

## КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ

УДК 550.837.3

В.А. Шевнин<sup>1</sup>, Д.И. Матвейчук<sup>2</sup>, А.С. Дернова<sup>3</sup>КАРТИРОВАНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ ВОДЫ  
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВОДЫ ИЗ ЛУЖ*ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова», геологический факультет, 119991, Москва, ГСП-1, Ленинские Горы, 1**Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geology, 119991, Moscow, GSP-1, Leninskiye Gory, 1*

В работах Г. Арчи и В.Н. Дахнова представлены формулы связи между сопротивлением (или проводимостью) грунта и поровой влагой. Такая связь показывает, что необходимо знать сопротивление воды, изучать его на каждом участке полевых работ. В некоторых местах работ доступ к подземным водам (скважинам, колодцам, родникам) отсутствует или очень ограничен, как к поверхностным водам (рекам, ручьям, прудам, озерам). Можно ли измерить сопротивление воды в лужах? Сразу после дождя такая вода не имеет связи с сопротивлением грунта. Цель исследований состояла в оценке характера ионного обмена между грунтом и дождевой водой во времени. Выполнена проверка измерений сопротивления воды на контакте с грунтом во времени, выполненных предшественниками.

*Ключевые слова:* сопротивление воды и грунта, ионный обмен, вода в лужах.

In the papers of G.E. Archie and V.N. Dakhnov were presented formulas of dependence between resistivity (or conductivity) of soil and that of porous water. Such dependence shows that we need to know water resistivity, that means its study at each fieldwork area. In some areas places for groundwater are absent or restricted (boreholes, wells, springs) as places of surface water (rivers, streams, ponds, lakes). Can we measure water resistivity in pools? Immediately after rain such water has no relation with soil resistivity. The purpose of our study consists in determination the rules of ionic exchange between soil and rain water in time. In the paper [Brunet et al., 2010] the authors demonstrated results of water resistivity measurements at contact with soil in time. We wanted to check results of that experiment.

*Key words:* water resistivity, ion exchange with soil, water in pools.

**Введение.** В работах [Archie, 1942; Дахнов, 1951] установлена прямая пропорциональная связь удельного электрического сопротивления горных пород и воды, заполняющей поры в породе. Формула Арчи

$$\sigma^* = \phi^m \sigma_w,$$

где  $\sigma^*$  — электропроводность породы;  $\sigma_w$  — электропроводность воды;  $\phi$  — пористость породы;  $m$  — коэффициент извилистости пор, и аналогичная формула Дахнова отражают прямую пропорциональность сопротивления породы и поровой влаги.

Из этого факта следует, что желательно знать значение сопротивления воды, т.е. необходимо изучение его на каждом участке полевых работ. Во многих случаях мест для измерения сопротивления подземных (скважины, колодцы, родники) и поверхностных вод (реки, ручьи, пруды и озера) на

участке исследований бывает немного или их нет совсем, можно ли в таком случае дополнительно измерять сопротивление в дождевых лужах? Наш многолетний опыт работ по изучению электросопротивления воды в лужах и сравнение его с другими источниками воды [Электроразведка, 2013] свидетельствует, что это возможно. Вместе с тем измерение электросопротивления дождевой воды во время или сразу после дождя показывает, что эта величина не имеет связи с электросопротивлением подземных вод или пород. Таким образом, задача состоит в исследовании взаимодействия воды из луж с грунтом во времени, чтобы знать, с какого времени такие измерения полезны. Сопротивление воды полезно, с одной стороны, так как знание его величины позволяет лучше представлять возможные значения сопротивления пород и карту распределения сопротивления воды на участке можно

<sup>1</sup> Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, геологический факультет, кафедра геофизических методов исследования земной коры, профессор, доцент; *e-mail:* shevninvlad@yandex.ru

<sup>2</sup> Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, геологический факультет, кафедра геофизических методов исследования земной коры, студент 3-го курса; *e-mail:* matiwi1998@mail.ru

