

ГАПОНОВ ДМИТРИЙ АЛЕКСАНДРОВИЧ

**ВЫЯВЛЕНИЕ И ОЦЕНКА ГЕОФИЗИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ  
ЛОКАЛЬНОГО ТЕХНОГЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ  
ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЫ В МЕСТАХ РАЗМЕЩЕНИЯ ОТХОДОВ  
ПРОИЗВОДСТВА И ПОТРЕБЛЕНИЯ**

25.00.10 – геофизика, геофизические методы поисков полезных ископаемых

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание учёной степени  
кандидата геолого-минералогических наук

Работа выполнена на кафедре геоэкологии и прикладной геохимии  
Южного федерального университета

**Научный руководитель:** доктор геолого-минералогических наук, профессор  
Закруткин Владимир Евгеньевич

**Официальные оппоненты:**

доктор геолого-минералогических наук, профессор  
Богословский Вадим Александрович (МГУ)

доктор технических наук, профессор  
Бондаренко Владимир Михайлович (РГГРУ)

**Ведущая организация:** Кубанский государственный университет

Защита состоится 20 октября 2011 г. в 13:00 ч. на заседании совета по защите докторских и кандидатских диссертаций Д 212.121.04 при Российском государственном геологоразведочном университете им. Серго Орджоникидзе (117997, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 23, ауд. 553).

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке РГГРУ.

Автореферат разослан «\_\_» сентября 2011 г.

**Учёный секретарь** диссертационного совета,  
кандидат геолого-минералогических наук, доцент

А.И. Бобков

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Изучение территорий полигонов твёрдых отходов производства и потребления (ТОПП), несанкционированных свалок, хвостохранилищ предприятий горной промышленности и других мест размещения отходов, осложняющих природное состояние окружающей среды, относится к числу приоритетных геоэкологических задач. Одной из главных причин является увеличение общего объёма и разнообразия отходов. Следует отметить, что большая их часть по-прежнему депонируется и если сейчас появились специальные места для захоронения, то до недавнего времени отходы размещались без какого-либо учёта, в том числе влияния на окружающую среду. Ситуация осложняется тем, что по мере расширения городов и агломераций территории, занятые отходами, изначально находившиеся за пределами поселений, попадают в число перспективных участков для капитального строительства. Поэтому задача эффективного выявления местоположения таких территорий и оценки состояния геологической среды стоит весьма остро. Другой нерешённой проблемой остаётся контроль надёжности изоляции отходов на полигонах ТОПП и прочих хранилищах. Важной задачей является и совершенствование комплексов методов при мониторинговых геоэкологических наблюдениях на таких объектах.

Решение выделенных проблем по выявлению и оценке загрязнения геологической среды требует разностороннего анализа и оптимизации методов наблюдений. К настоящему времени накоплены разнообразные сведения о процессах, протекающих в местах размещения отходов, полученные различными методами, преимущественно геохимическими. В то же время известно, что геофизические методы дают экспрессную, объёмную информацию о геологической среде, а их применение в комплексе геоэкологических наблюдений приводит к снижению затрат на другие методы и общему удешевлению стоимости работ. Однако использование одного метода в силу эквивалентности, как правило, не даёт однозначного решения поставленных задач, поэтому для их достижения необходима разработка и усовершенствование комплексов геофизических методов.

**Объект** исследования – геологическая среда в местах размещения отходов производства и потребления Ростовской области.

**Предмет** исследования – аномалии геофизических полей и их особенности в зонах локального техногенного загрязнения в различных местах размещения отходов.

**Цель работы** – выявление и оценка геофизическими методами локального техногенного загрязнения геологической среды в местах размещения отходов производства и потребления Ростовской области.

**Задачи исследования:**

- изучить геоэкологические проблемы в местах размещения отходов и выделить существующие подходы к их решению;
- проанализировать физико-геологические предпосылки эффективного применения геофизических методов в разных местах размещения отходов;

- осуществить выбор и оптимизацию геофизических технологий для изучения состояния геологической среды в местах размещения отходов;
- выявить и оценить загрязнение геологической среды в различных местах размещения отходов производства и потребления;
- разработать физико-геологические модели и составить оптимальные комплексы эколого-геофизических методов для мониторинга локального загрязнения геологической среды в местах размещения отходов.

#### **Фактический материал.**

В основу диссертационной работы положены полевые и лабораторные исследования, выполненные автором во время обучения в очной аспирантуре геолого-географического факультета Южного федерального университета (ЮФУ). Объём проведённых геофизических исследований включал 712 ф.н. ЕП, 155 ф.н. (2848 замеров) ЭПТЗ, 86 проб резистивиметрии, 1978 ф.н. (3956 замеров) магнитометрии, 1701 ф.н. пешеходной гамма-съёмки, 525 ф.н. полевых и 3 лабораторных гамма-спектрометрических исследования, 198 ф.н. эманиционной съёмки, 306 ф.н. гамма-каротажа, 560 ф.н. газометрических наблюдений. Отобрано 17 проб воды и 5 донных отложений с последующим химическим анализом, 4 пробы воды и 4 – донных отложений для биотестирования. Обработка геофизической информации выполнялась с помощью программ OriginPro, Surfer, IPI2win, Res2Dinv и др.

Кроме того, в процессе работы над диссертацией были использованы фондовые и производственные материалы ООО НПП «Экологическая лаборатория», ОАО «Полигон», ОАО «Тагмет», ОАО «Южгеология», ФГУ «Азовморинформцентр», Югнедра, Института геоэкологии и прогнозирования чрезвычайных ситуаций ЮФУ, кафедры геоэкологии и прикладной геохимии ЮФУ.

#### **Научная новизна работы.**

1. Впервые разработан и реализован комплекс экогеофизических методов, направленный на изучение воздействий, оказываемых местами размещения отходов Ростовской области на окружающую среду.

2. Обоснована и экспериментально подтверждена эффективность технологии электропотенциального томографического зондирования (ЭПТЗ), как объёмного электрического фильтра для решения основных экологических задач в местах размещения отходов (выявление линз фильтрата, скоплений биогаза и др.).

3. Установлены характерные для мест размещения отходов Ростовской области экогеофизические признаки загрязнения геологической среды (пониженные значения удельного электрического сопротивления, повышенная температура почвогрунтов, локальные экстремумы напряжённости магнитного поля, аномалии разного знака в естественном электрическом поле).

4. Разработаны физико-геологические модели мест размещения отходов Ростовской области, позволившие осуществить выбор и оптимизацию экогеофизических комплексов для выявления загрязнения геологической среды и дальнейших мониторинговых наблюдений.

