

**РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК
ФГБНУ «ВСЕРОССИЙСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ИНСТИТУТ АГРОХИМИИ ИМЕНИ Д.Н. ПРЯНИШНИКОВА»**

Главные редакторы: Виктор Г. Сычёв и Лотар Мюллер

**НОВЫЕ МЕТОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ
ИССЛЕДОВАНИЙ ЛАНДШАФТОВ В ЕВРОПЕ,
ЦЕНТРАЛЬНОЙ АЗИИ И СИБИРИ**

Монография в 5 томах

Том III Мониторинг и моделирование ландшафтов

**В содружестве с Академией почвенного плодородия
Митчерлиха (МИТАК), Паулиненуэ, Германия**

Москва 2018

**RUSSIAN ACADEMY OF SCIENCES
FSBSI «ALL-RUSSIAN RESEARCH INSTITUTE OF AGROCHEMISTRY
NAMED AFTER D.N. PRYANISHNIKOV»**

Main editors: Viktor G. Sychev and Lothar Mueller

**NOVEL METHODS AND RESULTS OF
LANDSCAPE RESEARCH IN EUROPE, CENTRAL
ASIA AND SIBERIA**

Monograph in 5 Volumes

Vol. III Landscape Monitoring and Modelling

**With friendly support of the Mitscherlich Academy for Soil Fertility
(MITAK), Paulinenaue, Germany**

Moscow 2018

ББК 4035
УДК 504.54:631.42
Н 78

Новые методы и результаты исследований ландшафтов в Европе, Центральной Азии и Сибири (в пяти томах). Том 3. Мониторинг и моделирование ландшафтов /под редакцией академика РАН В.Г.Сычева, Л. Мюллера. – М.: изд-во ФГБНУ «ВНИИ агрохимии», 2018. – 352 с.
ISBN 978-5-9238-0249-8 (Том 3)

Коллектив авторов и редакторов под руководством В.А. Романенкова (Москва), А.Х. Шеуджена (Краснодар), Л. Мюллера (Мюнхеберг).

Главные редакторы: Лотар Мюллер (Лейбниц центр агроландшафтных исследований, Мюнхеберг, Германия) и Виктор Г. Сычёв (Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии им. Д.Н. Прянишникова, Москва, Россия)

Монография содержит информацию о самых современных методологиях и результатах в ландшафтных исследованиях. Она может быть использована в качестве руководства для исследователей, преподавателей, студентов и всех, кого интересует тема ландшафтной науки и смежных дисциплин. Монография является особо ценной информационной базой для лиц, принимающих решения на различных уровнях, от местных до международных органов по принятию решений. Приведенная в монографии информация представляет собой современный уровень ландшафтной науки в очень краткой форме.

Содержание глав дано в авторской редакции. Редакторы не несут ответственности в отношении опубликованных материалов.

Novel Methods and Results of Landscape Research in Europe, Central Asia and Siberia (in five volumes). Vol. 3. Landscape Monitoring and Modelling /main editors Viktor G. Sychev, Lothar Mueller. – М.: Publishing House FSBSI «Pryanishnikov Institute of Agrochemistry», 2018. – 352 p.

Team of authors and editors under the guidance of: Vladimir A. Romanenkov (Moscow), Askhad Kh. Sheudzhen (Krasnodar), Lothar Mueller (Muencheberg)

Main editors: Lothar Mueller (Leibniz Centre for Agricultural Landscape Research, Muencheberg, Germany) and Viktor G. Sychev (All-Russian Research Institute of Agrochemistry named after D.N. Pryanishnikov, Moscow, Russia)

This monograph shall inform you about up to date methodologies and recent results in landscape research. It is intended as a guide for researchers, teachers, students, decision makers, stakeholders interested in the topic of landscape science and related disciplines. It provides information basis for decision makers at various levels, from local up to international decision bodies, representing the top level of landscape science in a very short form.

Authors are responsible for the content of their chapters. Neither the authors nor the editors can accept any legal responsibility for any errors or omissions that may be made. The editors make no warranty, express or implied, with respect to the material contained herein.

