

УДК 631.437  
AGRIS: U30

**УНИВЕРСАЛЬНЫЙ ПРИБОР ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЙ  
ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОЧВ**

**UNIVERSAL DEVICE FOR MEASURING ELECTRICAL  
PROPERTIES OF SOILS**

©Позднякова А. Д.,

SPIN-код: 6318-2970, ORCID: 0000-0002-7277-8685,  
канд. биол. наук, Всероссийский научно-исследовательский  
институт мелиорированных земель РАСХН,  
г. Тверь, Россия, [antdanpozd@list.ru](mailto:antdanpozd@list.ru)

©Pozdnyakova A.,

SPIN-code: 6318-2970, ORCID: 0000-0002-7277-8685,  
Ph.D., All-Russian Scientific Research Institute of the agricultural use  
of reclaimed lands of the Russian Academy of Agricultural Sciences,  
Tver, Russia, [antdanpozd@list.ru](mailto:antdanpozd@list.ru)

©Поздняков Л. А.,

SPIN-код: 9975-8000, ORCID: 0000-0002-0525-5841,  
канд. биол. наук, Московский государственный  
университет им. М. В. Ломоносова,  
г. Москва, Россия, [apl-223@mail.ru](mailto:apl-223@mail.ru)

©Pozdnyakov L.,

SPIN-code: 9975-8000, ORCID: 0000-0002-0525-5841,  
Ph.D., Lomonosov Moscow State University,  
Moscow, Russia, [apl-223@mail.ru](mailto:apl-223@mail.ru)

©Анциферова О. Н.,

SPIN-код: 7979-5234, ORCID: 0000-0001-5494-710X,  
канд. с.-х. наук, Всероссийский научно-исследовательский  
институт мелиорированных земель РАСХН,  
г. Тверь, Россия, [2016vniimz-noo@list.ru](mailto:2016vniimz-noo@list.ru)

©Antsiferova O.,

SPIN-code: 7979-5234, ORCID: 0000-0001-5494-710X,  
Ph.D., All-Russian Scientific Research Institute of the agricultural use  
of reclaimed lands of the Russian Academy of Agricultural Sciences,  
Tver, Russia, [2016vniimz-noo@list.ru](mailto:2016vniimz-noo@list.ru)

*Аннотация.* За рубежом измерение электрических свойств почв проводится повсеместно. Созданы различные приборы для контактного и бесконтактного измерения. В России разработкой подобных методов и соответствующих приборов занимался А. И. Поздняков. Однако, широкое распространение этих методов в России сдерживалось отсутствием современного, удобного, портативного и высокопроизводительного прибора. В 2003 году нами совместно с ИП ГеоПро (Россия) и фирмой LANDVISER (США) разработан портативный геофизический прибор LandMapper ERM-01 для измерения в полевых условиях электрических параметров почв и других геологических сред, а также растений. В настоящее

время в своей работе мы применяем следующие модификации прибора — LandMapper ERM-03 и ERM-04. Эти приборы используются для измерения удельного электрического сопротивления (ER) и проводимости (EC) в почвах, горных породах, растворах и тому подобных средах; а также для измерения естественных электрических потенциалов в почвах и растениях (ERM-04). Прибор может быть использован для измерений с поверхности земли, по стенке почвенного разреза или карьера, а также в образцах почвы или других средах в лаборатории. Для этих целей используется четырех электродная установка AMNB, которая помещается на исследуемую поверхность, и значение электрического сопротивления или электропроводности считывается и отображается на дисплее прибора. Изменяя расстояние между электродами можно проводить измерения на различной глубине. Методы приповерхностной электроразведки могут применяться в сельском хозяйстве (т. н. точное земледелие), экологической оценке и мониторинге земель, строительстве и археологии.

*Abstract.* Abroad, the measurement of the electrical properties of soils are carried out everywhere. Various devices for contact and non-contact measurement have been created. Pozdnyakov AI was engaged in the development of similar methods and corresponding instruments in Russia. However, widespread use of these methods in Russia has been hampered by the lack of a modern, convenient, portable and high-performance device. In 2003 portable geophysical instrument LandMapper ERM-01 was developed by IP GeoPro (Russia) and LANDVISER (USA). LandMapper is designed to measure electrical parameters in the field soil and other geological environments, as well as in plants. Currently, in our work, we use the following modifications of that device — LandMapper ERM-03 and ERM-04. These devices can be used to measure specific electric resistance (ER) and conductivity (EC) of soils, rocks, solutions and similar environments; and also, for measuring natural electrical potentials in soils and plants (ERM-04). The device can be used for measurements from the surface of the earth, along the wall of the soil section or quarry, as well as in soil samples or other media in the laboratory. For these purposes, a four AMNB electrode installation is used, which is placed on the surface under investigation, and the electrical resistance or electrical conductivity value is read and displayed on the instrument display. By varying the distance between the electrodes, measurements can be made at different depths. Methods of subsurface electrical survey can be used in agriculture (the so-called precision farming), environmental assessment and monitoring of the land, construction and archaeology.

