

УДК 504.054: 550.83.045

DOI: 10.46698/VNC.2023.42.75.004

Оригинальная статья

## Геофизические исследования на карбоновом полигоне Чеченской Республики

И.А. Керимов<sup>1,2</sup>, А.С. Эльжаев<sup>1</sup>, А.А. Додуев<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Грозненский государственный нефтяной технический университет  
им. акад. М.Д. Миллионщикова, Россия, 364051, г.Грозный, пр. им. Х.А. Исаева, 100;

<sup>2</sup>Институт физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН  
Россия, 123242, г.Москва, Б. Грузинская ул., д. 10, стр. 1,  
e-mail: aslambek.elzhaev@mail.ru

Статья поступила: 16.06.2023, доработана: 27.08.2023, принята в печать: 05.09.2023

**Резюме: Актуальность работы.** В последнее время значительно возрос интерес исследователей всего мира к проблеме климатических изменений и сохранения окружающей среды. С недавнего времени в России реализуется проект по созданию карбоновых полигонов и карбоновых ферм. Чеченская республика вошла в число первых семи регионов, в которых созданы карбоновые полигоны для реализации мер контроля климатических активных газов. WAYCARBON – карбоновый полигон Чеченской республики, одним из операторов которого является Грозненский государственный нефтяной технический университет им. академика М.Д. Миллионщикова (ГГНТУ). Территория полигона (на которой проводят научные исследования специалисты ГГНТУ) имеет площадь 470 га и охватывает шесть эталонных участков, находящихся в различных природных зонах с уникальной экосистемой. Немаловажную роль в решении проблем геоэкологии играют геофизические исследования, получившие широкое применение в решении таких задач как изучение территорий захоронения различных твердых отходов и других загрязненных (в том числе нефтепродуктами) территорий, негативно влияющих на состояние окружающей среды. Данная статья посвящена геофизическим исследованиям, проведенным на эталонном участке «Карбоновая ферма», а также на экспериментальном нефтезагрязненном участке. Представлены результаты исследований. **Цель работы.** Проведение геофизических исследований на участках Карбонового полигона Чеченской Республики для изучения техногенных факторов и воздействия их на окружающую среду. **Методы исследования.** На «Карбоновой ферме» проведена сейсморазведка методом преломленных волн (МПВ) в виде отдельных сейсмозондирований по сетке профилей, каждый из которых отработан 3-4 расстановками (по 94 м) сейсмоприемников. Экспериментальный нефтезагрязненный участок был изучен электротомографией (ЭТ) и методом вертикального электрического зондирования (ВЭЗ). **Результаты исследования.** В процессе исследований получен качественный материал, позволивший построить сейсмические разрезы, карту мощности техногенного грунта, карты-срезы распределения удельных электрических сопротивлений, геоэлектрические разрезы.

**Ключевые слова:** геофизические исследования, экология, карбоновый полигон, сейсморазведка, продольные и поперечные волны, электротомография.

**Благодарности:** Работа выполнена в рамках государственного задания № FZNU-2021-0012 «Комплексная интерпретация геофизических и геоэкологических данных для изучения баланса парниковых газов».

**Для цитирования:** Керимов И.А., Эльжаев А.С., Геофизические исследования на карбоновом полигоне Чеченской Республики. *Геология и геофизика Юга России*. 2023. 13(3): 49-62. DOI: 10.46698/VNC.2023.42.75.004.

DOI: 10.46698/VNC.2023.42.75.004

Original paper

## Geophysical research on the carbon polygon of the Chechen Republic

I.A. Kerimov<sup>1,2</sup>, A.S. Elzhaev<sup>1</sup>, A.A. Doduev<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Grozny State Oil Technical University named after Academician M.D. Millionshchikov, 100 Ave. H.A. Isaeva, Grozny 364051, Russian Federation;

<sup>2</sup>Schmidt Institute of Physics of the Earth, Russian Academy of Sciences, 10/1 Bolshaya Gruzinskaya, Moscow 123242, Russian Federation, e-mail: aslambek.elzhaev@mail.ru

Received: 16.06.2023, revised: 27.08.2023, accepted: 05.09.2023

**Abstract: Relevance.** The global scientific community has recently shown a heightened interest in climate change and environmental conservation. In response to this, a project has been launched in Russia to establish carbon polygons and carbon farms. The Chechen Republic was among the first seven regions to create carbon polygons for the management of climate-active gases. The Grozny State Oil Technical University (GSOTU), named after academician M.D. Millionshchikov operates one such carbon polygon, known as WAYCARBON. The polygon spans 470 hectares and encompasses six reference sites located in various natural zones with unique ecosystems. An important role in solving the problems of geoecology is played by geophysical research, which is widely used in solving such problems as studying the territories of burial of various solid wastes and other contaminated (including oil) territories that negatively affect the state of the environment. This article is devoted to geophysical studies carried out at the reference area “Carbon Farm”, as well as at the experimental oil-contaminated area. The research results are presented. **Aim.** Carrying out geophysical methods in the areas of the carbon polygon of the Chechen Republic to study man-made factors and their impact on the environment. **Methods.** At the carbon farm, seismic exploration by the method of refracted waves (RW) was carried out in the form of separate seismic soundings along a grid of profiles, each of which was worked out by 3-4 arrangements (94 m each) of seismic receivers. The experimental oil-contaminated area was studied by electrotomography (ET) and vertical electrical sounding (VES). **Results.** In the process of research, high-quality material was obtained, which made it possible to build seismic sections, a map of the thickness of technogenic soil, maps-sections of the distribution of electrical resistivity distribution and geoelectric sections.

**Keywords:** geophysical research, ecology, carbonic polygon, seismic prospecting, longitudinal and transverse waves, electrotomography.

**Acknowledgments:** *The work was performed within the state task No FZNU-2021-0012 «Complex interpretation of geophysical and geoecological data for studying the balance of greenhouse gases».*

**For citation:** Kerimov I.A., Elzhaev A.S., Doduev A.A. Geophysical research on the carbon polygon on the Chechen Republic. *Geologiya i Geofizika Yuga Rossii = Geology and Geophysics of Russian South*. (in Russ.). 2023. 13(3): 49-62. DOI: 10.46698/VNC.2023.42.75.004.