### **Защищаемые положения.**

На защиту выносятся:

1. Предложенная технология электропотенциального томографического зондирования, позволяющая выполнять объёмную электрическую фильтрацию, обеспечивающую решение экологических задач в сложных и ограниченных по площади природно-техногенных системах, в частности в местах размещения отходов (выявление линз фильтрата, скоплений биогаза).
2. Разработанные физико-геологические модели мест размещения отходов производства и потребления Ростовской области, позволяющие осуществлять выбор комплексов геофизических методов.
3. Составленные по критериям максимальной информативности при минимальных затратах комплексы методов для выявления и мониторинга локального загрязнения геологической среды, опробованные в местах размещения отходов производства и потребления Ростовской области.

### **Практическая значимость работы.**

1. Получаемые с помощью предложенного комплекса геофизических методов показатели могут использоваться природоохранными организациями при оценке состояния окружающей среды в местах размещения отходов. В частности, экогеофизическая информация о несанкционированной свалке включена в отчёт о состоянии окружающей среды за 2008 г. Комитета по охране окружающей среды и природных ресурсов при Администрации г. Ростова-на-Дону, а данные о полигоне ТОПП – в отчёты ООО НПП «Экологическая лаборатория» за 2008–10 гг.
2. Физико-геологические модели и комплексы геофизических методов могут быть полезны при проведении инженерно-геологических изысканий под капитальное строительство. Они внедрены в производство в ООО «Геострой-Ф», ООО «Геотехника-Блок-Сервис», ООО «ГеоЮгСервис».
3. Полученные результаты исследований могут быть использованы при разработке курсов лекций по дисциплинам «Экологическая геофизика», «Геофизический прогноз и моделирование чрезвычайных ситуаций».

### **Апробация работы.**

Основные положения работы докладывались на VI всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Проблемы региональной экологии в условиях устойчивого развития» (2008, Киров), VI международной конференции «Сотрудничество для решения проблемы отходов» (2009, Харьков), XXIII всероссийской молодёжной конференции «Строение литосферы и геодинамика» (2009, Иркутск), I Ростовском молодёжном научно-практическом форуме «Молодёжная инициатива – 2010» (2010, Ростов-на-Дону), VIII международном геофизическом научно-практическом семинаре «Применение современных электроразведочных технологий при поисках месторождений полезных ископаемых» (2010, Санкт-Петербург), VI международной научно-практической конференции «Инженерная и рудная геофизика» (2010, Геленджик), IX международной научно-практической конференции «Проблемы геоэкологии, планетологии, геоэкологии и рационального природопользования» (2011, Новочеркасск).

### **Структура и объём работы.**

Диссертационная работа состоит из введения, четырёх глав, заключения, списка литературы из 125 наименований, списка условных сокращений и 3 приложений. В работе 74 рисунка и 20 таблиц. Общий объём диссертации 162 листа.

### **Благодарности.**

Автор выражает благодарность за научное руководство и неоценимую помощь в работе профессору В.Е. Закруткину; глубокую признательность научному консультанту д.г.-м.н. профессору Н.Е. Фоменко за внимание и постоянную поддержку на всех стадиях диссертационного исследования. Содействие в проведении полевых экспериментов и сборе фактического материала оказывали д.б.н. В.В. Приваленко; к.г.-м.н., профессор Ю.И. Холодков; к.т.н., доцент Э.Г. Порфилкин; к.г.н., доцент Д.Ю. Шишкина и др. На заключительном этапе написания диссертационной работы ценные замечания получены от д.г.-м.н. Б.И. Журбицкого. Автор признателен за консультации и доброжелательное отношение д.т.н., доценту И.Н. Модину.

## **СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

### **Глава 1. Места размещения отходов производства и потребления как источник формирования геофизических аномалий (аналитический обзор)**

Проблемы, возникающие в результате воздействия мест размещения отходов производства и потребления на окружающую среду, рассмотрены в работах В.В. Приваленко, И.В. Галицкой, О.С. Безугловой, В.С. Лебедева, В.Е. Закруткина, И.С. Глушанковой, В.М. Гольдберга, А.М. Гонопольской, Л.П. Грибановой, К.С. Десятниковой, Ж.М. Жаппаровой, В.Н. Жиленковой, Т.А. Зайцевой, С.В. Максимова, С.К. Николаевой, Е.П. Труфмановой, А.М. Зомаревой, М.Г. Пустозерова, О.Л. Кузнецова, В.А. Богословского, В.К. Хмелевского, Г.С. Вахромеева, В.А. Королёва, А.Д. Жигалина, Abdul Rahim S., В.Е. A.Rahim, W.Zuhairi W.Y., U. Hamzah, Dahlin T., H. Rosqvist, V. Leroux, C. Bernstone, M. H. Loke, Guerin R., Ph. Beggassat, Y. Benderitter, J. David, A. Tabbagh, M. Thiry, Vickery A., В. A Hobbs и др. Их можно разделить на инженерно-геологические, экологические и социальные. *К первому типу* относятся такие проблемы как: 1) отчуждение части территорий из хозяйственного пользования; 2) переуплотнение грунтов вследствие механических нагрузок; 3) исключение свалок и полигонов из территорий капитального строительства и сооружения подземных коммуникаций. *Ко второму типу*: 1) захламление территории, приводящее к утрате плодородия почвами; 2) образование при разложении отходов биогаза, состоящего из метана, двуокиси углерода и др.; 3) формирование в толще отходов фильтрата, содержащего широкий спектр опасных органических и неорганических веществ. *С третьим типом* связаны проблемы: 1) шумового воздействия; 2) замусоривания окружающей территории; 3) гнилостных запахов и др. создающие зону риска и дискомфорта для людей, проживающих и работающих вблизи мест размещения отходов.

Аналитический обзор показал, что к оценке экологического состояния геологической среды в местах размещения отходов производства и потребления можно выделить, по крайней мере, три основных подхода: расчетный, эколого-геохимический и эколого-геофизический. *Расчётный подход* базируется на определении опасности и расчёте риска для здоровья путём математического моделирования на основе знаний об отходах, механизмах процессов протекающих в местах их размещения и геологических условиях. *Эколого-геохимический подход* основывается на сравнении измеренных концентраций различных химических веществ с ПДК. Он является наиболее распространённым и общепризнанным, однако отличается трудоёмкостью и высокой стоимостью. *Эколого-геофизический подход* опирается на изменение в местах размещения отходов параметров геофизических полей (удельного электрического сопротивления, поляризации, теплового потока, радиоактивности и др.). Подход предусматривает возможность картировать дистанционными методами положение мест размещения отходов и давать экспрессную экономически малозатратную информацию о степени загрязнения верхней части геологического разреза, как опережающую, до начала геохимических и буровых работ.