<sup>3</sup> Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, геологический факультет, кафедра геофизических методов исследования земной коры, студент 3-го курса; *e-mail:* azya98@yandex.ru

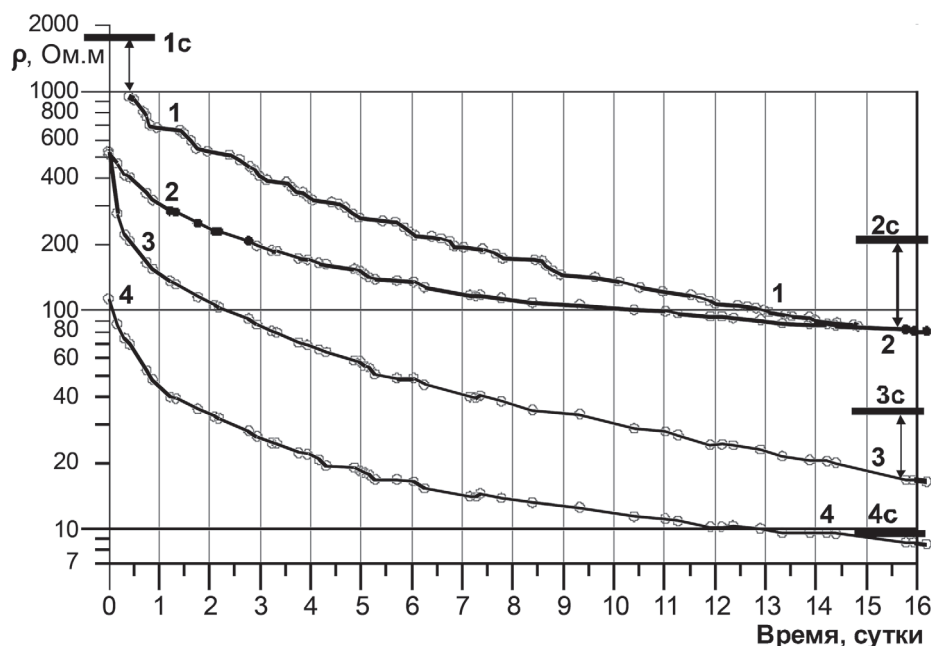


Рис. 1. Графики электросопротивления воды от времени: 1—4 — образцы грунта: песок «Эко», 2 — глина, 3 — строительный песок, 4 — грунт

#### Описание проб грунта.

Для измерений использовали 4 образца грунта: песок для аквариума «Эко», строительный песок марки «Каменный цветок», глину типа бентонит, по-видимому, синтетическую, а не природную, и почвенный грунт, собранный вблизи д. Александровка (Калужская область), глинистый и торфянистый. Примерно 0,5 кг

грунта помещали в пластиковый сосуд, в который добавляли дистиллированную воду (сопротивление около 1000 Ом·м) в объеме, равном или чуть большем объема грунта, и начинали измерения электропроводности сначала каждые 2–3 час, потом интервал времени увеличивался, средний интервал в течение 15 сут составил 8 час.

получить в полевых условиях достаточно быстро, а когда луж много, то детальность карты может быть высокой, что удобно при изучении загрязнений. Недавно появилась работа [Brunet et al., 2010], в которой показаны результаты эксперимента по изменению сопротивления воды, находящейся в контакте с грунтом во времени, и сделано заключение, что через 2 сут после дождя сопротивление дождевой воды оказалось близко к сопротивлению грунтовой воды, рисунок из работы [Brunet et al., 2010] вызвал некоторые вопросы, поэтому мы проделали аналогичные эксперименты.