*Ключевые слова:* электрофизика, электрическое сопротивление почв, электропроводность почв, приборы, почвы, точное земледелие.

*Keywords:* electrophilic, soil electrical resistivity, soil electrical conductivity, device, soils, precision farming.

Электрическое сопротивление относится к таким параметрам почвы, которые легко измеряются в полевых и лабораторных условиях, и при этом достаточно объективно позволяют оценивать многие почвенные свойства. Удельное электрическое сопротивление является функцией объемной плотности зарядов, т. е. практически напрямую связано с концентрацией ионов в растворе. Поэтому исторически самым первым подобным свойством, с которым искали связи удельного электрического сопротивления (электропроводности) было наличие и концентрация ионов легкорастворимых солей в почвенном растворе. Сейчас определение засоления по электропроводности почвенных паст является распространенной

методикой химического анализа почв, созданы шкалы степени засоления по величинам электропроводности.

Изучение электрических свойств почвы в лаборатории началось относительно давно. К 1970-м годам был накоплен богатый экспериментальный и теоретический материал в области измерения электрического сопротивления в лабораторных условиях. Под руководством А. Ф. Вадюниной в 60-70-е годы началось и полевое изучение электрических характеристик почв, сначала засоленного ряда, а позже и основных зональных и интразональных почв СССР и РФ [1–2].

В полевых условиях такие измерения стали использовать в почвоведении и смежных науках совсем недавно (20–30 лет) и в основном на кафедре физики и мелиорации почв МГУ им. М. В. Ломоносова. Тем не менее, подобные измерения лишь сейчас входят в практику почвоведения, поскольку долгое время их результаты не пытались связывать с генетическими особенностями почвы, а использовали лишь как способ определения ряда «классических» (традиционно определяемых методами химии и физики почв) свойств почвы.

Впоследствии была создана теория поведения в почве стационарных электрических полей (СЭП), как естественных, так и искусственных, а определяемое удельное электрическое сопротивление (электропроводность) было связано с общей теорией почвообразования [2].

За рубежом измерение электрических свойств почв проводится повсеместно. Созданы различные приборы для контактного и бесконтактного измерения. Индуктивный электромагнетизм широко используется в США более 25 лет для определения электрических свойств верхних слоев почвы. Для этих целей в основном используются портативные приборы фирмы Geonics типа EM-31 и EM-38 с устройством GPS, которые осуществляют электромагнитное профилирование, совмещенное со спутниково–навигационным устройством (1).

Благодаря взаимодействию индуцированных токов с поверхностными структурами, он стал главным методом для изучения таких естественных геологических структур, как рудные залежи, разломы и сдвиги, а также интрузии антропогенного происхождения. Впоследствии, эти технологии и приборы активно стали внедряться в почвоведение, земледелие, агрономию, археологию, экологию.

В Соединенных Штатах исследования электрических свойств почв весьма широко используются в земледелии, и отношение к этим данным довольно серьезное, так как на них основывается такое важное направление в агрономии, как точное земледелие, к которому стремится современная агрономия в США. Исследования по картированию почвенных свойств проводятся практически повсеместно, и даже существуют соответствующие требования к специалистам. Большинство специалистов, занимающихся этими проблемами, должны владеть методами EC-electrical conductivity, на основе которых и проводится картирование почвенного покрова. Для точного земледелия используется техника фирмы Veris (2) [3].

В России разработкой подобных методов и соответствующих приборов занимался Поздняков А. И. До недавнего времени установка для измерений электрического сопротивления базировалась на приборе АЭ-72, к которому подсоединялся ящик с коммутирующим оборудованием. Коммутирующее устройство отличалось громоздкостью, так что распространения не получило.

В 2003 году нами совместно с ИП ГеоПро (Россия) и фирмой LANDVISER (США) разработан портативный геофизический прибор LandMapper ERM-01 для измерения в полевых условиях электрических параметров почв и других геологических сред, а также растений (3) [4,]. В настоящее время в своей работе мы применяем следующие модификации прибора — LandMapper ERM-03 и ERM-04. Они используются для измерения удельного электрического сопротивления и проводимости в почвах, горных породах, растворах и тому подобных средах; а также для измерения естественных электрических потенциалов в почвах и растениях (только в модификации ERM-04).

Прибор легкий, помещается в ладони и может быть использован для быстрого картирования неоднородностей электрических свойств в почвенном профиле от поверхности до глубины около 20 м. Данные подобной электроразведки можно интерпретировать как неоднородности различных почвенных свойств: засоления, плодородия, каменистости, текстуры, загрязнения нефтепродуктами, глубины залегания грунтовых вод и вечной мерзлоты.