### Введение

Как известно, карбоновые полигоны – это один или более участков с уникальной экосистемой, используемых для проведения актуальных научных исследований в сфере экологии. Грозненский государственный нефтяной технический университет им. академика М.Д. Миллионщикова (ГГНТУ), как один из операторов Карбонового полигона Чеченской республики, имеет шесть эталонных [Керимов и др., 2021] и один экспериментальный нефтезагрязненный участок с разными типами ландшафтов и растительности общей площадью 472,4 га:

- «Ханкала (Кампус)» – 18 га;
- «Карбоновая ферма» – 23 га;
- «Старопромысловский» – 41 га;
- «Толстой-Юрт» – 94 га;
- «Рошни-Чу» – 243 га;
- «Галанчож» – 51 га;
- «Поселок Кирова» (нефтезагрязненный участок) – 2,4 га.

Проблемы экологии (геоэкологии) достаточно давно изучаются геофизикой, объектом исследования которой является Земля с ее оболочками. В инженерной геофизике, как в одном из направлений прикладной геофизики, изучаются проблемы эндогенных (внутренних) и экзогенных (внешних), медленных и катастрофических природных геодинамических процессов (сейсмичность, выветривание, оползни, обвалы и т.п.), антропогенно-техногенных проявлений, (взрывов, аварий, техногенного загрязнения и т.д.), загрязнения геологической среды вещественного (химического), например отходами промышленного, городского и сельского хозяйства, или энергетического (физического), например за счет роста интенсивности акустических (шумовых), электромагнитных, тепловых, ядерных полей, влияющих на здоровье людей [Богословский и др., 2000].

Отличительной особенностью геофизических методов является возможность быстрого и детального изучения физических полей геологической среды в условиях сильных техногенных нагрузок.

Методы, основанные на изучении физических полей, обеспечивают наибольшую пространственную и временную плотность наблюдений, что является существенным положительным моментом при изучении антропогенной нагрузки на геологическую среду. Основными задачами геофизических методов являются: 1) районирование территорий по признаку чувствительности горных пород к различным видам загрязнения; 2) нахождение очагов загрязнения и определение границ распространения этого загрязнения; 3) получение количественных показателей, характеризующих степень воздействия загрязнителя на геологическую среду; оценка тенденций развития загрязнения с течением времени; 5) прогноз воздействия антропогенной деятельности на конкретные экосистемы [Огильви, 1990].

В последнее время геофизические методы нашли широкое применение в решении таких экологических (геоэкологических) задач как изучение территорий захоронения различных твердых отходов, хвостохранилищ промышленных предприятий и других загрязненных территорий, негативно влияющих на состояние окружающей среды. По мнению ряда авторов [Заалишвили и др., 2018; Попов, Попова, 2021] экологические задачи оценки геологической среды в районах повышенной экологической опасности решаются с помощью сейсмического мониторинга.

В рамках проекта Карбонового полигона Чеченской Республики сотрудниками лаборатории геофизических исследований НИИ геоэкологии и природопользования ГГНТУ проведены исследования на эталонном участке «Карбоновая ферма» и экспериментальном участке, загрязненном нефтепродуктами.

## Методика исследования

**1. Сейсмические исследования на «Карбоновой ферме».** В административном отношении участок исследования расположен на северо-восточной окраине г. Грозного на территории бывшей городской свалки, рекультивированной путем засыпки отходов грунтом и высадки деревьев.

Задача исследования – уточнение границы подошвы техногенного грунта с целью последующего определения его толщины.

Для решения поставленной задачи проведена сейсморазведка методом преломленных волн (МПВ). Выбор метода обусловлен несколькими причинами, основными из которых являются: во-первых, низкая информативность и разрешающая способность на данном участке наиболее распространенного в инженерной геофизике метода электроразведки – разрез характеризовался как высокоомный, с нелогичными значениями УЭС, что, скорее всего, связано с наличием среди отходов металлических включений; во-вторых, эффективность МПВ при решении задач выделения неглубоких границ и определения скорости волн в отдельных слоях [Романов и др., 2018].

Для оценки основных структурно-геологических особенностей, показателей свойств, состояния и состава нескальных грунтов используются, в основном, скорости продольных и поперечных сейсмических волн.

Сейсморазведка выполнялась в виде отдельных сейсмозондирований по системе профилей. Для корректного построения карт сеть профилей выбиралась максимально равномерной и плотной [Романов, 2015].

Отработка каждого профиля включала от трех до четырех расстановок сейсмоприемников по 94 метра каждая. Регистрация волн производилась с использованием 48-канальной линейной сеймостанции ЛАККОЛИТ-48М4. Шаг сейсмоприемников составлял 2 метра, а общая длина годографа – 94 м, что позволило изучить разрез до глубины 20 м. Всего выполнялось по 11 физических наблюдений (ФН) на пикетах пунктов возбуждения (ПВ). Последовательно выполнялась регистрация (табл. 1) продольных и поперечных волн. Возбуждение сейсмических волн осуществлялось ударами кувалды массой 8 кг по металлической пластине, установленной на грунт. Поперечные волны возбуждались разнонаправленными ударами по системе +YY и –YY.

Система наблюдений – встречные и нагоняющие годографы. Полевые исследования выполнены в соответствии с техническими требованиями к производству геофизических работ [РСН 66-87. Технические требования, 1987]. Схема сейсмических профилей исследуемого участка показана на рисунке 2. Система профилей равномерно покрывает территорию с шагом 85–90 м.

*Таблица 1. / Table 1.*

**Параметры регистрации /  
Registration parameters**

Параметры регистрации / Registration Settings	
частота дискретизации / sampling frequency	2000
длина записи, сек. / record length, sec.	2,56
ФНЧ, Гц / Low pass filter, Hz	выключен / switched off
ФВЧ, Гц / High-pass filter, Hz	$\frac{3}{4} N \text{ min}$
режекторный фильтр, Гц / Notch filter, Hz	выключен / switched off
усиление, дБ / gain, dB	12
формат записи / recording format	IEEE – SEG D

Камеральная обработка сейсморазведочных данных заключалась в следующем: построение годографов волн; определение скоростей волн в слоях и мощностей слоев; расчет и построение сейсмических разрезов.