Рассмотрим графики зависимости электросопротивления воды от времени, показанные на рис. 1. Электросопротивление дистиллированной воды уменьшается после контакта с грунтом за счет ионного обмена. Самое высокое электросопротивление воды отмечено в случае контакта с песком «Эко» (1), который подготовлен для аквариумов и, по-видимому, хорошо промыт. Строительный песок (3) содержит больше солей, его электросопротивление в 4–5 раз меньше, чем у песка «Эко», еще ниже оно у грунта, собранного в почвенном слое (4). Неожиданно высокое электросопротивление обнаружено у глины (2), возможно, это искусственная глина. Короткие горизонтальные отрезки с цифрами (1с-4с) показывают сопротивление грунта, насыщенного водой.

Чтобы определить скорость убывания электросопротивления от времени, ее рассчитывали по формуле  $V=(\rho_1-\rho_2)/(T_2-T_1)$ , где между моментами времени  $T_1$  и  $T_2$  прошло 15-20 ч, что соответствует 5 измерениям

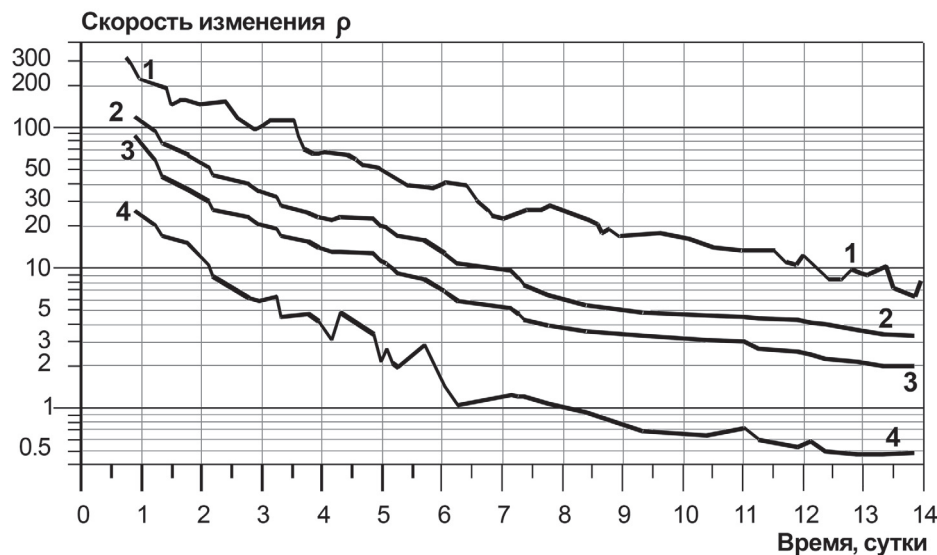


Рис. 2. Графики скорости изменения электросопротивления от времени. Условные обозначения см. на рис. 1

Рис. 2. Графики скорости изменения электросопротивления от времени. Условные обозначения см. на рис. 1

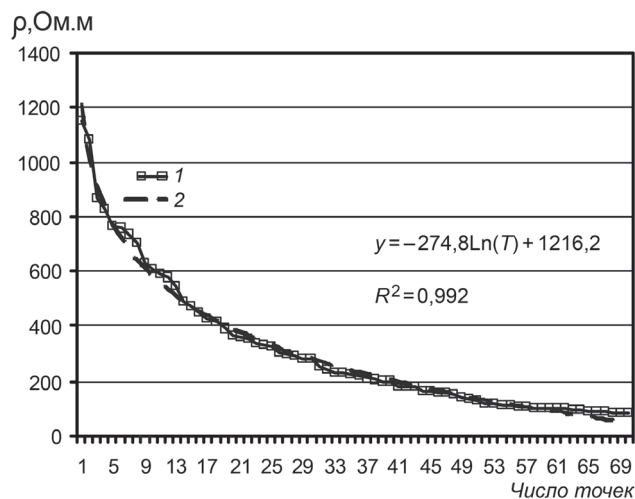


Рис. 3. Аппроксимация линии сопротивления для образца 1 линией тренда: 1 — измерения, 2 — линия тренда

(измерения делали не через одинаковые промежутки времени), а потом сглаживали кривые скорости (среднее геометрическое по 7 точкам) (рис. 2). Такая методика позволяла снизить влияние помех при дифференцировании.