Оценка электропроводности почвы этими приборами оказалась важна и для сельского хозяйства по следующим причинам.

Во-первых, в настоящее время, разработанное оборудование (Veris, Inc., Geonics, Ltd., и т. д.), позволяющее быстро и с достаточной точностью проводить измерения электропроводности или сопротивления с привязкой к координатам GPS, все же весьма дорого и мало доступно в России. Кроме того, оно работает не всегда стабильно, в силу плохого контакта электродов с почвой в авторежиме.

Во-вторых, уже показано, что электропроводность связана с некоторыми свойствами почв, которые важны для выращивания растений включая засоленность, плотность, уровень залегания глинистого слоя или грунтовых вод, слоев гравия или линз, песка, ила, глины, наличие дренажа, органики, содержание NPK, pH почвы, емкости катионного обмена и т. д., но четкого теоретического обоснования от каких именно свойств почв и в каких почвах пока нет.

В-третьих, современные методы электрофизики позволяют измерять электрическое сопротивление в подпочве в диапазоне глубин необходимых для роста растений без нарушения почвенного покрова.

Эта особенность придает особую значимость параметру электропроводности или электрическому сопротивлению почв в точном земледелии, так как никакая другая методика и подходы не могут получить свойства пахотного и подпахотного слоя почвы с ее поверхности, в целостной почве без ее нарушения.

В почвоведении получили распространения 4-электродные симметричные прямолинейные установки электродов AMNB и способы измерения сопротивления на их основе пришедшие из геофизики (Рисунок 1).

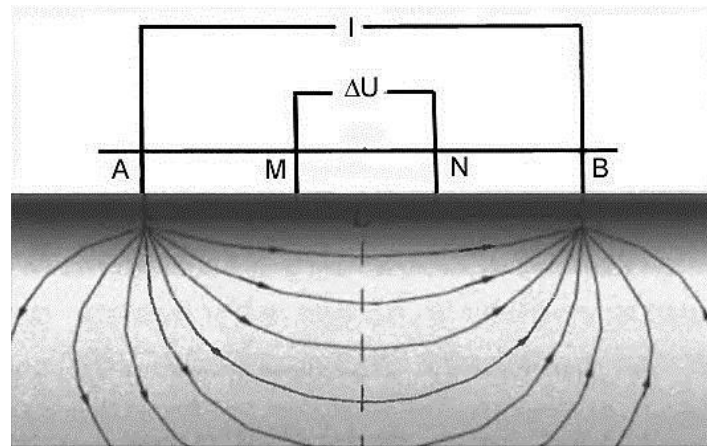


Рисунок 1. Принципиальная схема измерений электрического сопротивления почв

Система работы довольно проста. На крайние два электрода (А и В) подается исходное поле и в этой цепи измеряется электрический ток, на средних двух (М и N) измеряются разности потенциалов. Сопротивление рассчитывается по специальной формуле (1), фактически по закону Ома, с той лишь разницей, что необходимо учесть объем охваченной электрическим полем почвенной толщи — чем дальше друг от друга расположены электроды, тем этот объем больше. Однако эта простота обеспечивает широкое разнообразие возможностей для применения метода [2, 5].

$$ER = K \frac{\Delta U}{I} \quad [\text{омм}], \quad \text{где} \quad K = \pi \frac{[AM][AN]}{[MN]} \quad [м] \quad (1)$$

Как известно, по величине электрических параметров можно оценить такие свойства почв, которые, в первую очередь, определяют количество носителей электричества в почве, их концентрацию или плотность. Это такие почвенные свойства как гранулометрический состав, емкость катионного обмена (ЕКО), гумус, влажность и некоторые другие. Чаще всего, это возможно использовать для общей их оценки, но в ряде случаев, когда большинство других почвенных свойств стабильно и мало влияют на сопротивление, можно оценить какое-либо одно свойство.

Особо следует указать на наиболее сильно влияющее на сопротивление свойство, такое как влажность, которая в природных условиях очень сильно меняется, как во времени, так и в пространстве. Это часто, при первом знакомстве с методами электрического сопротивления, отпугивает исследователей — мол, влажность сильно влияет и вуалирует влияние других свойств. Это не так.

Следует заметить, что во-первых, в силу того, что влажность на сопротивление сильно влияет только в диапазоне сорбционного диапазона и мало при высокой влажности (в диапазоне капиллярного увлажнения), то представляется наиболее удобным и целесообразным проводить измерения сопротивления для оценки генетической дифференциации почв именно при высокой влажности. В гумидных регионах это условие выполняется почти всегда.