Обработка данных производилась на ПЭВМ с использованием программы «ZOND» в следующей последовательности: составление паспортов профилей; редакция сейсмограмм; корреляция первых вступлений и фаз продольных и поперечных волн; обработка и редакция наблюдаемых годографов, составление систем сводных встречных и нагоняющих годографов; определение скоростных законов и вычисление граничных скоростей и построение преломляющих границ способом пластовых скоростей; обработка и редакция преломляющих границ, составление окончательных глубинных разрезов.

Распознавание и прослеживание сейсмических волн проводилось по комплексу динамических и кинематических характеристик, среди которых наибольшее значение имеет повторяемость формы записи на соседних трассах и плавное изменение интенсивности записи от трассы к трассе.

### Результаты сейсмических исследований

В процессе полевой обработки данных получены сейсмограммы, по которым проводилась корреляция первых вступлений и фаз продольных и поперечных волн и построены сейсмические разрезы указанных волн [Керимов и др., 2022] для каждого профиля, представленные на рисунке 1.

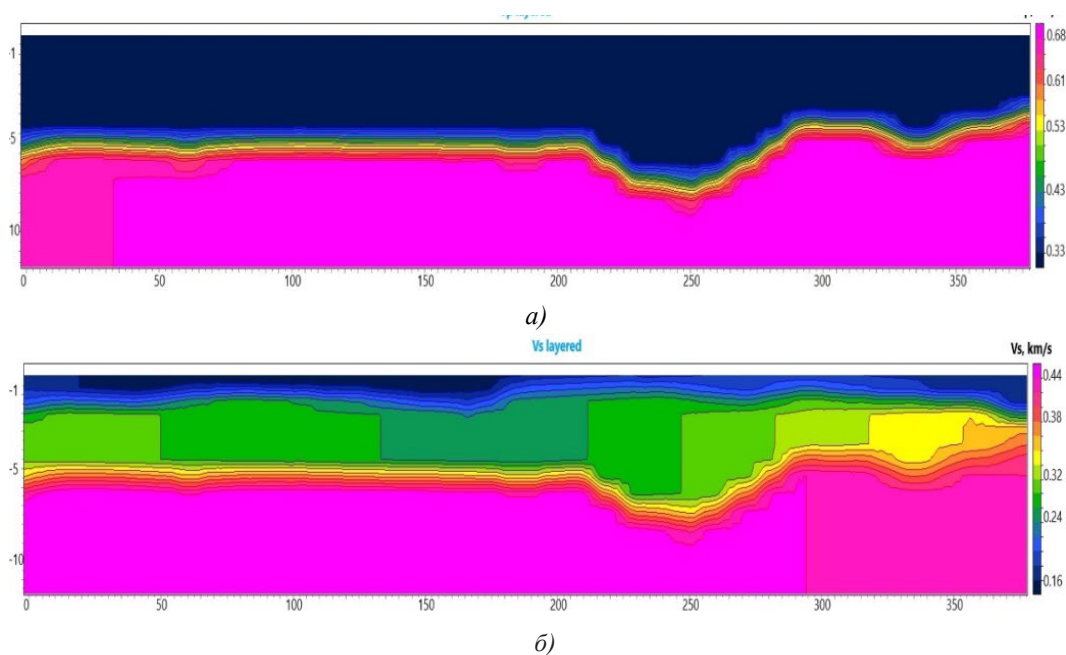


Рис. 1. Пример сейсмических разрезов продольных (а) и поперечных (б) скоростей профиля 1 /  
Fig. 1. An example of seismic sections of longitudinal (a) and transverse (b) profile velocities 1

На полученных разрезах отчетливо отражаются подошва насыпного и кровля нетронутого грунта. Эта граница однозначно выделяется по дифференциации скоростей. Границы выделяются как по продольным  $V_p$ , так и по поперечным  $V_s$  скоростям, идентичны и наблюдаются на одной глубине. Это, в свою очередь, свидетельствует о том, что грунтовые воды расположены на глубинах ниже исследованных.

На разрезе, построенном по данным поперечных скоростей, выделяется также насыпной слой, которым была проведена герметизация отходов.

Построена карта мощности насыпного грунта (рис. 2).



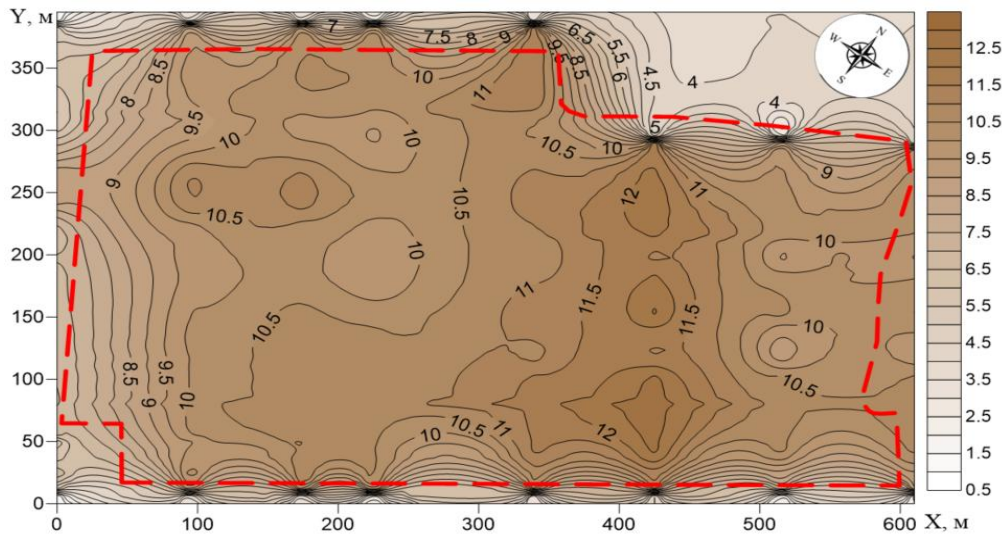


Рис. 2. Карта мощности насыпного грунта /

Fig. 2. Bulk soil power map

### Выводы по результатам сейсмических исследований

Анализ результатов сейсмических исследований позволяет сделать следующие выводы:

1. Граница, разделяющая ненарушенный и техногенный грунты, уверенно выделяется на всех разрезах за счет различия в скоростях. Для техногенного грунта характерны скорости продольных волн от 240 до 330 м/с в поле поперечных волн от 110 до 240 м/с.