ISSN 978-5-9238-0246-7
ISBN 978-5-9238-0249-8 (Том 3)
DOI 10.25680/1490.2018.71.71.003

© ФГБНУ «ВНИИ агрохимии» 2018

Часть 10 Сенсоры и технологии мониторинга Part 10 Sensors and Monitoring Technologies

Основная глава 10.1 Наземные датчики и технологии мониторинга Main Chapter 10.1 Terrestrial Sensors and Monitoring Technologies

Глава III/38: ПРИМЕНЕНИЕ электрофизических методов в ландшафтных исследованиях Chapter III/38: Application of Electrophysical Methods in Landscape Research

Галина Ю. Рабинович^{*1}, Антонина Д. Позднякова¹, Лев А. Поздняков^{1,2}

DOI 10.25680/3457.2018.62.78.231

*Эл. Почта: vniimz@list.ru

1. Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт мелиорированных земель» (ФГБНУ ВНИИМЗ), п. Эммаусс, д. 27, 170530, Тверская область, Россия

2. Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Факультет почвоведения, Ленинские горы, д. 1, стр. 12, 119991 Москва, Россия

РЕЗЮМЕ. Целью данной работы является описание принципа и возможности применения электрофизических методов – метода горизонтального электрического профилирования (ГЭП) и метода вертикального электрического зондирования (ВЭЗ) почв. ГЭП и ВЭЗ – это экспресс-методы измерения электрического сопротивления почв на любой глубине, не нарушая почвенного покрова. Измерения проводятся специально разработанным для этих целей геофизическим прибором LandMapper[®]. Методы могут применяться для мониторинговых наблюдений различных свойств почв, для экспрессного полевого картирования и мониторинга сельскохозяйственных угодий, геологических, гидрологических и экологических изысканий; а также строительства и ландшафтного дизайна. Метод опробован на основных агроландшафтах Европы, Азии и Америки.

Abstract. Goal of this paper is to present the principle and applications of electrical geophysical methods – method of horizontal electrical profiling (HEP or mapping) and vertical electrical sounding (VES) in soil studies. HEP and VES are methods measuring soil electrical resistivity at any depth without collecting samples and disturbing topsoil. Measurements are conducted with the geophysical device LandMapper[®] which was specially designed for soil landscape research. Methods can be applied to monitor various soil properties, to fast mapping and monitoring of agro-landscapes, to geological, hydrological and ecological research; and also to construction planning and landscape design. Methods were tested in agro-landscapes of Europe, Asia and America.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: агроландшафт, метод, геофизика, удельное электрическое сопротивление, картирование почв, Евразия

Keywords: agro-landscape, method, geophysics, electrical resistivity, soil mapping, Eurasia

ВВЕДЕНИЕ

Преыдушими нашими исследованиями было установлено, что почвы не только аридных, но и гумидных территорий различаются по величинам удельного электрического сопротивления [1, 2, 3]. Причина формирования этих различий заключается в том, что под действием почвообразовательных процессов в них создается различная плотность (концентрация) подвижных электрических зарядов (катионов ЕКО и почвенного раствора). Сопротивление, таким образом, связано с широким комплексом свойств почв и является их интегральным показателем.

Процессы выщелачивания – оподзоливание, лессиваж, рассоление, осолодение и другие аналогичные процессы, увеличивая долю первичных, устойчивых минералов крупных фракций, снижают плотности подвижных электрических зарядов и увеличивают сопротивление почвы. Процессы гумусонакопления, оглеения, торфонакопления, окультуривания и другие подобные увеличивают плотность подвижных электрических зарядов и тем самым снижают его.

Таким образом, для дифференциации почв, различающихся характером либо степенью выраженности процессов почвообразования, а следовательно – свойствами и таксономическим положением – могут быть эффективно использованы электрофизические методы.

Набор электрофизического инструментария уже сейчас не мал и приносит большую пользу при точном земледелии. Но особенно важно, что электрические параметры могут быть измерены дистанционно, очень быстро и с минимальными затратами труда.

