

УДК 550.837.6

П.А. КАЛЕЙЧИК

**ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ ЭЛЕКТРОРАЗВЕДКИ ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ  
ОЦЕНКИ ЗАГРЯЗНЕННОСТИ ГРУНТОВ И ПОЧВ**

*УО «Гомельский государственный университет им. Ф. Скорины»,  
г. Гомель, Республика Беларусь,  
[j\\_summer@mail.ru](mailto:j_summer@mail.ru)*

*В данной статье рассмотрено применение электроразведки в целях экологического мониторинга. Рассмотрена история изучения грунтов методами электроразведки,*

*методика электроразведки, а также основное электромагнитное свойство – удельное электрическое сопротивление. В заключении описана роль электроразведки в экологическом мониторинге.*

Оценка экологического состояния и мониторинг земель городских территорий и сельскохозяйственного назначения – одна из наиболее важных проблем современной экологии и почвоведения. Они включают в себя широкий ряд вопросов, которые варьируются от оценки плодородия почв для ведения точного земледелия до определения степени загрязненности литотехнических систем с целью строительства и ведения промышленности.

Главнейшими загрязнителями почв и грунтов являются производственные объединения, специализирующиеся на выпуске продукции химического характера (соли, удобрения, пестициды, инсектициды), и предприятия по производству углеводородного сырья. И те, и другие в значимой степени загрязняют территорию по площади грунт в глубину. В случае первых (химические предприятия) в процессе производства продукции образуются отвалы, состоящие преимущественно из солей. В большинстве случаев они не защищены от атмосферных осадков, которые растворяют и распространяют эти соединения по значительной территории, тем самым способствуя образованию засоленных почв и грунтов. Помимо этого, полученные растворы солей проникают и вглубь земли, обогащая этим низлежащие грунтовые воды ионами различных солей, которые разносят их более обширно, чем атмосферные осадки и эоловое выветривание непосредственно с самих солеотвалов. В случае с нефтепромысловыми и нефтеперерабатывающими предприятиями углеводороды часто загрязняют землю в связи с происшествными на производстве (авария, выброс) и при транспортировке (прорыв трубопровода).

Во всех случаях требуется проводить тщательный анализ и мониторинг процессов производства. Одно из перспективных направлений – это система геофизических наук. Для применения в экологических целях ведущее место в ней занимает электроразведка. Этому способствует ряд факторов: мобильность методов, дешевизна использования, сохранение ландшафта в целостности и др. Один из них – это наличие характерных электромагнитных свойств у загрязнителей, что непосредственно позволяет качественно и количественно провести изыскания и мониторинг.

Вопрос изучения электроразведкой почв и грунтов имеет почти двухвековую историю. Сведения об использовании методов электрометрии в исследованиях почвоведения берут свое начало еще с конца XIX века. М. Whitney в 1897 году опубликовал несколько статей о своих экспериментах по определению влажности почвы с помощью гальванического тока. Данный вопрос в России продолжил К.К. Гедройц, в 1900 г. опубликована его работа о методе электропроводности для изучения концентрации солей в почве. В ней он объяснил, что электропроводность почвы, кроме концентрации солей, зависит от многих факторов: температуры, влажности, механического состава. Позднее электрические закономерности грунтов, указанные Гедройцем, были подробно изучены такими русскими учеными, как А.Ф. Вадюнина, Ю.Г. Ткаченко, О.Ж. Раисов, К.Ю. Хан, А.М. Шкаруба, С.И. Долгов, Л.П. Копикова, А.И. Поздняков, А.В. Смагин, Е.В. Шеин. [3]

Методология изучения почв имело несколько направлений. Одно из них связано с развитием электрофизических приборов и техники, позволяющих изучать электропроводность природных растворов в порах почв естественного сложения, использовать параметры электрического поля почв. Данное направление получило развитие в 70-х гг. XX века, основой для него послужило теоретическое обоснование методов постоянных электрических полей почв для оценки их генетических особенностей при проведении

фундаментальных почвенных исследований и картирования, а также многочисленные разработки комплексных методик оценки электрических полей орошаемых почв на основе электро- и гидрофизических наблюдений. Более востребованные методы: метод естественного электрического поля и методы сопротивлений, включая электропрофилирование, вертикальное электрическое зондирование и радиоволновое профилирование, зондирование (георадар или радиолокационные зондирования).

Методы сопротивлений основаны на наиболее универсальном электромагнитном свойстве – удельном электрическом сопротивлении. Удельное электрическое сопротивление ( $\rho$ ), является наиболее универсальным электромагнитным свойством, изменяется в породах в широком диапазоне – от единиц до многих тысяч Ом-метров. Для наиболее распространенных осадочных, изверженных и метаморфических горных пород в реальных условиях залегания (в массиве) оно зависит от минерального состава, водных и физико-механических свойств горных пород, а также от других факторов (температура, глубина залегания, степень метаморфизма, техногенные воздействия и др.).