2. Наиболее уверенно и детально особенности залегания грунтов выделяются на разрезах поперечных скоростей.

3. По соотношению величины скоростей до глубины 11-12 метров разрез представляется неоднородным.

4. Сравнение полученных значений скоростей техногенной природы с литературными источниками и опытом ранее выполненных работ свидетельствует об уплотнении слоя отходов за последнее время, практически до состояния естественного грунта.

### 2. Электротомографические исследования на нефтезагрязненном участке.

Наибольшее распространение среди методов инженерной геофизики получила электроразведка и ее модификации. Так, в работе [Пыстин и др., 2022] приводятся результаты электротомографии, которые позволили с высокой степенью достоверности выявить загрязнения окружающей среды нефтепродуктами и определить их площадное распространение.

Опыт применения электротомографии для оценки объемов веществ хвостохранилищ горнодобывающих предприятий описан в [Карин и др., 2021]. Возможность применения геофизики, в том числе и электрических исследований, при изучении почв рассмотрены в работах зарубежных коллег [Rabotetal., 2018; Romero-Ruizetal., 2018; Wangetal., 2016; Doolittle, Brevik, 2014; Binley, Kemna, 2005; Youngetal., 1998].

Исследуемый участок административно расположен в Шейх-Мансуровском районе г. Грозный на территориях бывших нефтеперерабатывающего завода имени Анисимова, Грозненского химического завода имени 50-летия СССР и нефтепере-

рабатывающего завода имени Шерипова. В настоящее время участок представляет собой экологически опасный объект, состоящий из пяти площадок (рис. 3) – накопителей отходов (хвостохранилищ) производства указанных предприятий.

Визуальный осмотр участка показал, что территория вокруг хвостохранилищ, включая их борты, заросли кустарниковой и злаково-разнотравной растительностью, содержащиеся в чашах хвостохранилищ нефтеотходы ранее подвергались отжигу, о чем свидетельствует тот факт, что на поверхности каждой зоны сформировалась плотная корка, представленная продуктами горения нефтеотходов и минерального грунта, черного и коричневого цвета с характерным запахом гари. Толщина корки до 5–7 см, под ней обнаруживаются слои до 25–50 см серого цвета нефтеотходов, маслянистой консистенции, смешанных с грунтом, ниже находится вода. Поверхность шламонакопителей неустойчива, при движении по поверхности происходит колебание грунта [Маркарова и др., 2022].

С целью выявления возможного наличия утечек загрязнения из хвостохранилищ в окружающую среду на одной из площадок нефтезагрязненного участка были проведены электрические исследования – электротомография (ЭТ) и измерения удельного электрического сопротивления (УЭС) с использованием зонда ВЭЗ 4-х-электродной мини-установки Виннера. Ставились задачи: 1. Анализ распределения УЭС в чаше хвостохранилища; 2. Оценка фильтрационных свойств бортов (дамб) хвостохранилища.

Исследования проводились с использованием измерителя электромагнитных полей МЭРИ-24, электроразведочного генератора Астра-100, коммутирующего модуля для электротомографии CommDD2 и соответствующего программного обеспечения.



Рис. 3. Ортофотоплан участка исследований по данным аэрофотограмметрической съемки /

Fig. 3. Orthophoto map of the study area according to aerial photogrammetric survey data

На исследуемом участке с целью подбора оптимальной установки для электротомографии выполнено ВЭЗ на переменном токе частотой 4,88 Гц. Величина разносов АВ/2 принималась равной – 1,5, 2, 3, 4, 6, 9,11, 15, 20,30, 40.В качестве источника тока использован генератор Астра с рабочей частотой 4,88 Гц, с режимом автоматической стабилизации выходного тока и внутренним калибровочным устройством. Заземление производилось латунными электродами на глубину 20–25 и 50 см. Величина токовой утечки определялась на максимальном разносе АВ/2.

Вычисление кажущегося электрического сопротивления  $\rho_k$  производилось по формуле:

$$\rho_k = \kappa \frac{\Delta U}{I}, \quad (1)$$

где  $\kappa = 2\pi \frac{AM \cdot AN}{MN}$  – коэффициент установки;  $\Delta U$  – напряжение на измерительных электродах;  $I$  – ток, протекающий по цепи АВ.

Вычисление УЭС и построение графиков  $\rho_k$  в логарифмическом масштабе 6,25 выполнялось в процессе измерений. Ошибка измерений по результатам контрольных измерений составила не более 4,4% (при допустимой  $m=5\%$ ).

Для проведения на данном участке электротомографии была собрана электро-разведочная мини-установка, состоящая из двух питающих и двух измерительных электродов.

Для анализа распределения удельного электрического сопротивления (УЭС) в чаше хвостохранилища и оценки фильтрационных свойств бортов шламоохранилища на предмет наличия возможных утечек была проведена электротомография (ЭТ) и измерения УЭС с использованием зонда ВЭЗ 4-хэлектродной мини-установки Виннера с шагом электродов 0,1 м. Диапазон полученных значений УЭС (на глубинах 25 и 65 см. от дневной поверхности) составил  $0.5 \div 2$  Омм, что нетипично для естественных и характерно для техногенных грунтовых условий, особенно с фактором химического загрязнения верхней части грунтовой толщи.

Схема профилей и точек измерения представлены на рисунке 4.