Во-вторых, следует четко себе представлять, что перераспределение влаги в почвах происходит строго в соответствии с распределением других свойств почв — таких как их сорбционные способности и особенности. Например, после осадков в песчаных почвах задерживается значительно меньше влаги, чем в суглинистых и, тем более глинистых почвах. И это приводит к строго закономерному распределению и электрического сопротивления в



почвах. Так что эта особенность влияния влаги служит не помехой, а как раз достоинством методов электрического сопротивления (электропроводности).

Следует признать, что в диапазоне высоких влажностей, выше гигроскопической, величина влажности мало влияет на величину сопротивления. Это дает возможность при относительно влажной почве легко устанавливать зависимости между сопротивлением и химическими или физическими свойствами.

#### *Особенности работы*

Поскольку, во всех вариантах для измерения сопротивления используется один и тот же 4-электродный метод, то они могут выполняться одним и тем же прибором. Однако в каждом варианте измерений к прибору присоединяется определенная установка электродов, которая и позволяет проводить обследование нужного объема почвы или другого материала.

В зависимости от объема объекта исследования и его однородности после измерений получают истинное или кажущееся удельное электрическое сопротивление. Обычно истинное электрическое сопротивление получают в лабораторных условиях и при измерениях по стенке разреза. В первом случае образец заведомо однороден, а во втором нужно выбирать небольшой пробник (установку АМНВ), чтобы охватывать измерением небольшой однородный участок почвы или грунта.

Все остальные полевые методы измерений электрических свойств получают так называемое кажущееся удельное электрическое сопротивление. Это сопротивление, измеренное явно для неоднородного объема почвы в неоднородном электрическом поле.

#### *Истинное электрическое сопротивление*

*Лабораторные измерения.* Прибор может быть использован для лабораторных измерений в любых образцах — почвы, пасты, суспензии, растворы, грунтовые воды, продукты питания и искусственные материалы (Рисунок 2). Электрическое сопротивление — это комплексная характеристика почвенных свойств. Поэтому его использование возможно для оценки и определения свойства, влияющие на плотность подвижных электрических зарядов, таких как влажность, содержание солей, плотность сложения и другие. Они связаны с электрическим сопротивлением и естественными потенциалами экспоненциальными зависимостями.

В лаборатории возможно выделение и изучение влияния одного какого-либо фактора на сопротивление. Эти измерения проводятся в специальных измерительных кюветах. Проводятся измерения не только почвенных образцов в пастообразном состоянии, но и почвенных растворов, вытяжек, суспензий, грунтовых вод.

Размеры кюветы примерно 5 на 3 см и 3 см в высоту. Сделана она из пластика или плексигласа, не проводящего электрический ток. Боковые площадные электроды выполнены в виде пластин из проводящего металла, например, меди. Они выступают в роли электродов АВ. Из этого же материала выполнены и вплавленные в боковую стенку стержни, выступающие в роли электродов MN.



Рисунок 2. Прибор и кювета для измерений электрических свойств в лаборатории

При измерениях в кюветах получение «геометрического» коэффициента установки проводится не расчетным путем, как при точечных датчиках AMNB, а используется стандартный раствор какой-либо соли с известной электропроводностью (сопротивлением), например, хлористого натрия в диапазоне концентраций от 1 н до 0,01 н.

Приготовление пасты проводится из влажной не подверженной иссушению до воздушно-сухого состояния почвы. Почву измельчают до состояния небольших комочков, агрегатов или педов и, не пропуская через сито, готовят пасту следующим образом. Почву, в достаточном для заполнения кюветы количестве, помещают в любую удобную лабораторную посуду и замешивают, постепенно добавляя дистиллированную воду, доводят пасту до состояния нижнего предела текучести (верхнего предела пластичности). Можно также измерять пасты при определенном соотношении почвы и воды.

Для приготовления почвенной пасты, при отсутствии дистиллированной воды, может быть использована чистая дождевая вода или, в крайнем случае, кипяченая мягкая вода.

*Измерения по стенке разреза или карьера.* Обычно для измерений по стенке разреза или карьера делается небольшая установка электродов AMNB с равными расстояниями между ними. Основа деревянная или из пластика, электроды (стержни) из металла (Рисунок 3А). К прибору подсоединяются соответствующим образом (Рисунок 3Б) — крайние электроды к разъемам АВ, а средние к разъемам MN

Можно проводить измерения в глубину по профилю почвы с любым необходимым шагом, обычно через 5 или 10 см. Можно проводить также измерения и по горизонтам. Поскольку измерения проводятся быстро, то повторностей можно набрать для каждой глубины или горизонта достаточно много, обычно по 5–10 и более.



Рисунок 3. Схема четырехэлектродной установки для измерений электрического сопротивления или электропроводности по стенке почвенного разреза (А); измерение по стенке карьера (Б)

Измерения можно проводить двумя способами.

Первый, это когда коэффициент установки АВМN «введен» в память прибора. В этом случае на табло при измерениях будут высвечиваться реальная величина удельного электрического сопротивления в Омм или КОмм.