Таким образом, каждый подход обладает определёнными преимуществами, используя которые становится возможным получение наиболее полных и достоверных данных о локальном техногенном загрязнении геологической среды в местах размещения отходов с целью последующей оценки, прогноза и принятия управленческих решений.

## Глава 2. Объекты и методы исследования

### Объекты исследования

В качестве основных объектов были выбраны несанкционированная свалка и полигон ТОПП в г. Ростове-на-Дону, шламонакопитель ОАО «Тагмет» в г. Таганроге. Краткая характеристика объектов исследования приведена в таблице 1. Для всех них характерно близкое расположение источников поверхностных вод (ручей, канал, залив), которые могут подвергаться загрязнению.

Таблица 1. Краткая характеристика объектов исследования

Наименование объекта	Полигон ТОПП		Свалка	Шламонакопитель
	Участок 1	Участок 2		
Период эксплуатации, гг	1993–1999	1999–2007	1981–н.вр. <sup>1</sup>	1961–н.вр.
Площадь, га	9,6	20	24	6,1
Мощность техногенной толщи, м	25	35	3–18	8,5
Превышение над уровнем дневной поверхности, м	7–16	15–25	3–10	20 и более <sup>2</sup>

<sup>1</sup> н.вр. – настоящее время

<sup>2</sup> указана высота шлакоотвала над уровнем воды в Таганрогском заливе

*Полигон ТОПП* сооружен по проекту на месте карьера по добыче кирпичных глин. Борта котлованов на участках полигона до глубины 10 м слагают четвертичные суглинки, а ниже до отметки -15 м – скифские глины, которые обладая большой мощностью (до 30 м) являются местным водоупором. Тем не менее, коэффициент фильтрации глин в некоторых местах в 6,5 и более раз превосходит допустимые значения (не более 0,0086 м/сут), установленные нормативами для таких объектов. Поэтому нельзя исключать гидравлическую связь фильтрующихся вод с горизонтами водоносных песков в известняках верхнесарматского возраста. Кроме того, на полигоне отсутствуют инженерно-технические сооружения по сбору и отведению фильтрационных вод, в результате чего фильтрат может накапливаться до уровня превышающего слабопроницаемые глиняные стенки котлованов и растекаться за их пределами.

*Свалка* образована в карьерах по добыче известняка-ракушечника понтического возраста. Подземные воды на её территории не защищены от воздействия природных и техногенных факторов. Покровные отложения имеют высокую проницаемость, коэффициент фильтрации суглинков равен 0,13 м/сут, а глин 0,057 м/сут. Местный водоупор, скифские глины, имеет малую мощность, местами размыт или снят как вскрыша при добыче известняка. Вследствие этого дождевые и талые воды могут беспрепятственно просачиваться через насыпные грунты, содержащие бытовые отходы, и смешиваться с подземными водами сарматско-мэотического возраста.

*Шламонакопитель* образован в шлаковой дамбе, которая размещена на четвертичных отложениях из суглинков и подстилающих их песков. Дамба не имеет изоляционного экрана, поэтому фильтрационные воды могут проникать сквозь неё до первого водоупора. Более глубокое проникновение загрязнителя маловероятно вследствие того, что накопитель расположен на территории палеодолины, заполненной аллювиальными отложениями, в месте разгрузки грунтовых вод в Таганрогский залив.

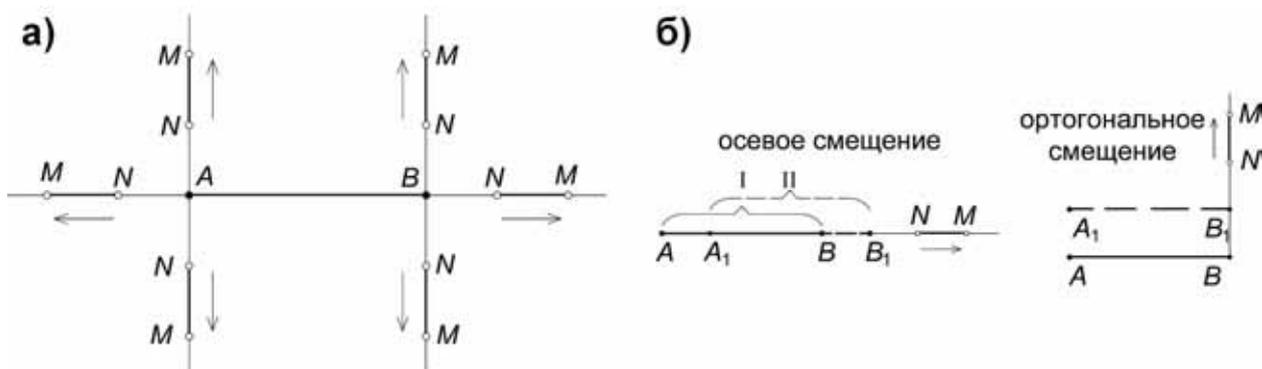
#### Методы исследования

Анализ предпосылок эффективного применения геофизических методов показал наличие всех необходимых условий. Породы, слагающие верхнюю часть геологического разреза юго-запада Ростовской области, где расположены объекты исследования, обладают заметной дифференциацией по литологическому составу и петрофизическим свойствам – глины и суглинки, пески и алевриты, органогенные известняки. Места размещения отходов, как аномалиеобразующие источники, имеют благоприятные геометрические параметры (размеры более 5 га, положительные формы рельефа с пологими склонами, малую до 15 м глубину залегания и др.). Уровень помех негеологического происхождения относительно низкий, т.к. все выбранные территории находятся на окраинах городов.

Выбор методов исследования осуществлялся по принципу аналогии, на основе предварительно построенных априорных физико-геологических

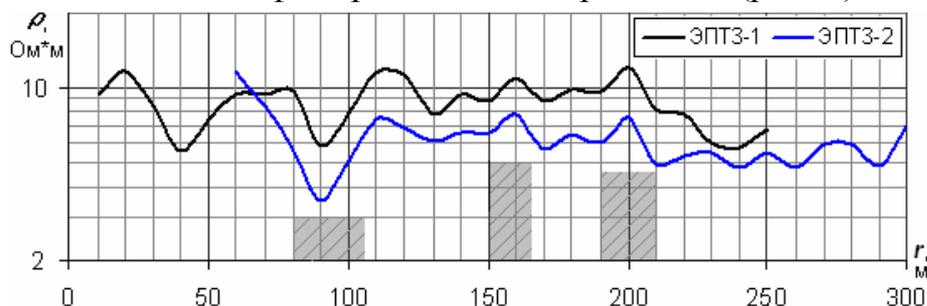
моделей объектов исследования. При этом приблизительно оценивалась геологическая эффективность и применимость отдельных геофизических методов и их сочетаний в геологических условиях Ростовской области.