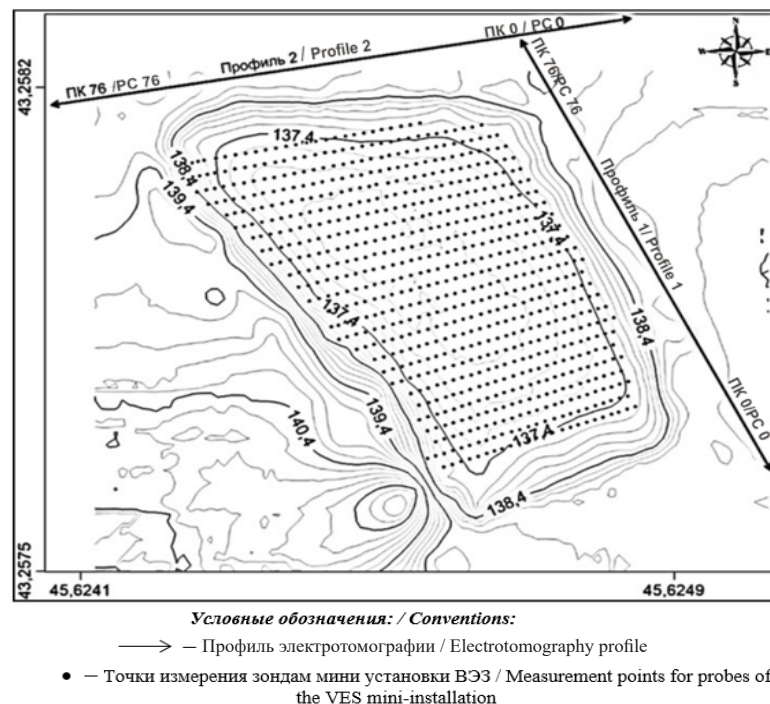


Рис. 4. Схема профилей ЭТ и точек измерений зондом мини-установки ВЭЗ /  
Fig. 4. Scheme of ET profiles and points of measurement by the probe of the VES mini-installation



## Результаты электрических измерений

Структурный анализ распределения УЭС на построенных картах-срезах выявил линейно вытянутую аномалию с ЮЗЗ на СВВ в середине чаши исследуемого хвостохранилища (порядка 1 Ом на обоих уровнях глубин), которая более контрастно выражена на глубине 65 см. от дневной поверхности (рис. 5). Более высокие (относительно полученного диапазона, порядка 1,2–1,6 Ом) УЭС приурочены к подповерхностной части, а на глубине 65 см. локализуются в районе линейно вытянутой аномалии.

Наблюдаемая аномалия, вероятно, приурочена к внутренней перегородке хвостохранилища, делящей чашу на две практически равные части, и выполненной, скорее всего, из глинистого материала. Ширина аномалии в натуре – порядка 2 метров, что вполне соответствует габаритам предполагаемого конструктива.

В северной части чаши также фиксируется локально ограниченная аномалия (1 Ом и менее), природу которой возможно установить только лишь после зондировочного бурения и отбора проб на химический анализ.

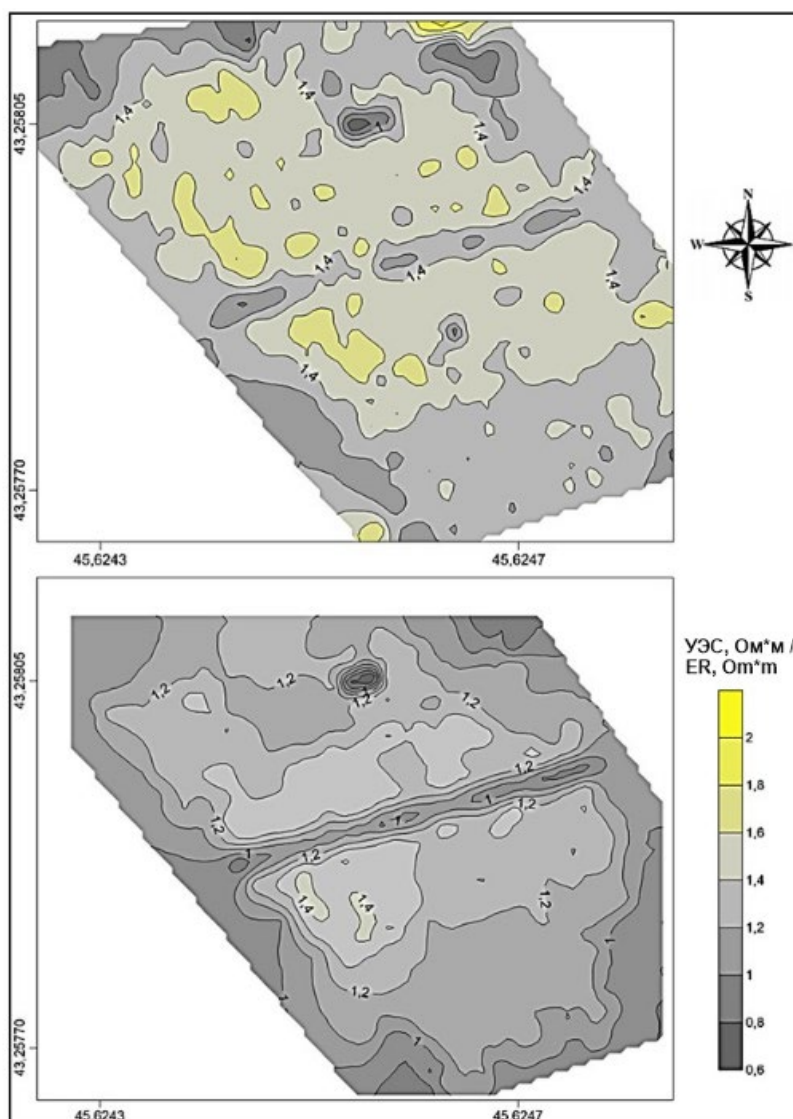


Рис. 5. Карты-срезы распределения УЭС на глубинах 25 и 65 см /  
Fig. 5. Maps-slices of resistivity distribution at depth of 25 and 65 cm

В результате инверсии полевых данных метода электротомографии получены геоэлектрические разрезы (рис. 6, рис. 7). На профилях по гребням восточного и северного бортов (дамб), ограждающих чашу хвостохранилища, разрезы структурно практически идентичны друг другу. Первый от дневной поверхности слой геоэлектрического разреза восточной дамбы (рис. 6) имеет мощность порядка 0,7–1,0 м и УЭС в диапазоне 60–250 Омм, второй слой характеризуется диапазоном УЭС от 10–35 Омм и мощностью около 1,7–2,0 м, УЭС третьего слоя – в диапазоне 25–110 Омм. Глубина исследования на восточной дамбе порядка 4 м и на северной дамбе порядка 4.5 м от дневной поверхности.

Следует отметить, что УЭС второго (10–35 Омм) и третьего (45–110 Омм) слоёв на ЭТ-разрезе по северной дамбе (рис. 7) в среднем в 1.7 раза меньше значений УЭС тех же слоёв (10–20 Омм и 25–75 Омм соответственно) на ЭТ-разрезе восточной дамбы.