Во втором случае, если коэффициент установки по какой-либо причине при выходе в поле не посчитан и не введен в память прибора, измерения следует проводить при  $K_0=1$ , введенном в память прибора на постоянно. В этом случае, при измерениях на приборе будут высвечиваться не реальные величины сопротивления, а отличные величины сопротивления на величину коэффициента установки.

Измерение электрического сопротивления по стенке разреза надо проводить сразу после вскрытия разреза, особенно, если стоит жаркая погода и стенка разреза быстро подсыхает. Заметим, что зачистка стенки разреза через день другой на 10–20 см не дает желаемого результата и подсыхание все равно влияет на величину реального сопротивления. Важно представлять себе, что это напрямую относится и к режимным наблюдениям.

Большие расстояния использовать не вполне корректно, так как в этом случае измерениями будут охватываться сразу несколько горизонтов, и мы будем получать некорректную профильную кривую сопротивления.

Заметим, что конструктивно четырехэлектродные установки могут быть самыми разными. Важно только, чтобы не было утечек. Заземлять глубоко нет необходимости — главное, чтобы был устойчивых контакт с почвой.

*Кажущееся удельное электрическое сопротивление:*

Кажущееся удельное электрическое сопротивление — это сопротивление, измеренное явно для неоднородного объема почвы в неоднородном электрическом поле. Примером



может служить *горизонтальное электрическое профилирование (ГЭП)* — способ измерения электрического сопротивления неизменной установкой AMNB, перемещаемой по линии (профилю) и обеспечивающей измерение примерно одинакового по мощности слоя почвы

Метод горизонтального профилирования (ГЭП) позволяет проводить измерения удельного электрического сопротивления также четырехэлектродным датчиком AMNB, как и при измерениях по стенке разрезов, но с 30, 50, 70, 100 см расстояниями между электродами, отдельно каждым или одним из них. В почвенной практике наибольшее распространение нашли установки AMNB с равными расстояниями между электродами, равными 30 или 50 см, что обеспечивает измерения глубин примерно до 30 и 50 см, соответственно. Например, при расстояниях между электродами в 30 см измерениями охватываются верхние горизонты или пахотные слои почвы.

Для быстрого проведения таких измерений используется специальное Т-образное приспособление из пластмассовых труб с постоянным размещением на них электродов-стержней AMNB (Рисунок 4). Стержни-электроды с помощью многожильных проводов соединены с прибором LandMapper: электроды АВ с клеммой АВ прибора, MN электроды с клеммами MN прибора. Для удобства обычно для АВ выбираются красные провода для MN — черные.



Рисунок 4. Горизонтальное электропрофилирование (ГЭП)

Вдоль выбранной линии опробования с заранее выбранным шагом последовательно проводят заземление датчика AMNB. Заземление удобно проводить «гарпунным ударом» умеренной силы с последующим укреплением контакта электродов-стержней небольшим нажимом правой и левой ноги, поочередно. Исключать чрезмерные усилия, приводящие к поломке приспособления для заземления электродов.

Измерения можно проводить и с произвольным шагом и не обязательно вдоль линии. Можно обследовать площади произвольной конфигурации и с произвольным количеством точек опробования. Измерения производятся быстро и можно набрать достаточное количество данных для последующей обработки их в программах статистики или геоинформационных систем (ГИС) таких как Surfer и MapInfo. Для использования программ ГИС необходимо при измерениях электрического сопротивления определять географические координаты точки обследования с помощью навигатора.

*Вертикальное электрическое зондирование (ВЭЗ)* — способ измерения кажущегося удельного электрического сопротивления с глубиной. Это осуществляется путем заземления электродов АВ и MN с нарастающими расстояниями между ними и постоянным центром на поверхности почвенного покрова. То есть, оставаясь на одной точке и постепенно увеличивая расстояние между электродами, можно «заглянуть» глубоко в почвенную толщу, изучить ее профиль, не закладывая разреза (Рисунок 5).