ЦЕЛЬ МЕТОДОВ

Электрофизические методы ГЭП (горизонтальное электропрофилеирование) и ВЭЗ (вертикальное электрическое зондирование) должны облегчить процессы обследования и картирования различных ландшафтов. Для этих целей используются различные приборы. Наиболее удобным является портативный прибор LandMapper. Прибор разработан российскими учеными при поддержке американской компании Landviser LLC [4, 5, 6], и производится в России с 2003 года (ИП Гео-Про). Используя эти методы до отбора проб почвы можно значительно уменьшить количество необходимых образцов и точно разработать план картирования и мониторинга на основе пространственной изменчивости исследуемого участка.

ПРИНЦИП И ПРОЦЕДУРА

В основе методов ГЭП и ВЭЗ лежит измерение удельного электрического сопротивления прямолинейной симметричной четырехэлектродной установкой электродов AMNB (рисунок 1А). На электроды АВ подают ток произвольной величины (I). На электродах MN измеряют сформировавшуюся разность потенциалов (U). Электрическое сопротивление рассчитывают по формуле: $ER = K \cdot (U/I)$, где K – коэффициент установки AMNB. $K = AM \cdot AN / MN$ (м).

Измерения проводим с помощью прибора LandMapper (рисунок 1Б). Прибор исключительно прост в эксплуатации. Электродная установка с четырьмя электродами легко заземляется на поверхности почвы, после нажатия кнопки через 4 секунды значение электрического сопротивления считывается с цифрового дисплея. Прибор измеряет электрическое сопротивление в слое почвы глубиной от 2 см до 50 м, которая устанавливается путем увеличения размера четырех-электродной установки. Измерения основаны на хорошо известном принципе "4-электрода", что позволяет избежать влияния разности потенциалов на контакте измерительных электродов и получить точные значения удельного электрического сопротивления в любой среде с сопротивлением от 0.01 Ом м до 1.5 Мега Ом м.

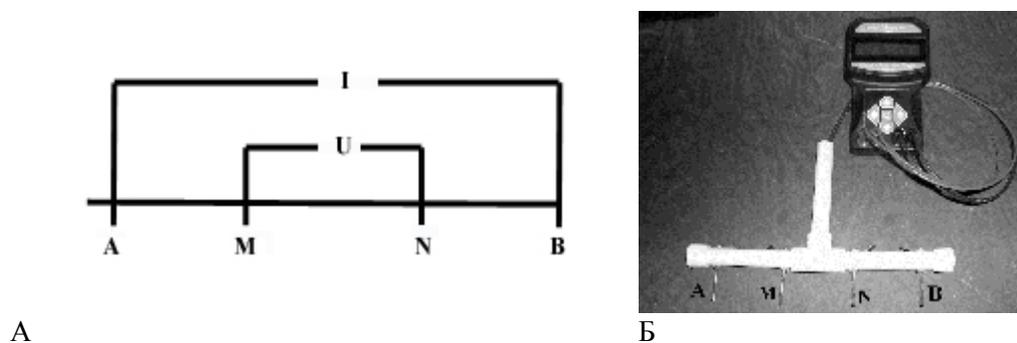


Рисунок 1 – Схема измерений удельного электрического сопротивления (А). Прибор и установка для измерений при горизонтальном электропрофилеировании (Б).

Используя раму с фиксированным расстоянием между электродами, можно довольно быстро ставить карту удельного электрического сопротивления на нужной нам глубине (метод ГЭП). Наоборот, оставаясь на одной точке и постепенно увеличивая расстояние между электродами, можно "заглянуть" глубоко в почвенную толщу, изучить ее профиль, не закладывая разреза (рисунок 2). Это метод вертикального электрического зондирования (ВЭЗ). Полуразносы электродов MN выбираются так, чтобы они размещались в средней трети соответствующих межэлектродных расстояний АВ. Графики зависимостей электрического сопротивления от полуразноса АВ/2 называются кривыми ВЭЗ или функцией зависимости кажущегося сопротивления от полуразноса АВ/2 (рисунок 2Б). В этих кривых заключена информация об изменении сопротивления с глубиной, но не напрямую, а через посредство разносов электродов на поверхности почвы. Понятно, что глубина измерения сопротивления сложным образом зависит от самого сопротивления и структуры почвенного профиля.