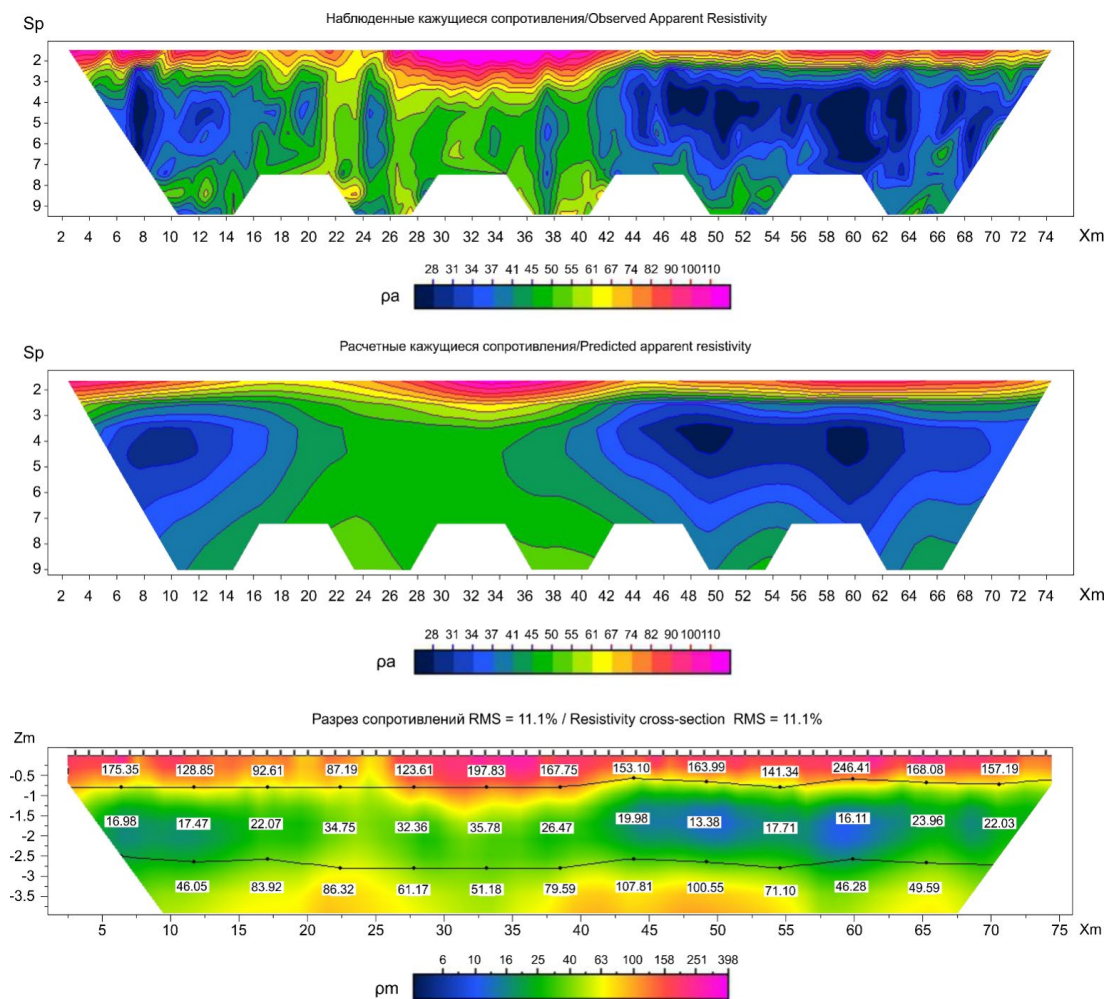


Рис. 6. Геоэлектрический разрез восточной дамбы /

Fig. 6. Goelectricsection of the eastern dam

Таким образом, первый геоэлектрический слой, вероятно, исполнен маловлажными насыщенными грунтами суглинистого происхождения. Второй геоэлектрический слой сложен или влажными грунтами суглинистого типа, или глинистыми грунтами. Третий слой, предположительно, представлен грунтами суглинистого типа, но естественной влажности.