Изучение опыта предшественников показало, что наилучшие результаты по выявлению ореолов распространения фильтрата получены по данным электроразведки на постоянном токе методом ВЭЗ-Шлюмберже. Однако полевые кривые, получаемые четырёхэлектродной симметричной установкой, зачастую искажены вследствие множества Р- и особенно С-эффектов, вызываемых локальными неоднородностями. Поэтому нами была предложена технология ЭПТЗ. Её применение даёт возможность получать сведения не только об изменении разреза на глубину, но и о наличии локальных неоднородностей вдоль заданных профилей. Принцип объёмного сканирования, сочетающего элементы и зондирования, и профилирования, достигается путём последовательного смещения электроразведочной установки по направлению профиля или ортогонально ему на шаг, кратный измерительной линии  $MN$ , которая перемещается с постоянным шагом, увеличивая  $r$  в арифметической прогрессии (рис. 1).



**Рис. 1. Схемы установок наблюдений (а) и последовательности их перемещений (б) в технологии ЭПТЗ**

В результате при каждом смещении питающей линии  $AB$  в новом зондировании линия  $MN$  проходит через те же точки, что и на предыдущем. Повторение измерений позволяет производить накопление сигналов и тем самым однозначно идентифицировать неоднородности (рис. 2).



**Рис. 2 Пример совмещения кривых ЭПТЗ в полулогарифмическом масштабе**  
серой штриховкой показаны зоны локальных неоднородностей

Такая фильтрация позволяет скомпенсировать эффекты, создаваемые локальными неоднородностями, при изучении разреза на глубину, выявлять пространственное положение самих аномалий и разделять их по происхождению на приповерхностные и глубинные.

В рамках оптимизации геофизических технологий для изучения мест размещения отходов выполнен эксперимент, состоящий из решения прямой и обратной задач для установок ВЭЗ-Шлюмберже и ЭПТЗ. Его цель – выбор более эффективной технологии проведения работ, позволяющей получить наилучшие результаты при минимальных затратах времени и усилий.

**Результаты численного моделирования.** Решение прямой задачи осуществлялось с помощью программы IE2DL. Расчеты проводились для двух установок: симметричной  $AMNB$  и точечных зондирований  $AMN$ . Первая представляет собой схему ВЭЗ-Шлюмберже. Вторая – выбрана по геометрическому подобию с установками ЭПТЗ: при зондировании электрод  $A$  стоит на месте,  $MN$  движется, точка записи относится к  $A$ . В основу расчётной модели положена четырёхслойная горизонтально-слоистая среда, характерная для г. Ростова-на-Дону, где первый слой представлен почвами, второй – суглинками, третий – глинами, четвёртый – известняками.

Сравнение полученных кривых, относящихся к типу КН, показывает, что они практически полностью повторяют друг друга (рис. 3а). Некоторое расхождение начинается лишь после  $AB/2$  ( $r$ ) в 60 м, где кривая ЭПТЗ идёт выше кривой ВЭЗ. Однако реальные разрезы трёхмерны, поэтому результаты 2D моделирования отличаются от них. Этим объяснялась необходимость проведения полевой части эксперимента.

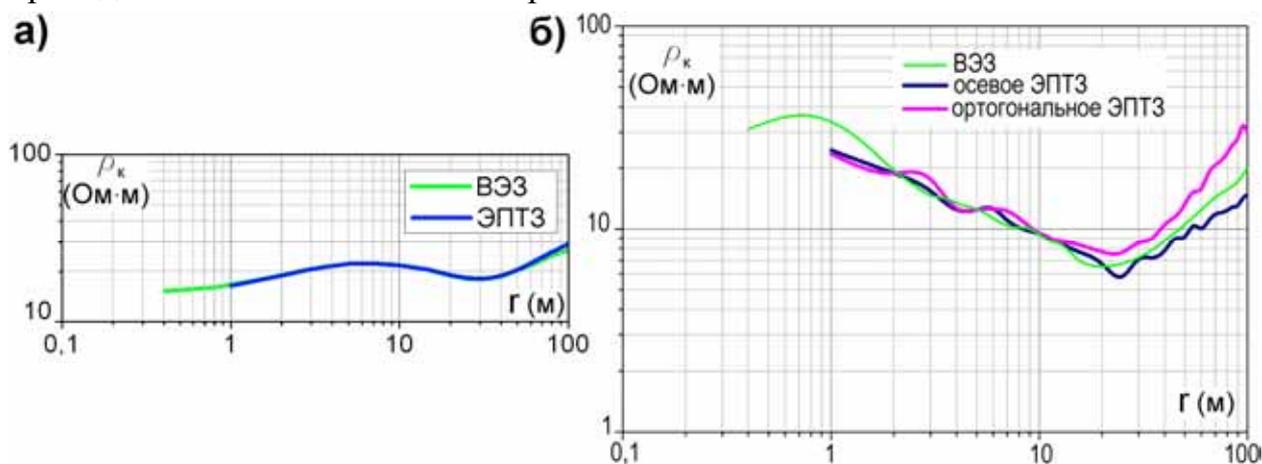
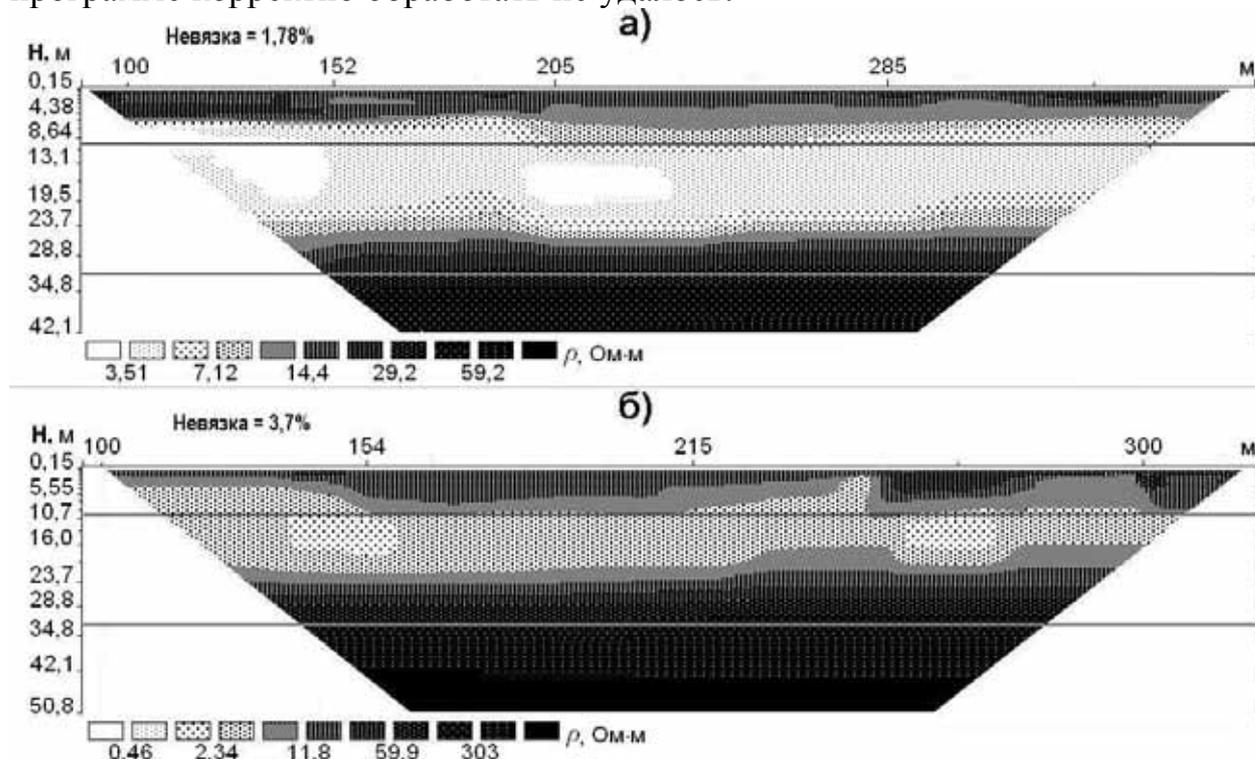