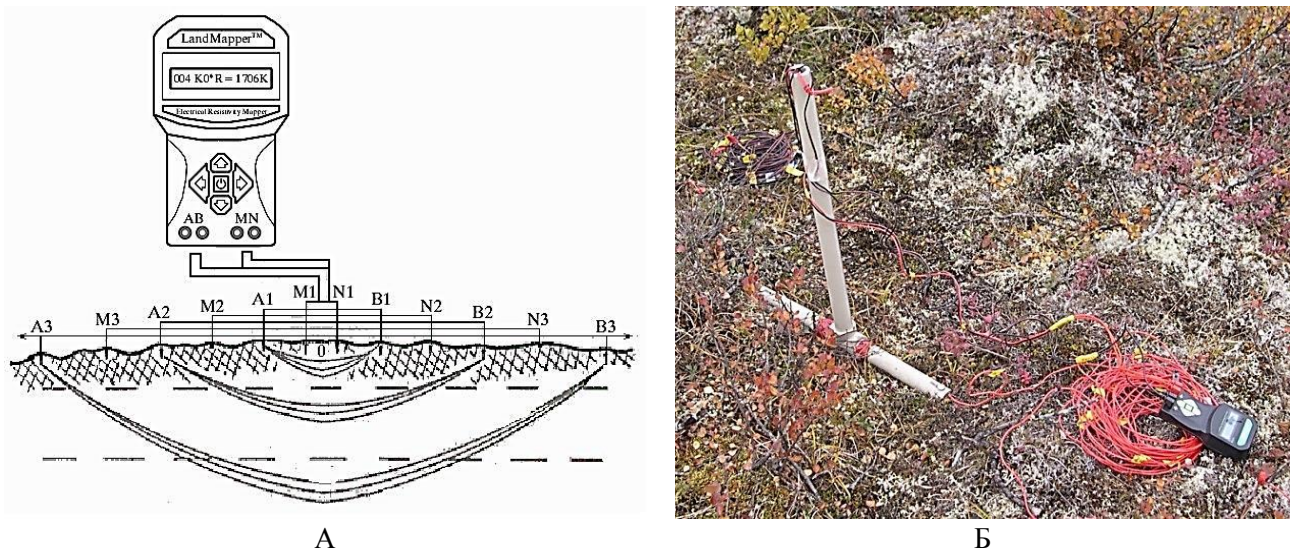


Рисунок 5. Схема вертикального электрического зондирования (А)  
и установка для проведения зондирования (Б)

Изучение почв и грунтов проводится ВЭЗ с малыми разносами (от долей метра до первого десятка метров).

*Процедура измерений ВЭЗ.* В исследуемом месте выбирается «точка» — центр зондирования. Обычно при классическом проведении ВЭЗ измерения начинают от центра установки электродов, постепенно увеличивая расстояния между АВ и MN, так как при использовании общераспространенной геофизической аппаратуры, например АЭ-72, сигнал уменьшается и с определенного расстояния он аппаратурой уже не фиксируется. Приходится увеличивать расстояние MN.

При использовании прибора LandMapper измерения можно проводить при одном и том же MN на всех разносах АВ используемых при исследовании почв на глубину 3-5 метров. Для этого в точке зондажа заземляется специальное приспособление, включающее жестко закрепленные электроды MN и вспомогательные штыри, такие же, как электроды, позволяющие фиксировать центр установки. Жесткое закрепление центра установки обеспечивает более удобное формирование направления линий питающих электродов АВ.

Специальным образом размеченные провода (Рисунок 5Б), с электродами на концах, растягиваются в разные стороны таким образом, чтобы образовалась одна прямая линия.

Если планируется проводить мониторинг, то крайние точки АВ фиксируются кольшками, чтобы как можно точнее проводить заземления в последующие сроки измерений.

Измерения удобно проводить втроем. Один человек находится в центре зондирования и производит измерения. Два других на линиях зондирования АВ последовательно производят заземления электродов, согласно длины разносов, указанных на проводах, начиная с самого длинного в 10 м, постепенно продвигаясь к центру установки. Такая схема измерений для почвенных исследований более удобна, чем классическая, которая предусматривает начало измерений от центра к периферии.

После окончания зондирования, аналогичные операции проводят на новой точке. При исследованиях почв расстояния между соседними точками ВЭЗ (шаг съемки) берутся небольшими, в среднем 5–10 м. Естественно, что при проведении съемок с целью детального или крупномасштабного картирования, шаг опробования определяется масштабом съемки.

В результате строятся графики зависимости кажущегося электрического сопротивления (ER) от полуразноса (AB/2). Этот график носит название кривой электрозондирования (кривой ВЭЗ), которая характеризует изменение так называемых «кажущихся» удельных электрических сопротивлений с глубиной. (Рисунок 6)

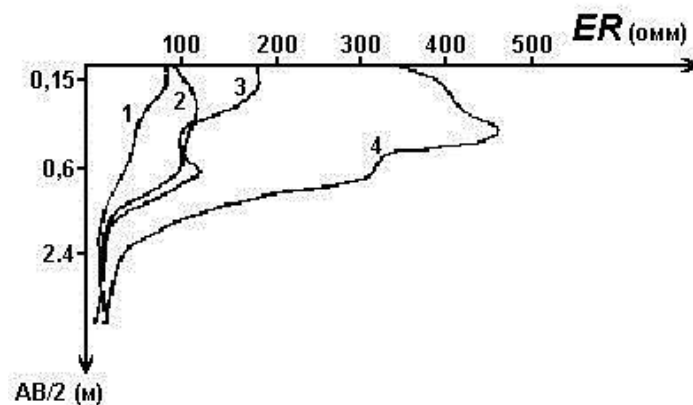


Рисунок 6. Кривые вертикального электрозондирования (ВЭЗ) некоторых почв.  
1 — на целинном лугу, 2 — под сосняками, 3 — на лгу после вырубке леса, 4 — под ельником

Полуразнос не является реальной глубиной и зависит очень сложным образом от величин электрических сопротивлений, сочетания и мощности слоев (горизонтов). При самых ориентировочных оценках глубин зондирования можно принять их равными 1/3 АВ.