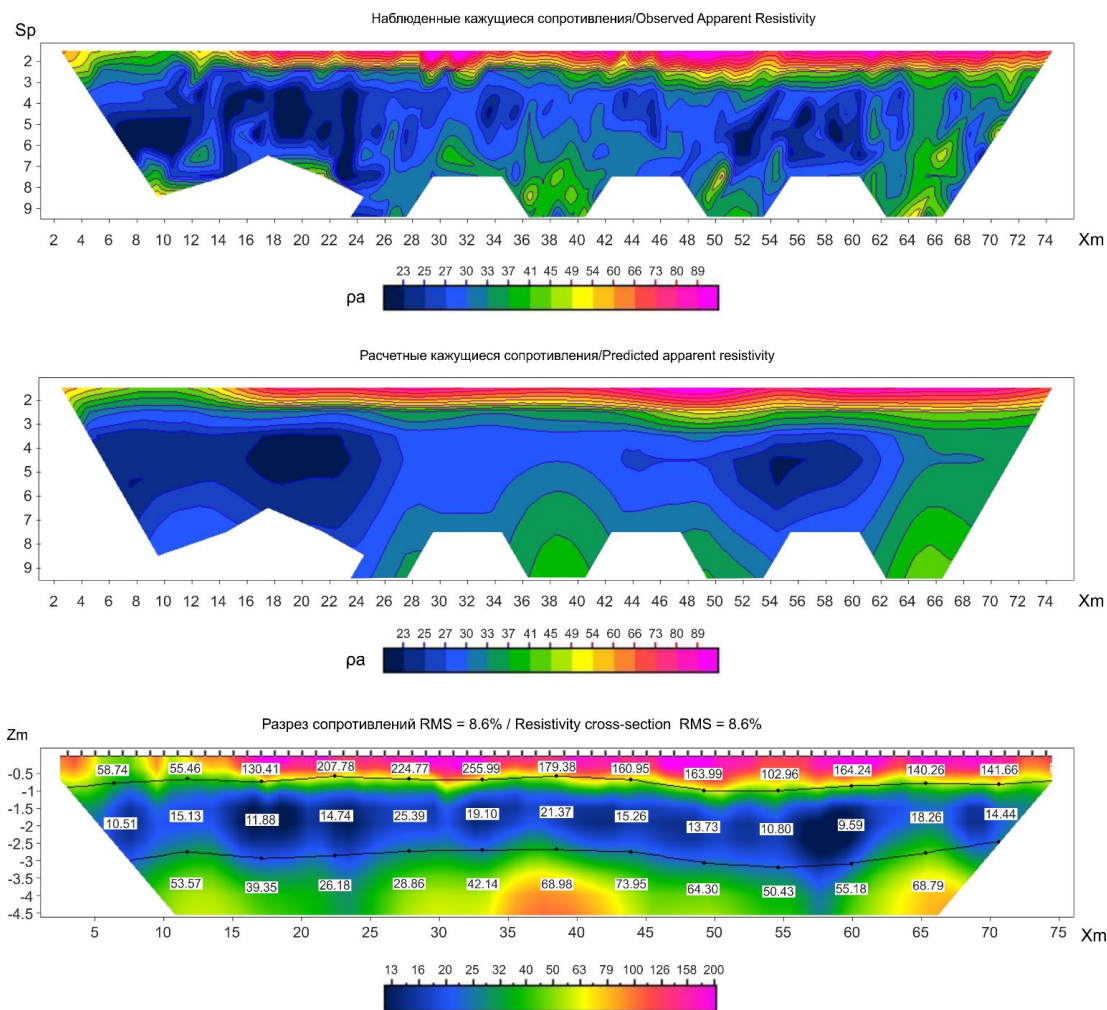


Рис. 7. Геоэлектрический разрез северной дамбы /  
 Fig. 7. Geoelectricsection of then orthern dam

В результате визуального обследования физического состояния бортов и чаши изучаемого хвостохранилища зафиксированы просадки грунта в чаше хранилища и на внутренних бортах ограждающих дамб – вдоль ПК 44-65 восточного ЭТ-профиля и вдоль ПК 23-57 северного ЭТ-профиля. С учётом низких значений УЭС второго слоя на обоих ЭТ-разрезах на этих пикетах можно предположить, что водоупорный экран в телах ограждающих дамб нарушен и идёт миграция флюидов из чаши за пределы хранилища.

### Выводы по результатам электротомографических измерений

1. В результате проведения электротомографии на исследуемом участке зарегистрированы значения УЭС, характерные для загрязненных отходами нефтехимического производства;
2. На построенных картах-срезах отчетливо наблюдаются две аномалии – большая (линейно вытянутая), пересекающая хранилище отходов нефтехимического производства по середине, и маленькая (локально ограниченная) – в северной части участка. Первая аномалия с большой долей вероятности указывает на наличие под техногенным грунтом глинистой перегородки;



3. С внутренней стороны бортов хранилища обнаружены просадки грунта, что указывает (по результатам анализа геоэлектрических разрезов) на нарушение водопорного экрана, вследствие чего вероятно распространение загрязнения за пределы шламохранилища.

### Литература

1. Бекузарова С.А., Бурдзиева О.Г., Качмазов Д.Г., Майсурадзе М.В. Экологические проблемы на территориях с горнодобывающей промышленностью и активная рекультивация токсических почв. // *Геология и геофизика Юга России*. – 2018. – №4. – С. 7–17. DOI:10.23671/VNC.2018.4.20130
2. Богословский В.А., Жигалин А.Д., Хмелевской В.К. Экологическая геофизика. // Учебное пособие. – М.: МГУ. – 2000. – 254 с.
3. Гик Л.Д. Физическое моделирование распространения сейсмических волн в пористых и трещиноватых средах. // *Геология и геофизика*. – 1997. – Т. 38. №4. – С. 804–815.
4. Заалишвили В.Б., Мельков Д.А., Макиев В.Д. Макросейсмическое проявление сейсмических событий, обусловленное влиянием грунтовых условий и формирование карт сейсмического микрорайонирования. // *Геология и геофизика Юга России*. – 2018. – №1. – С. 48–55. DOI: 10.23671/VNC.2018.1.11247
5. Карин Ю.Г., Юркевич Н.В. Подход к обработке данных электротомографии для оценки объемов веществ хвостохранилищ. // *Интерэкспо Гео-Сибирь*. – 2021. – Т. 2. №2. – С. 62–66.
6. Керимов И.А., Гайрабеков У.Т., Махмудова Л.Ш. Карбоновый полигон Чеченской Республики: I. Ландшафтные особенности и структура. // *Грозненский естественнонаучный бюллетень*. – 2021. – Т. 6. №3(25). – С. 35–47.
7. Керимов И.А., Махмудова Л.Ш., Мячина К.В., Придача В.Б., Эльжаев А.С., Бадаев С.В., Батукаев А.А., Додуев А.А., Дускаев М.З., Мамадиев Н.А. Карбоновый полигон Чеченской Республики: II. Методы исследования и первые результаты. // *Грозненский естественно-научный бюллетень*. – 2022. – Т. 7. №4(30). – С. 62–78.
8. Маркарова М.Ю., Махмудова Л.Ш., Керимов И.А., Эльжаев А.С., Мамадиев Н.А. Анализ парниковых газов на нефтезагрязненных территориях и разработка методов их биорекультивации (на примере г. Грозный). // *Геология и геофизика Юга России*. – 2022. – Т. 12. №4. – С.153–168. DOI: 10.46698/VNC.2022.19.77.012
9. Огильви А.А. Основы инженерной геофизики. – М.: Недра. –1990. – 501 с.
10. Попов М.Г., Попова О.Г. Возможность комплексного изучения геологической среды при сейсмо-экологическом мониторинге в районах повышенной экологической опасности. // *Геология и Геофизика Юга России*. – 2021. – Т. 11. №2. – С. 152–164. DOI: 10.46698/VNC.2021.29.52.011
11. Пыстин В.Н., Тупицына О.В., Букин А.А., Чертец К.Л. Геофизические изыскания и критерии применимости биологических методов при рекультивации нефтезагрязненных территорий. // *Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе*. – М.: Изд. дом «Губкин». – 2022. – №3(306). – С. 12–19.
12. Романов В.В. Инженерная сейсморазведка. – М.: ЕАГЕ Геомодель, 2015. – 278 с.
13. Романов В.В., Иванов А.А., Кауркин М.Д. Инженерная сейсморазведка при изучении полигонов ТБО. // *Материалы годичной сессии Научного совета РАН по проблемам геоэкологии, инженерной геологии и гидрогеологии*. – М.: РУДН. –2018. – С. 142-146.
14. РСН 66-87. Инженерные изыскания для строительства. Технические требования к производству геофизических работ. Сейсморазведка. – М.: МосЦТИСИЗ, 1987. – 54 с.
15. Binley A., Kemna A. DC resistivity and induced polarization methods. In Y. Rubin & S.S. Hubbard (Eds.), *Hydrogeophysics*. – Dordrecht, Netherlands: Springer, 2005. – pp. 129-156.
16. Doolittle J.A., Brevik, E.C. The use of electromagnetic induction techniques in soils studies. // *Geoderma*. – 2014. – Vol. 223. – pp. 33-45. DOI: 10.1016/j.geoderma.2014.01.027.