Рис. 3. Результат решения прямой задачи (а) и натуральных измерений (б)

**Результаты натуральных экспериментов.** С целью получения более достоверных данных и исключения аппаратных помех наблюдения проводились параллельно двумя комплектами аппаратуры ЭРА-В-ЗНАК и АНЧ-3. Выполнено три цикла измерений: первый – ВЭЗ, второй – осевое ЭПТЗ, третий – ортогональное ЭПТЗ. Результаты измерений, полученные двумя разными комплектами аппаратуры, были однозначны, с очень незначительным расхождением в значениях  $\rho_k$  (десятые доли Ом·м). Сопоставление полевых кривых ВЭЗ и ЭПТЗ приведено на рис. 3б.

Решение обратной задачи в программе IP2Win показало, что наилучший результат получен по данным ЭПТЗ осевой установкой. Для неё среднеквадратическое отклонение полевой кривой от теоретической ( $\varepsilon$ ) было наименьшим и составило 4,74 %, в то время как для ВЭЗ  $\varepsilon = 5,49$  %, а для ортогональной установки  $\varepsilon = 7,94$  %.

Двумерная робастная инверсия выполнена в программе Res2Dinv для двух установок ЭПТЗ (рис. 4). Результаты измерений установкой ВЭЗ-Шлюмберже с расстояниями между точками наблюдений 50 м в этой программе корректно обработать не удалось.



**Рис. 4. Результаты 2D инверсии данных для осевой (а) и ортогональной (б) установок ЭПТЗ**

горизонтальные линии – условные границы слоёв по данным бурения

Из рисунка 4 видно, что за семь итераций (циклов расчета) программа путём последовательного приближения к оптимальному решению подобрала модель с невязкой 1,78 % для осевой установки и 3,7 % для ортогональной. Все геоэлектрические границы соответствуют геологическим, полученным по данным бурения, а значения удельных электрических сопротивлений (УЭС) сопоставимы со значениями, полученными в программе IPI2Win.

Проведённый эксперимент наглядно показал, что данные полученные технологиями ВЭЗ и ЭПТЗ идентичны, однако последняя более эффективна, т.к. позволяет проводить измерения несколькими приборами одновременно в условиях ограниченных пространств. Прежде всего это городские и поселковые территории, овражно-балочная местность, полигоны ТОПП и др. Кроме того, технология ЭПТЗ обладает рядом преимуществ перед ВЭЗ-Шлюмберже, основные из которых следующие:

- 1) высокая детальность и полнота исследований;
- 2) высокая производительность;
- 3) высокая скорость проведения наблюдений;
- 4) низкая трудоёмкость (количество персонала – 1-2 человека);
- 5) высокая разрешающая способность;
- 6) высокая мобильность установки за счёт малых размеров  $AB$  и  $MN$ ;
- 7) эффективная обработка результатов программами двумерной инверсии.

Метод естественного электрического поля (ЕП) в варианте съёмки градиентов потенциалов был выбран для выявления процессов инфильтрации и разгрузки загрязнённых вод. Предпочтение данной модификации отдано из-за её большей мобильности, необходимой при работе в условиях специфичного рельефа мест размещения отходов, затрудняющего использование длинных проводов. Новый методический прием при измерениях заключался в обертке неполяризующихся электродов тряпичными чехлами, которые обильно смачивались водой, одновременно заливаемой в лунки. Таким простым и оригинальным способом («тряпичным фитилем») осуществлялся контакт неполяризующихся электродов с грунтом в период измерений, что увеличивало производительность.

Резистивиметрия применялась, с одной стороны, в качестве прямого метода, дающего информацию об изменении УЭС поверхностных и подземных вод вследствие загрязнения высокоминерализованным фильтратом, а с другой – в качестве вспомогательного при интерпретации данных ЭПТЗ. Методика работ сводилась к отбору проб и последующему измерению УЭС в лабораторных условиях на образцах.

Магниторазведка проводилась для обнаружения контактов литологически разных пород и тектонических нарушений. Кроме того на шламонакопителе она выполнялась в комплексе с методом ЕП для определения активных физико-химических процессов вызванных окислением металла при фильтрации шламовых вод через шлаковую дамбу. На полигоне и свалке данный метод использовался для выявления участков захоронения металла, как потенциально опасных источников загрязнения геологической среды тяжёлыми металлами, а создаваемые от них помехи, учитывались в процессе интерпретации кривых электроразведки. Магниторазведка осуществлялась методом вычитания геомагнитных индукций. Суть методики заключается в определении вертикального градиента индукции, путём проведения съёмки на двух высотах: 0,2–0,4 и 1,5–2,0 м.

Радиационные исследования осуществлялись технологическим комплексом методов, состоящим из пешеходной гамма-, гамма-спектрометрической и эманационной съёмок, на шламонакопителе отбирались образцы шлака для лабораторных исследований.

Газометрическая съёмка проводилась по технологии, разработанной в ФГУП «ВНИГРИУголь», суть которой состоит в отборе проб газо-воздушной смеси с глубин 0,2–1 м при помощи специального зонда-пробоотборника. Регистрация компонентов биогаза (метана и двуокиси углерода) осуществлялась газоанализатором ПГА-7. Скорость съёмки повышалась за счёт использования двух зондов, перемещаемых способом «хода циркуля».