Обработка данных (их анализ, интерпретация) проводится самыми разными методами и программами, в основе которых лежат алгоритмы с использованием решения классических уравнений электромагнетизма [5]. Качественная интерпретация значений ВЭЗ проводится в параметрах собственно кажущихся сопротивлений или их аналогов в координатах АВ/2. При интерпретации кривых ВЭЗ возникает задача подразделения их на слои, которые должны соответствовать определенным генетическим горизонтам почвы. Как и всякий график функции, кривые ВЭЗ, изображенные в логарифмическом масштабе (по оси абсцисс откладываются АВ/2, а по оси ординат ER) имеют точки экстремумов, участки монотонности, выпуклости и вогнутости, точки перегибов, асимптоты и прочее.



Экстремумы графика как правило приурочены к точкам максимальной выраженности специфических свойств соответствующего горизонта, Точки перегибов естественно отнести к границам почвенных горизонтов (слоев), поскольку здесь реже меняется характер изменений кажущегося сопротивления, а следовательно, осуществляется переход к новому качеству. Углы наклона участков монотонности кривых характеризуют скорость нарастания (или убывания) того или иного характерного для данного горизонта признака.

Количественная интерпретация результатов зондирования заключается в определении числа слоев в почвенном профиле, отличающихся по электрическому сопротивлению, их мощностей (или глубин залегания нижних границ) и удельных электрических сопротивлений. Все количественные методы интерпретации основываются на решении основного дифференциального уравнения поля постоянного тока — уравнения Лапласа.

Успешное применение количественной интерпретации с использованием компьютерной техники возможно лишь в том случае, когда почвенная толща представляет собой набор почвенных горизонтов или слоев изотропных (однородных по горизонтали и вертикали в электрическом отношении) с резкими параллельными границами раздела и с нарастающими в глубину мощностями этих слоев. В почвенных условиях это не всегда выполняется, поэтому получение точных глубин расположения горизонтов представляется возможным только при наличии достаточно больших повторностей проведения ВЭЗ на объекте обследования.

*Перечень задач, выполняемых с помощью метода электросопротивлений  
(электропроводности) и прибора LandMapper:*

1. Изучать генетические и почвенно-экологические особенности почв. Оценивать морфологические особенности почв
2. Проводить различные виды картирования почв, на основе специфических электрических потенциалов разных почв. Например, проведение почвенно-экологического обследования сельскохозяйственных угодий, парков, скверов, придорожных газонов и др. с целью выявления зон локализации, площади, масштабов и степени загрязнения самыми разными загрязнениями-нефтепродуктами, городским мусором, промышленными стоками, дорожными антифризами, токсичными солями и т. п.
3. Детальное и крупномасштабное почвенное, почвенно-экологическое, почвенно-агрохимическое обследование и картирование различных сельскохозяйственных угодий без закладки разрезов, скважин и отбора образцов:
  - оценка гумусового состояния
  - оценка засоления (общее засоление почвы)
  - оценка площади, масштабов и степени загрязнения нефтепродуктами, дорожными антифризами и промышленными стоками.
4. Обследование и картирование промышленных и бытовых свалок:
  - поиск мест захоронения ценных предметов, объектов преступлений, мест локализации свалок и т. п.;
  - поиск мест прорыва промышленных и бытовых канализационных стоков;
  - выявление локальных обще-экологически неблагоприятных зон, с дальнейшим обследованием методами полевой электрофизики;
  - определение стратиграфии (строения) любой почвенной, грунтовой или созданной человеком толщи (например, свалки).
5. Определения ряда свойств почв и грунтов.



6. Изучение гидрологической обстановки.

7. В точном земледелии [6, 7]

Перечень задач, решаемых с помощью прибора LandMapper, на этом не исчерпывается и может быть расширен.

#### *Выводы*

Во всех методах для измерения сопротивления или электропроводности используется один и тот же подход, который является измерительной основой для всех методов. Следовательно, они могут выполняться одним и тем же прибором LandMapper различной модификации.

Методы ГЭП и ВЭЗ рекомендуется применять в почвенных исследованиях в сочетании с программами геоинформационных систем (ГИС), таких как Surfer и MapInfo. В этом случае можно осуществлять экологический мониторинг в пространстве и во времени и наглядно представлять распределение тех или иных свойств в виде картосхем.