Удельное электрическое сопротивление минералов зависит от собственных внутрикристаллических связей. Для минералов-диэлектриков (кварц, слюды, полевые шпаты и т. д.) с преимущественно ковалентными связями характерны весьма высокие сопротивления (1012–1016 Ом·м). Минералы-полупроводники (карбонаты, сульфаты, галоиды и т. п.) имеют ионные связи и характеризуются повышенными сопротивлениями (104–108 Ом·м). Глинистые минералы (гидрослюды, монтмориллонит, каолинит и т. п.) обладают ионно-ковалентными связями и выделяются достаточно низкими сопротивлениями ( $< 104$  Ом·м). Для рудных минералов (самородные, некоторые оксиды) характерна электронная проводимость, и они очень хорошо проводят электрический ток ( $\rho < 1$  Ом·м). Первые две группы минералов образуют «жесткий» скелет большинства горных пород, глинистые минералы – «пластичный» скелет. Рудные минералы встречаются нечасто, и в инженерной геофизике их влиянием можно пренебречь. Характерно, что «пластичные» минералы способны адсорбировать связанную воду, а породы с «жесткими» минералами могут насыщаться лишь свободной водой.

Удельное электрическое сопротивление свободных подземных вод (гравитационных и капиллярных) изменяется от долей ом-метра при очень высокой общей минерализации ( $M > 10$  г/л) до 1000 Ом·м при очень низкой минерализации ( $M \leq 0,01$  г/л). Химический состав растворенных в воде солей не играет существенной роли, поэтому, по данным электроразведки, можно судить лишь об общей минерализации подземных вод. Удельное электрическое сопротивление связанных подземных вод низкое и мало изменяется (от 1 до 10 Ом·м). Это объясняется достаточно постоянной их минерализацией (1–3 г/л). Так как поровая влага (свободная и связанная) отличается значительно более низким удельным электрическим сопротивлением, чем жесткий минеральный скелет, сопротивление горной породы не зависит от его минерального состава. Наличие «пластичных» минералов, точнее, глинистость породы, влияет на ее сопротивление значительно больше. В целом сопротивление породы зависит от тех факторов, которые увеличивают количество внутриводной влаги. Кроме глинистости, это такие физико-механические свойства, как средний диаметр твердых частиц породы, дисперсность, т. е. показатель неоднородности размеров частиц, пористость, трещиноватость, извилистость поровых каналов. На сопротивление оказывают влияние следующие водные свойства: коэффициенты влажности, водонасыщенности, водоотдачи, проницаемости, фильтрации и др. [1].

Загрязнение нефтепродуктами имеет следующие особенности – проникая в горные породы, углеводороды скапливаются в коллекторах над грунтовыми водами (верхний

водоносный горизонт) или в подземных водах. Поэтому решение гидроэкологических задач, связанных с загрязнением почв, грунтов и верхней части геологической среды нефтепродуктами, начинается с выявления коллекторов (песков, пористых известняков, полускальных пород) и водоупорных горизонтов (глин, скальных пород).

Хотя нефтепродукты по удельному электрическому сопротивлению близки к изоляторам, в горных породах, насыщенных ими, сопротивление может быть, как выше, так и ниже, чем у тех же пород, но водоносных. Объясняется это вымыванием нефти водой, химическим и биологическим (под воздействием микроорганизмов) окислением. Окисление, идущее на контакте вода – нефть, происходит тем быстрее, чем больше воды в породе и выше скорость ее движения, а значит, выше в ней концентрация кислорода. В результате нефтезагрязнение замещается продуктами окисления (сульфиды, в частности, пирит и др.), которые образуют в подземной воде электролит с низким удельным сопротивлением. Поэтому в обводненных породах при разных соотношениях высокоомного слоя нефти или нефтепродуктов и окружающего их низкоомного слоя за счет переработки нефтепродуктов могут создаваться зоны как повышенного, так чаще и пониженного сопротивления. В районах, где расположены необводненные породы, нефтепродукты могут сохраняться сколь угодно долго, а загрязненные ими породы выделяются как высокоомные объекты [4].

В случае засоления грунтов и подземных вод сопротивление горных пород, особенно трещиноватых и обводненных, определяется в значительной мере минерализацией подземных вод, так как электропроводность у пород в основном ионная. Поэтому для геологического истолкования данных метода сопротивлений надо знать общую минерализацию подземных вод. Ее определяют путем резистивиметрических измерений, т. е. определением сопротивления воды с помощью установок метода сопротивлений малых размеров, помещенных в трубу (сосуд), изготовленную из изолирующего материала.