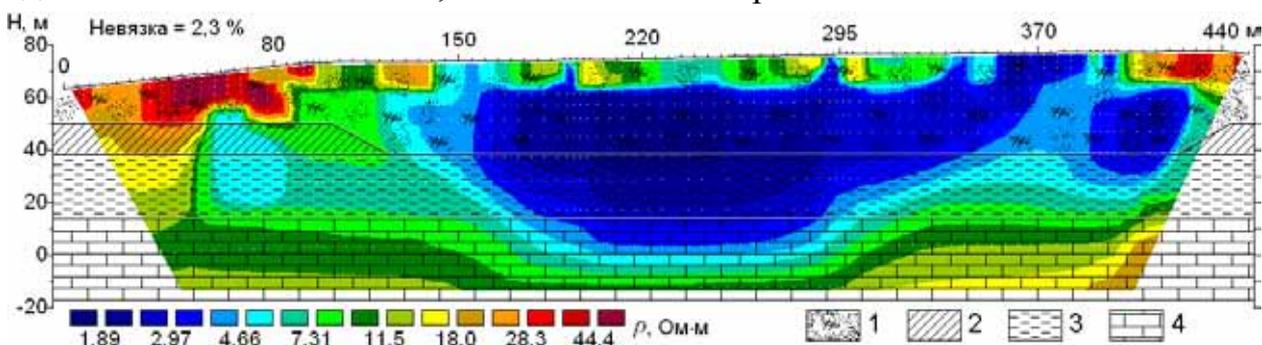
Биотестирование проб воды и донных отложений проводилось на образцах, отобранных в районе свалки, с использованием трех тест-объектов: ветвистого рачка *Daphnia magna*, микроводоросли *Scenedesmus obliquus* и семян редиса *Raphanus sativus*, согласно Р 52.24.566-94.

Отбор проб воды и донных отложений для химического анализа осуществлялся в соответствии с ГОСТами 17.1.5.05-85 и 17.1.5.01-80.

### Глава 3. Выявление и оценка загрязнения геологической среды в местах размещения отходов производства и потребления

При проведении полевых работ порядок использования выбранных методов и расположение наблюдательных сетей основывались на знаниях о процессах, протекающих в местах размещения отходов. Ниже приведены основные результаты, выполненных наблюдений.

1. На полигоне ТОПП (см. табл. 1), по данным ЭПТЗ, выявлены зоны загрязнения фильтратом. Загрязнённая область на участке 1 приурочена к центральной части. Результаты 2D инверсии показывают, что геоэлектрический разрез состоит из четырёх слоёв, которым соответствуют (сверху-вниз) техногенные образования (бытовые отходы), глинистые породы и подстилающие их известняки (рис. 5). Техногенная толща разделяется на слои сухих отходов с УЭС  $10 \div 40$  Ом·м и содержащих фильтрат –  $1 \div 3$  Ом·м. Скифские глины вне полигона имеют значения УЭС порядка  $5 \div 7$  Ом·м, а сарматские известняки более  $50$  Ом·м. Однако зона распространения низких значений сопротивлений в центральной части разреза свидетельствует о загрязнении последних фильтратом. УЭС глин здесь составляет  $1 \div 3$  Ом·м, а известняков не превышает  $15 \div 20$  Ом·м.



**Рис. 5. Пример полученного геоэлектрического разреза по данным ЭПТЗ (полигон ТОПП участок 1, профиль 12)**

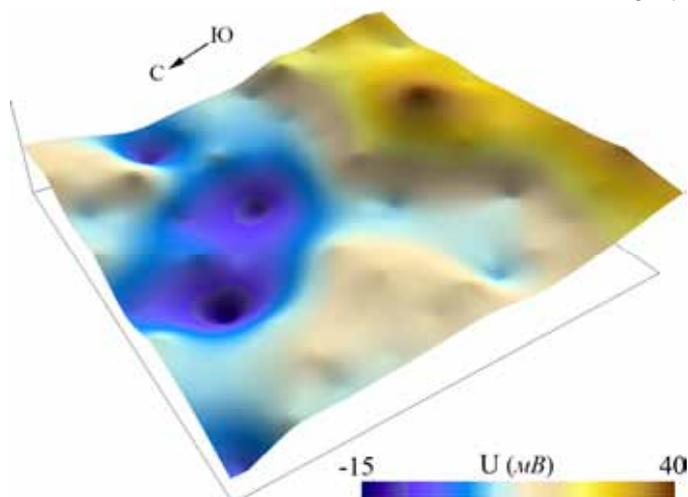
1 – техногенная толща; 2 – суглинки; 3 – глины; 4 – известняки

На участке 2 области загрязнения геологической среды приурочены к центральной и западной частям. Геоэлектрические разрезы здесь схожи с полученными на участке 1, а зона проникновения фильтрата так же превысила глубинность исследования (более 70 м от дневной поверхности).

Анализ потенциалов естественного электрического поля позволил установить направления движения грунтовых вод на полигоне. Приток воды на участки складирования происходит с северной стороны, а отток в виде техногенной верховодки – с южной в направлении ручья, западной и в меньшей степени восточной. Генетическая связь подземных вод и вод в ручье по данным резистивиметрии не установлена.

2. На свалке геологическая среда характеризуется разной степенью проникновения загрязнителя. Основные очаги расположены в центральной и западной частях, где зона проникновения достигает глубин свыше 50 м. В северной части загрязнение локализовано на границе скифских глин (местного водоупора). По данным ЕП выявлены гидрогеологические окна (рис. 6). Сквозь них фильтрат поступает в водоносные горизонты сарматских

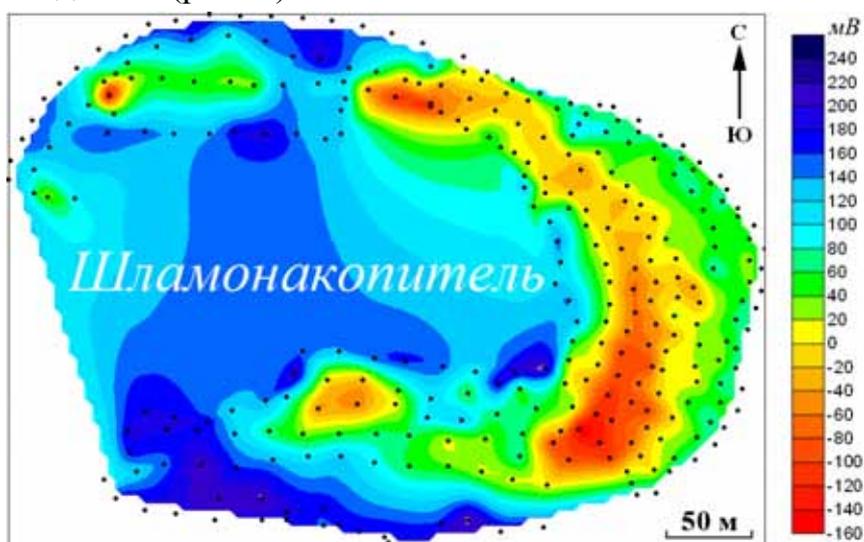
известняков, которые являются региональным водоносным горизонтом на территории северного жилого массива г. Ростова-на-Дону (Меркулова, 1998).