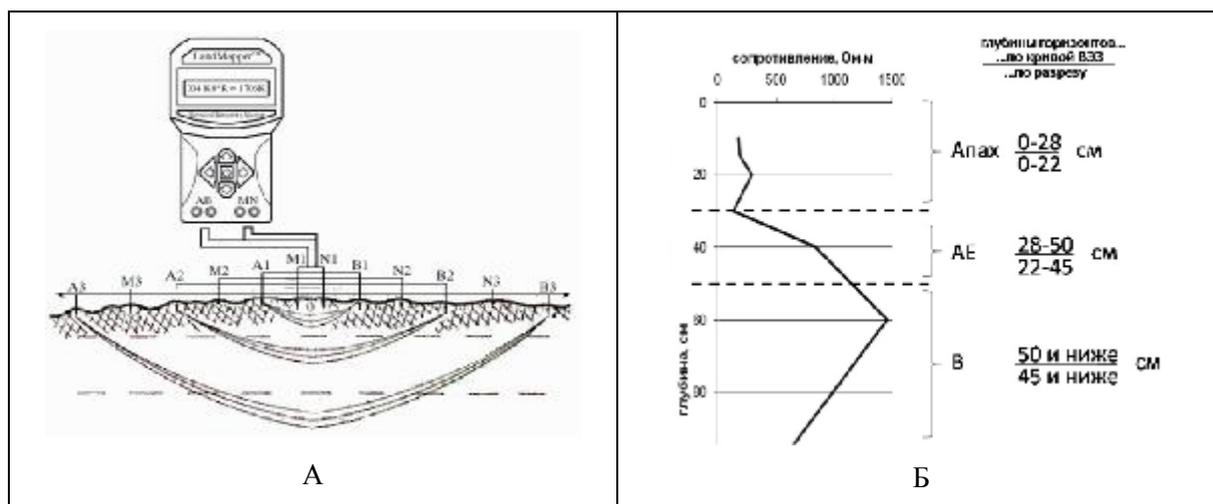


Рисунок 2 – Схема измерений в методе ВЭЗ (А), кривая ВЭЗ и результат ее интерпретации (Б)

РЕЗУЛЬТАТЫ

Полевые испытания прибора и методов электрофизики были выполнены нами и другими исследователями в России, Украине, Казахстане, Азербайджане, Китае, США, Канаде, и многих других странах.

На территории Евразии метод был протестирован на почвах сельхозугодий в различных природно-климатических условиях. Методы полевой электрофизики широко применяли для решения многих задач, сопутствующих мелиорации и экологическому мониторингу. На основе ГЭП и ВЭЗ проводили картирование исследуемых территорий на заданной глубине, не нарушая почвенный покров. Полученные карты-схемы для ряда торфяных массивов в Карелии и Центрального Нечерноземья, скелетных, песчаных, засоленных и других почв не только упростили и ускорили картирование, но дали также дополнительную информацию, позволившую объективно выбрать точки бурения скважин, места закладки почвенных разрезов, всевозможных мониторинговых наблюдений и т.п.

Метод ВЭЗ позволяет определять мощности горизонтов и слоев самого разного генезиса и состава, в самых разных почвах. Успех здесь во многом обусловлен различием в величинах электрических параметров. Ошибки таких подразделений слоев и горизонтов не превышали 6,2-11,5% [3].

Накоплен также опыт использования методов полевой электрофизики для изучения, оценки и идентификации гидрологической обстановки мелиорированных или подлежащих мелиорации торфяных почв. В аридной зоне аналогичные работы проведены на засоленных почвах дельты Волги и при изучении подтопления г. Астрахани.