Наиболее применимые методы при мониторинге загрязнений:

– вертикальное электрическое зондирование (ВЭЗ) основано на измерении электросопротивления на разной глубине в одном месте с поверхности почвы. Преимуществом метода является отсутствие необходимости закладки почвенных разрезов и скважин, не нарушается целостность геологического разреза;

– горизонтальное электрическое профилирование (ГЭП) – способ измерения электрического сопротивления неизменной установкой, перемещаемой по линии и обеспечивающей измерение примерно одинакового по глубине слоя грунта.

Это первые методы, с которых следует начинать обследование на загрязненность намеченной территории, так как они обладают определенной «дистанционностью» и при их использовании нет нужды закладывать разрезы и бурить скважины. Хотя число ВЭЗов на исследуемой территории обычно не велико, ими можно получить информацию о засолении на любой глубине, без закладки разрезов, и поэтому этот этап работы весьма важен. Анализ семейства ВЭЗов, полученных на исследуемой территории, позволяет выбрать такой разнос, на котором будет проводиться ГЭП, то есть картирование исследуемой территории. На этом разносе, названном «эффективным», наиболее четко расчленяются загрязненные и незагрязненные грунты, а по величине сопротивления можно судить о степени загрязнения. Важно, что при измерениях ВЭЗами и ГЭПами снижается влияние влажности, так как верхние самые иссушенные слои мало влияют на сопротивление. Самые верхние максимально сухие и распыленные слои почвы «пробиваются» электродами и уже первые разносы зондажа охватывают слои в 10–15 см глубиной, где иссушение почвы уже спадает. Тем не менее, влияние влажности, обусловленное ее эпюрной распределением от грунтовой воды, позволяет

методом ВЭЗ легко устанавливать глубину залегания грунтовых вод, особенно если они засолены, а также их степень засоления [2].

Периодически повторяя профильные или площадные съемки этими методами, можно судить об изменении загрязненности и осуществлять прогноз (мониторинг). Проведение электроразведки на нефтепромыслах, нефтегазохранилищах и заводах сопряжено с большими трудностями из-за невозможности проводить равномерную площадную съемку, приспособив профили к дорогам, участкам, где можно вести измерения. Большие помехи, особенно на низких частотах, создают металлические конструкции, линии электропередач, трубопроводы, которые, кстати, сами часто являются объектами исследования.

На основании изученного материала можно сделать заключение, что исследования электропроводности грунтов все чаще используются наряду с общепринятыми физико-химическими методами для решения ряда практических вопросов современной экологии и почвоведения. Удельное электрическое сопротивление является одной из наиболее удобных и быстроопределяемых характеристик, позволяющее дать оценку свойствам горной породы (гранулометрический и минералогический состав, влажность и ряд других) и степени ее загрязнения (засоления). Важно отметить, что измерение электрического сопротивления не заменяет определение физико-химических свойств, но помогает существенно снизить число анализируемых проб, необходимых для полной характеристики пространственной изменчивости грунтовой загрязненности. Современные мобильные устройства измерения удельного электрического сопротивления горных пород позволяют картировать площадь загрязнений, проводить послойное измерение электропроводности грунта территории. Удельное электрическое сопротивление является сложным показателем, позволяющим из минимума данных построить информативную модель физико-геологических процессов.

### Список литературы

- 1 Манштейн, А.К. Малоглубинная геофизика / А.К. Манштейн. – Новосибирск: Новосибирский государственный университет, 2002.
- 2 Оценка засоления почв и грунтовых вод методами электрического сопротивления / А.И. Поздняков, Е.В. Шеин, А.В. Федотова, А.П. Шваров, Л.В. Яковлева. – Астрахань: Издательский дом «Астраханский университет», 2012.
- 3 Субботина, М.Г. Об электропроводности почв в современных исследованиях / М.Г. Субботина, Батье-Салес-Хорхе // Пермский аграрный вестник. – 2013. – № 3.
- 4 Хмелевской В. К. Геофизические методы исследования земной коры. Книга 2. Региональная, разведочная, инженерная и экологическая геофизика. – Дубна: Международный университет природы, общества и человека «Дубна», 1999.

P.A. KALEYCHIK

### ***THE USE OF THE ELECTRIC PROSPECTING METHODS FOR EVALUATION OF SOIL AND GROUND CONTAMINATION***

*This article studies the usage of electric prospecting for environmental monitoring purposes. It describes the history of soil monitoring by electric prospecting, the technique of electric prospecting, as well as the basic electromagnetic property which is electrical resistivity. Conclusion part describes the role of electric prospecting in the environmental monitoring.*