**Рис. 6. Распределение потенциалов ЕП на свалке**

Вода и донные отложения в канале, ограничивающем свалку с южной стороны, по данным биотестирования, оказывают острое токсическое действие. Тем не менее, влияние самой свалки на загрязнение воды не подтверждено, так как пробы, отобранные выше по течению, дали такой же эффект, а химический анализ показал неизменность состава воды как выше, так и ниже по течению. Кроме того, по данным ЕП и резистивиметрии, установлено, что грунтовые воды движутся в северо-восточном направлении.

3. На территории шламонакопителя технологическим комплексом, состоящим из методов ЕП, ЭПТЗ и резистивиметрии, установлены места разгрузки загрязнённых шламовых вод через северную и более интенсивно южную стенки дамбы (рис. 7).



**Рис. 7. Распределение потенциалов естественного электрического поля на дамбе, отделяющей шламонакопитель от Таганрогского залива и бухты Андреева**

Мощности экспозиционной дозы на шлаковой дамбе в 1,5–3 раза ниже фоновых значений. Радионуклидный анализ образцов шлака, выполненный Центром радиационной экологии и технологии, показал их соответствие I классу материалов (все виды строительства).

В результате геофизических исследований выделены следующие существенные признаки локального техногенного загрязнения геологической среды в местах размещения отходов Ростовской области.

1. **Понижение удельного электрического сопротивления.** Значения УЭС загрязнённых пород уменьшаются в два и более раза за исключением зон скопления биогаза, где оно наоборот возрастает до 50 и более Ом·м.

2. **Наличие метана и повышенных значений двуокиси углерода в грунтовом воздухе.** Средние значения концентраций метана для свалок 4–6 % с локальными зонами максимумов до 40 %, а CO<sub>2</sub> до 8 %, в то время как на участках полигона содержание CH<sub>4</sub> – 1–2 %, а CO<sub>2</sub> – до 3 %.

3. **Повышенная температура грунтов** является следствием образования метана и более ярко проявляется на свалках, где в зимний период наблюдается отсутствие снежного покрова. Рост температуры в массиве отходов зачастую приводит к появлению очагов самовозгорания.

4. **Локальные экстремумы напряжённости магнитного поля.** Установлено, что свалки и особенно полигоны в целом характеризуются повышенными значениями напряжённости магнитного поля, в то время как шлаковая дамба – пониженными. В установленных по результатам ЭПТЗ местах локализации низкоомных техногенных объектов выполнены детализационные магнитометрические съёмки. В некоторых случаях подтверждены скопления металлосодержащих отходов.

5. **Аномалии ЕП обоих знаков** вызваны преимущественно фильтрационными процессами: просачиванием фильтрата и шламовых вод через стенки котлованов и дамбы, инфильтрационными процессами в нижележащие водоносные горизонты.

Геоэкологическая оценка уровня загрязнения геологической среды на исследуемых объектах выполнена по геохимическим показателям и контрастности геофизических аномалий на основе анализа и обобщения полученного фактического материала, литературных и фондовых данных. При этом опорными являлись схемы В.А. Богословского, Г.С. Вахромеева (2000), В.В. Приваленко (2009). В качестве основных выбраны следующие количественные показатели: контрастность аномалий электрического поля, контролирующая загрязнение горных пород; количество сухого остатка, характеризующее загрязнение вод; концентрация метана, соответствующая загрязнению грунтового воздуха (табл. 2).

Таблица 2. Критерии оценки уровня загрязнения компонентов геологической среды в местах размещения отходов

Уровень загрязнения		Показатели		
		Контрастность аномалий электрического поля, <i>отн. ед</i>	Количество сухого остатка, <i>г/дм<sup>3</sup>*</i>	Концентрация метана, % <sup>**</sup>
I	Низкий	≤ 2	≤ 3	> 0,1
II	Средний	2 – 3	3 – 10	≥ 1
III	Высокий	> 3	> 10	≥ 5

\* Критерии оценки..., 1992

\*\* СП 11-102-97

Оценка уровня загрязнения геологической среды выполнялась по наиболее загрязнённому компоненту (табл. 3).

Таблица 3. Геоэкологическая оценка загрязнённости геологической среды в местах размещения отходов Ростовской области

Показатели	Объект исследования		
	Свалка	Полигон	Шламонакопитель
Геохимические:			
сухой остаток, г/дм <sup>3</sup>	5,8	3,1	2,7
концентрация метана, %	≥ 5	1,5	0
Контрастность аномалий геофизических полей, <i>отн. ед.</i> :			
магнитного	1,1	1,1	1,5
радиационного	0,9	0,8	0,3
естественного электрического	1,5	1,9	1,4
искусственного электрического	3,1	2,1	2,5
УЭС воды	3,5	2,4	2,2
Уровень загрязнения геологической среды	высокий	средний	средний

Как видно из таблицы 3, на свалке наблюдается высокий уровень загрязнения геологической среды, поскольку концентрации метана превышают 5 %, а снижение УЭС вмещающих техногенные отложения пород происходит более чем в 3 раза.

На полигоне уровень загрязнения оценивается как средний, потому что концентрации метана 1,5 %, содержание сухого остатка больше 3 г/дм<sup>3</sup>, а контрастность аномалий электрического поля больше 2.

На шламонакопителе уровень загрязнения средний из-за повышенной контрастности аномалий электрического поля, в среднем 2,5.

Таким образом, установлено, что комплекс геофизических методов позволяет выявлять локальное техногенное загрязнение геологической среды, а так же в виде модуля может использоваться при предварительной оценке его уровня в местах размещения отходов.

#### **Глава 4. Совершенствование системы геоэкологического мониторинга мест размещения отходов на основе применения современных экогеофизических технологий**

По результатам выполненных работ составлены физико-геологические модели (ФГМ) и на их основе с учётом геолого-экономической эффективности сформированы комплексы геофизических методов для целей мониторинга на каждом его этапе. ФГМ состоят из геологических и петрофизических моделей (рис. 8–10).