#### *Источники:*

(1). Ground Conductivity Meters. Режим доступа: <https://goo.gl/KUNat6> (дата обращения 12.10.2017).

(2). Mapping texture with Soil EC captures this key physical property. Режим доступа: <https://goo.gl/PfuVoq> (дата обращения 12.10.2017).

(3). Geo-Equipment. Режим доступа: <http://landviser.net/content/geo-equipment> (дата обращения 12.10.2017).

#### *Sources:*

(1). Ground Conductivity Meters. Access mode: <https://goo.gl/KUNat6> (circulation date 12.10.2017).

(2). Mapping texture with Soil. Access mode: <https://goo.gl/PfuVoq> (circulation date 12.10.2017).

(3). Geo-Equipment. Access mode: <http://landviser.net/content/geo-equipment> (circulation date 12.10.2017).

#### *Список литературы:*

1. Вадюнина А. Ф., Поздняков А. И. Изменение потенциала электрического поля некоторых почв // Вестник Московского университета. Серия 16: Биология. 1974. №4. С. 108-112.

2. Поздняков А. И. Полевая электрофизика почв. М.: МАИК Наука/Интерпериодика, 2001. 188 с.

3. Lück E., Gebbers R., Ruehlmann J., Spangenberg U. Electrical conductivity mapping for precision farming // Near Surf Geophys. 2009. №7. P.15-25.

4. Golovko L., Pozdnyakov A., Pozdnyakova A. LandMapper ERM-02: Handheld Meter for Near-Surface Electrical Geophysical Surveys // FastTIMES (EEGS) Agriculture: A Budding Field in Geophysics. 2010. V. 15. №4. P. 85-93.

5. Поздняков А. И., Ковалев Н. Г. Позднякова А. Д. Полевая электрофизика в почвоведении, мелиорации и земледелии. Тверь: ЧуДо, 2002. 257 с.

6. Bottega E. L., de Queiroz D. M., de Assis de Carvalho Pinto F., Valente D. S. M., de Souza C. M. A. Precision agriculture applied to soybean crop: Part II - Temporal stability of

management zones // *Australian Journal of Crop Science (AJCS)*. 2017. V. 11. №06. P. 676-682. DOI: 10.21475/ajcs.17.11.06.

7. Corwin D. L., Lesch S. M. Application of Soil Electrical Conductivity to Precision Agriculture: Theory, Principles, and Guidelines // *Agronomy Journal*. 2003. V. 95. №3. P. 471-471.

*References:*

1. Vadyunina, A. F., & Pozdnyakov, A. I. (1974). Change in the Potential of the Electric Field of Certain Soils. *Vestnik Moskovskogo Universiteta, Series 16: Biology*, (4), 108-112

2. Pozdnyakov, A. I. (2001). Field Electrophysics of Soils. Moscow, MAIK Nauka / Interperiodika, 188

3. Lück, E., Gebbers, R., Ruehlmann, J., & Spangenberg, U. (2009). Electrical conductivity mapping for precision farming. *Near Surf Geophys*, (7), 15-25

4. Golovko, L., Pozdnyakov, A., & Pozdnyakova, A. (2010). LandMapper ERM-02: Handheld Meter for Near-Surface Electrical Geophysical Surveys. *FastTIMES (EEGS) Agriculture: A Budding Field in Geophysics*, 15, (4), 85-93

5. Pozdnyakov, A. I., Kovalev, N. G., & Pozdnyakova, A. D. (2002). Field Electrophysics in Soil Science, Land Reclamation and Farming. Tver, Chudo, 257

6. Bottega, E. L., de Queiroz, D. M., de Assis de Carvalho Pinto, F., Valente, D. S. M., de Souza, C. M. A. (2017). Precision of agriculture applied to soybean crop: Part II - Temporal stability of management zones. *Australian Journal of Crop Science (AJCS)*, 11, (06), 676-682. doi:10.21475 / ajcs.17.11.06

7. Corwin, D. L., & Lesch, S. M. (2003). Application of Soil Electrical Conductivity to Precision Agriculture: Theory, Principles, and Guidelines. *Agronomy Journal*, 95, (3), 471-471

*Работа поступила  
в редакцию 12.03.2018 г.*

*Принята к публикации  
17.03.2018 г.*

*Ссылка для цитирования:*

Позднякова А. Д., Поздняков Л. А., Анциферова О. Н. Универсальный прибор для измерений электрических свойств почв // *Бюллетень науки и практики*. 2018. Т. 4. №4. С. 232-245. Режим доступа: <http://www.bulletennauki.com/pozdnyakova-1> (дата обращения 15.04.2018).

*Cite as (APA):*

Pozdnyakova, A., Pozdnyakov, L., & Antsiferova, O. (2018). Universal device for measuring electrical properties of soils. *Bulletin of Science and Practice*, 4, (4), 232-245