Метод ВЭЗ позволяет также оценивать степень окультуренности торфов при формировании из них торфяных почв, определять глубины окультуренных горизонтов дерново-подзолистых почв, некоторые их особенности и ряд физических и химических свойств. Точность этих оценок относительно высока (не менее 10-15%) и вполне достаточна для практических целей.

Определение глубины иссушения торфяных почв методом ВЭЗ, проведенное в сухой вегетационный период 1995 года, показало возможность ее оценки с точностью до 7-9% этим методом. Попытки оценки глубины залегания грунтовых вод на торфяниках гумидной зоны не увенчались успехом, так как эпюра распределения влажности в торфяных почвах гумидной зоны не определяется положением грунтовой воды, к тому же достаточно большая (40-60 см.) капиллярная кайма сводит на нет такие попытки. Успешное применение методов полевой электрофизики с целью определения уровня грунтовых вод оказалось возможным лишь в аридных регионах.

Наблюдения за влажностью, при достаточной иссушенности торфяных почв в зоне действия закрытых дренажных систем, позволили также установить возможность вычленения различий в картинах распределения влажности в зоне действия дрен различного устройства и их работоспособность, методами полевой электрофизики.

Метод ВЭЗ позволяет также оценить глубину, динамику и неоднородность промерзания и оттаивания торфяников и торфяных почв при постоянном размещении установки зондирования под снежным покровом, а также обнаруживать линзы остаточного промерзания после весеннего оттаивания и, тем самым, идентифицировать причину заболачивания блюдцеобразных понижений. Особые успехи этих методов видятся при мониторинговых наблюдениях, т.к. позволяют проводить измерения без нарушения почв в точках наблюдений бесконечно длительное время. Поэтому представляется целесообразным дальнейшие исследования сосредоточить и в этом направлении.

ВЫВОДЫ ПО ИСПОЛЬЗОВАНИЮ МЕТОДОВ

Электрофизические методы применимы для экспрессного полевого картирования и мониторинга сельскохозяйственных угодий, геологических, гидрологических и экологических изысканий; а также строительства и ландшафтного дизайна. Прибор LandMapper является универсальным инструментом измерения электрического сопротивления или электропроводности почв. Он портативен, система работы довольно проста. Применяя различные установки электродов можно использовать его и в полевых и лабораторных условиях.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Методы ГЭП и ВЭЗ – это простые, реальные и проверенные методы оценки качества почв для любых ландшафтов.

Особые успехи этих методов видятся при мониторинговых наблюдениях, т.к. позволяют проводить измерения без нарушения почв в точках наблюдений бесконечно длительное время.

Методы полезны для оценки и картографирования почв.

Рекомендуется использовать методы электрофизики в комбинации с традиционными методами обследования почв.

ЛИТЕРАТУРА

[1]Поздняков А.И., Позднякова Л.А., Позднякова А.Д. Стационарные электрические поля в почвах. – М.: КМК Scientific Press Ltd, 1996. - 358 с.

[2]Поздняков А.И. Полевая электрофизика почв. – М.: МАИК «Наука/интерпериодика», 2001. – 187 с.

[3]Поздняков А.И., Ковалев Н.Г. Позднякова А.Д. Электрофизика в почвоведении, мелиорации, земледелии. Москва-Тверь: Изд-во «ЧуДо», 2002. - 280 с.

[4]Larisa Golovko, Anatoly Pozdnyakov, and Antonina Pozdnyakova. LandMapper ERM-02: Handheld Meter for Near-Surface Electrical Geophysical Surveys// J. FastTIMES (EEGS). – 2010. –Vol.15, Issue 4 - Agriculture: A Budding Field in Geophysics. – p.85 – 93

[5]<http://www.landviser.net/>

[6]Loke, M.H., J.E. Chambers, and O. Kuras. “Instrumentation, electrical resistivity.” In *Solid Earth Geophysics Encyclopedia (2nd Edition), Electrical & Electromagnetic, Gupta, Harsh (ed)* - Berlin: Springer, 2011. – pp 599–604. <http://www.landviser.net/content/landmapper-featured-encyclopedia-solid-earth-geophysics>.