014. № 6. URL : <http://www.jbks.ru/archive/issue-6/article-9>.
5. Kozlova A. A., Gyulalyev Ch. G., Khalbaev V. L. et al. Physical and chemical properties and electrical resistivity of South Cisbaikalia and Priolkhonye soils // European Geographical Studies. 2014. № 3. P. 108–115.
6. Гранина Н. И., Козлова А. А., Вашукевич Н. В. Функционирование почв Южного Предбайкалья в условиях антропогенеза // Бюллетень Восточно-Сибирского научного центра Сибирского отделения Российской академии медицинских наук. 2006. № 2. С. 22–28.
7. Тимошкин О. А., Сутурин А. Н., Бондаренко Н. А. и др. Биология прибрежной зоны озера Байкал. Сообщение 1. Заплексовая зона : первые результаты междисциплинарных исследований, важность для мониторинга экосистемы // Известия Иркутского государственного университета. Серия «Биология. Экология». 2011. Т. 4. № 4. С. 75–110.
8. Потемкина Т. Г., Сутурин А. Н., Тимошкин О. А. Краткая геолого-геоморфологическая характеристика участков отбора проб в береговой зоне бухты Большие Коты (Южный Байкал) // Известия Иркутского государственного университета. Серия «Биология. Экология». 2012. Т. 5. № 3. С. 47–52.
9. Левашева М. В., Тимошкин О. А., Вашукевич Н. В. Ландшафтный подход к организации экологического мониторинга заплексовой зоны в бухте Большие Коты на Байкале // Известия Иркутского государственного университета. Серия «Биология. Экология». 2012. Т. 5. № 3. С. 53–63.
10. Gyulalyev Ch. G. To an estimation of a specific surface soil on the date electro and term physical of definitions // Sharing Experiences for Sustainable Use of Natural Resources : proc. of intern. scient. symp. Turkey, 2002. P. 361–366.

**References**

1. Subbotina M. G., B. S. Jorge. Soil electroconductivity in current research // Perm Agrarian Journal. 2013. № 3. P. 28–33.
2. Pozdnyakov A. I. Electrical parameters of soils and soil formation // Eurasian Soil Science. 2008. № 10. P. 1188–1197.
3. Pozdnyakov A. I., Gyulalyev Ch. G. Physical properties of some soils. Moscow-Baku : «Adilogly», 2004. 240 p.
4. Kozlova A. A., Gyulalyev Ch. G. The electrical resistivity of virgin and arable soils of the south of the Irkutsk region // Zhivye i biokosnye sistemy. 2014. № 6. URL : <http://www.jbks.ru/archive/issue-6/article-9>.
5. Kozlova A. A., Gyulalyev Ch. G., Khalbaev V. L. et al. Physical and chemical properties and electrical resistivity of South Cisbaikalia and Priolkhonye soils // European Geographical Studies. 2014. № 3. P. 108–115.
6. Granina N. I., Kozlova A. A., Vashukevich N. V. Functioning of the Southern Predbaikalia soils in anthropogenic conditions // Bulletin of the East-Siberian Scientific Center of the Siberian Branch of the Russian Academy of Medical Sciences. 2006. № 2. P. 22–28.
7. Timoshkin O. A., Suturin A. N., Bondarenko N. A. et al. Biology of the coastal zone of Lake Baikal. Overview of the current knowledge on the splash zone, first results of interdisciplinary investigations, monitoring as a basic tool in ecological research // The Bulletin of Irkutsk State University. Series «Biology. Ecology». 2011. Vol. 4. № 4. P. 75–110.
8. Potyomkina T. G., Suturin A. N., Timoshkin O. A. A brief review of geological and geomorphological characteristics of the sampling sites in the near-shore zone of Bol'shye Koty Bay, Southern Baikal // The Bulletin of Irkutsk State University. Series «Biology. Ecology». 2012. Vol. 5. № 3. P. 47–52.
9. Levasheva M. V., Timoshkin O. A., Vashukevich N. V. A landscape approach to ecological monitoring in the splash zone of Bol'shye Koty Bay (Lake Baikal) // The Bulletin of Irkutsk State University. Series «Biology. Ecology». 2012. Vol. 5. № 3. P. 53–63.
10. Gyulalyev Ch. G. To an estimation of a specific surface soil on the date electro and term physical of definitions // Sharing Experiences for Sustainable Use of Natural Resources : proc. of intern. scient. symp. Turkey, 2002. P. 361–366.