17. Rabot, E., Wiesmeier, M., Schlüter, S., Vogel, H. Soil structure as an indicator of soil functions: A review. *Geoderma*, 314, – 2018 –pp.122-137.
18. Romero-Ruiz A., Linde N., Keller Th., Or D. A Review of Geophysical Methods for Soil Structure Characterization. // *Reviews of Geophysics*. – 2018. – Vol. 56. – pp. 672-696.
19. Young, I. M., Blanchart, E., Chenu, C., Dangerfield, M., Fragoso, C., Grimaldi, M., Ingram, J., Monrozier, L. J. The interaction of soil biota and soil structure under global change. *Global Change Biology* – 1998 – 4(7), pp. 703-712.
20. Wang, P., Hu, Z., Zhao, Y., Li, X. Experimental study of soil compaction effects on GPR signals. *Journal of Applied Geophysics*, 126 – 2016 – pp. 128-137.

## References

1. Bekuzarova S.A., Burdzieva O.G., Kachmazov D.G., Maisuradze M.V. Ecological problems in areas with mining industry and active remediation of toxic soils. *Geology and geophysics of the South of Russia*. 2018. No. 4. pp. 7-17.
2. Bogoslovsky V.A., Zhigalin A.D., Khmelevskoy V.K. Ecological geophysics. Tutorial. Moscow: Moscow State University. 2000. 254 p.
1. Geek L. D. Physical modeling of seismic wave propagation in porous and fractured media. *Geology and Geophysics*. 1997. No.4. Vol. 38. pp. 804-815. (In Russ.)
2. Zaalishvili V.B., Melkov D.A., Makiev V.D. Macroseismic manifestation of seismic events due to the influence of soil conditions and the formation of maps of seismic microzoning. *Geology and geophysics of the South of Russia*. 2018. No. 1. pp. 48-55.
3. Karin Yu.G., Yurkevich N.V. An approach to the processing of electrical tomography data for estimating the volumes of substances in tailings. *Interexpo Geo-Siberia*. 2021. V. 2. No. 2. pp. 62-66.
4. Kerimov I.A., Gairabekov U.T., Makhmudova L.Sh. Carbon polygon of the Chechen Republic: I. Landscape features and structure.
5. Kerimov I.A., Makhmudova L.Sh., Myachina K.V., Pridacha V.B., Elzhaev A.S., Badaev S.V., Batukaev A.A., Doduev A.A., Duskaev M.Z., Mamadiev N.A. Carbon polygon of the Chechen Republic: II. Research methods and first results. *Grozny Natural Science Bulletin*. 2022. V. 7. No. 4 (30). pp. 62-78.
6. Markarova M.Yu., Makhmudova L.Sh., Kerimov I.A., Elzhaev A.S., Mamadiev N.A. Analysis of greenhouse gases in oil-contaminated areas and development of methods for their bioremediation (on the example of the city of Grozny). *Geology and geophysics of the South of Russia*. 2022. 12(4). pp.153-168.
7. Ogilvi A.A. Fundamentals of engineering geophysics. M.: «Nedra». 1990. 501 p.
8. Popov M.G., Popova O.G. The possibility of a comprehensive study of the geological environment during seismo-ecological monitoring in areas of increased environmental hazard. *Geology and geophysics of the South of Russia*. 2021. No. 2. pp. 152-166.
9. Pystin V.N., Tupitsina O.V., Bukin A.A., Chertes K.L. Geophysical surveys and criteria for the applicability of biological methods in the reclamation of oil-contaminated territories. Protection of the environment in the oil and gas complex. M.: Ed. House “Gubkin” 2022. No. 3 (306). pp. 12-19.
10. Romanov V.V., Ivanov A.A., Kaurkin M.D. Engineering seismic exploration in the study of MSW landfills. Materials of the annual session of the Scientific Council of the Russian Academy of Sciences on the problems of geoecology, engineering geology and hydrogeology. Publishing house of the Peoples’ Friendship University of Russia. 2018. pp. 142-146.
11. Romanov V.V. Engineering seismic. Publishing house of EAGE GeomodelLLC. 2015. 278 p.
12. RSN 66-87. Engineering surveys for construction. Technical requirements for the production of geophysical works. Seismic exploration. «Moscow Central Trust for Engineering and Construction Surveys». 1987. 54 p.

13. Binley A., Kemna A. DC resistivity and induced polarization methods. In Y. Rubin & S.S. Hubbard (Eds.), *Hydrogeophysics*. Dordrecht, Netherlands: Springer, 2005. pp. 129-156.
14. Doolittle J.A., Brevik, E.C. The use of electromagnetic induction techniques in soils studies. *Geoderma*. 2014. Vol. 223. pp. 33-45. DOI: 10.1016/j.geoderma.2014.01.027.
15. Rabot, E., Wiesmeier, M., Schlüter, S., Vogel, H. Soil structure as an indicator of soil functions: A review. *Geoderma*, 314, 2018. pp.122-137.
16. Romero-Ruiz A., Linde N., Keller Th., Or D. A Review of Geophysical Methods for Soil Structure Characterization. *Reviews of Geophysics*. 2018. Vol. 56. pp. 672-696.
17. Young, I. M., Blanchart, E., Chenu, C., Dangerfield, M., Fragoso, C., Grimaldi, M., Ingram, J., Monrozier, L. J. The interaction of soil biota and soil structure under global change. *Global Change Biology* 1998 4(7). pp. 703-712.
18. Wang, P., Hu, Z., Zhao, Y., Li, X. Experimental study of soil compaction effects on GPR signals. *Journal of Applied Geophysics*, 2016. pp. 128-137.