На рис. 2 видно, что самая высокая скорость изменения электросопротивления у песка «Эко» (1), следующая у глины (2), потом у строительного песка (3) и самая низкая у грунта (4). Скорость изменения за 15 дней убывает больше чем на порядок. В первые 5 сут скорость изменяется в 5–10 раз, в последующие 10 сут — в 5 раз.

Судя по рис. 1, через первые 5 сут после выпадения дождя электросопротивление воды в луже уменьшится в 10 раз и более, а еще через 10 сут в 2–3 раза. Вода через 5 сут после начала контакта с грунтом отражает электросопротивление грунта [Электроразведка, 2013], и ее можно использовать в расчетах по формуле Арчи. В нашем эксперименте сопротивление воды и через 15 сут еще не стабилизировалось и продолжало снижаться, но уже заметно медленнее, чем в первые сутки.

Линии изменения сопротивлений грунтов на рис. 1 выглядят достаточно гладкими, и мы попытались аппроксимировать их в MS Excel линией тренда. Пример для грунта 1 показан на рис. 3,

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Дахнов В.Н. Электрическая разведка нефтяных и газовых месторождений. Л.: Гостоптехиздат, 1951. 428 с.  
 Электроразведка: Пособие по электроразведочной практике для студентов геофизических специальностей. Т. 2. Малоглубинная электроразведка / Под ред. В.А. Шевнина, А.А. Бобачева. М., 2013. Гл. 16. Резистивиметрия.

там же записано уравнение тренда. Погрешность логарифмической аппроксимации  $R^2=0,992$ .

Дополнительно мы измерили сопротивление четырех образцов грунта, участвовавших в первом эксперименте (рис. 1) и насыщенных водой. Эти значения электросопротивления грунта должны коррелировать с электросопротивлением воды, контактирующей именно с этим грунтом.

Сопротивление грунта показано на рис. 1 горизонтальными отрезками рядом с графиками электросопротивления воды, которые имеют номера грунта (1с–4с). Три значения электросопротивления получены после эксперимента и приведены на рис. 1 справа. Электросопротивление в образце воды в песке «Эко» (1) измеряли раньше, чем в других образцах, поэтому образец после завершения первого цикла опытов с водой высох и был для измерения насыщен свежей дистиллированной водой, результат приведен на рис. 1 слева.

Электросопротивление грунта для образцов 1, 2, 3 выше, чем у насыщающей влаги. Это нормально, их отношение позволяет определить пористость грунта по формуле Арчи. Результат несколько странный для глины, видимо, это вызвано тем, что глина не природная, а синтетическая и ведет себя иначе. Для почвенного грунта из Александровки (4) сопротивление грунта и воды почти совпадает. Причина в том, что грунт 4 — глинистый с включениями торфа и имеет высокую пористость.

**Закключение.** Изучены закономерности изменения электросопротивления воды на контакте с рыхлыми грунтами разного состава. Для грунтов разного состава изменения сопротивления от времени схожи, отличаясь лишь по скорости. Наибольшие изменения происходят в течение первых 5 сут, после чего можно полагать, что сопротивление воды отражает литологический состав грунта.

Можно использовать электросопротивление воды из луж через 5 дней после дождя для характеристики типов пород. Возможность измерения электросопротивления воды из луж позволяет делать массовые измерения, этот прием рекомендуется для широкого использования.

Archie G.E. The electrical resistivity log as an aid in determining some reservoir characteristics, // Trans. Am. Inst. Mining Met. Eng. 1942. Vol. 146. P. 54–62.

Brunet P., Clement R., Bouvier C. Monitoring soil water content and deficit using electrical resistivity tomography (ERT) — A case study in the Cevennes area, France // J. Hydrology. 2010. Vol. 380. P. 146–153.

Поступила в редакцию 20.02.2019

Поступила с доработки 26.04.2019

Принята к публикации 26.04.2019