Основным элементом моделей является их верхняя часть, представленная техногенным грунтом, как источником экологической опасности. В этой части выделены три структурно-вещественных комплекса (I – поверхностно-рекультивационный, II – погребённый и III – техногенно-загрязнённый), границы которых условны при небольшой толще отходов (1–3 м) и достаточно контрастны при значительных мощностях (10 м и более).

Для первых двух комплексов характерно повышенное содержание биогаза, для третьего – фильтрата, который увеличивает его мощность, насыщая подстилающие породы.

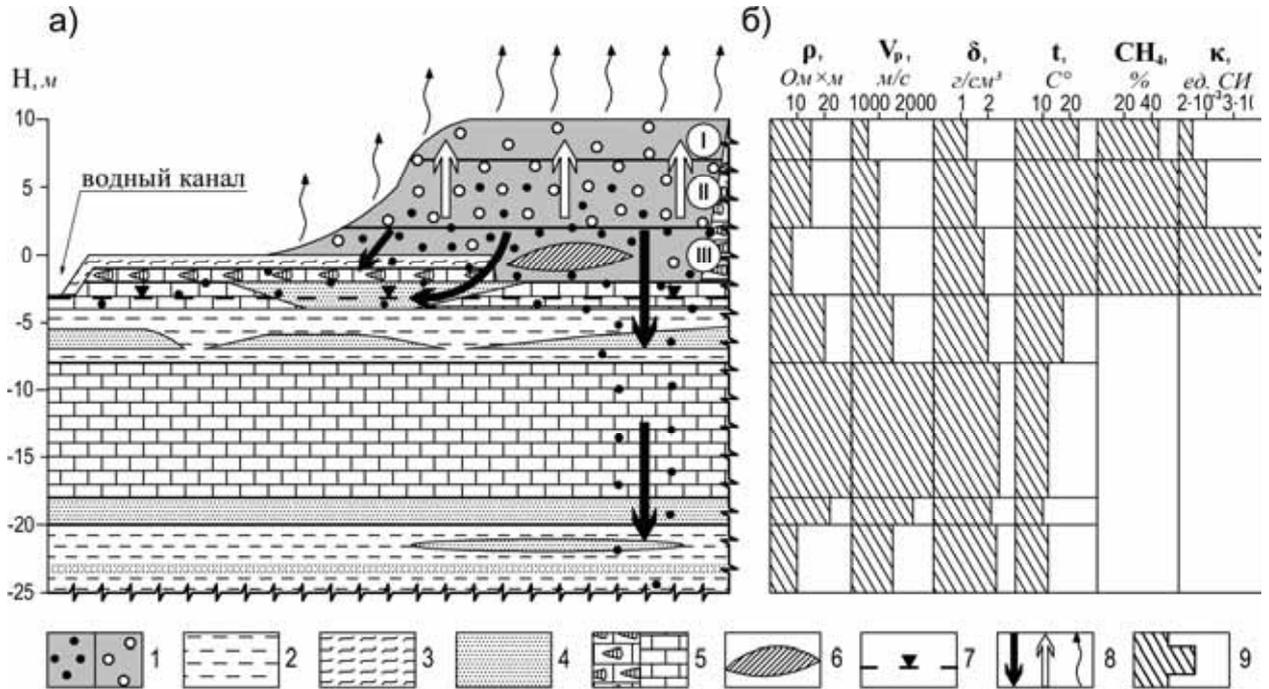


Рис. 8. Физико-геологическая модель свалки, состоящая из геологической (а) и петрофизической (б) моделей

I – слои мусора, содержащие фильтрат и биогаз; 2 – глина; 3 – суглинок; 4 – песок; 5 – известняк ракушечник и плотный; 6 – области складирования отходов строительства и литейного производства; 7 – уровень грунтовых вод;  $\delta$  – направления миграции фильтрата и биогаза; 9 – графики физических показателей:  $\rho$  – удельное электрическое сопротивление,  $V_p$  – скорость распространения продольных волн,  $\delta$  – плотность,  $t$  – температура,  $CH_4$  – содержание метана,  $\kappa$  – магнитная восприимчивость; I–III – структурно-вещественные комплексы (I – поверхностно-рекультивационный, II – погребённый, III – техногенно-загрязнённый)

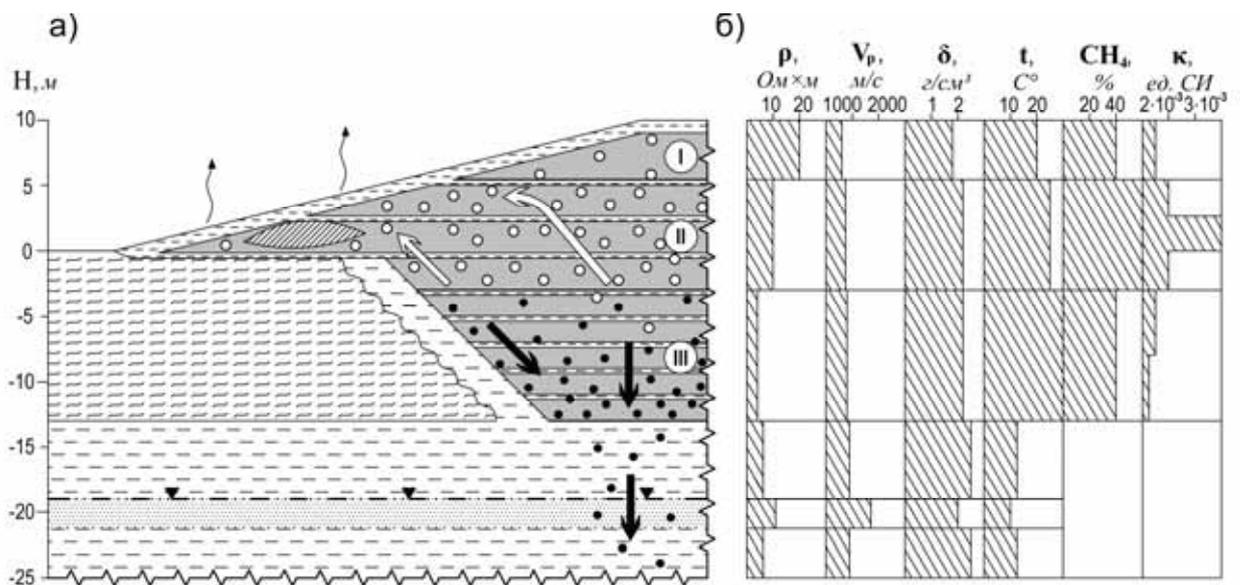
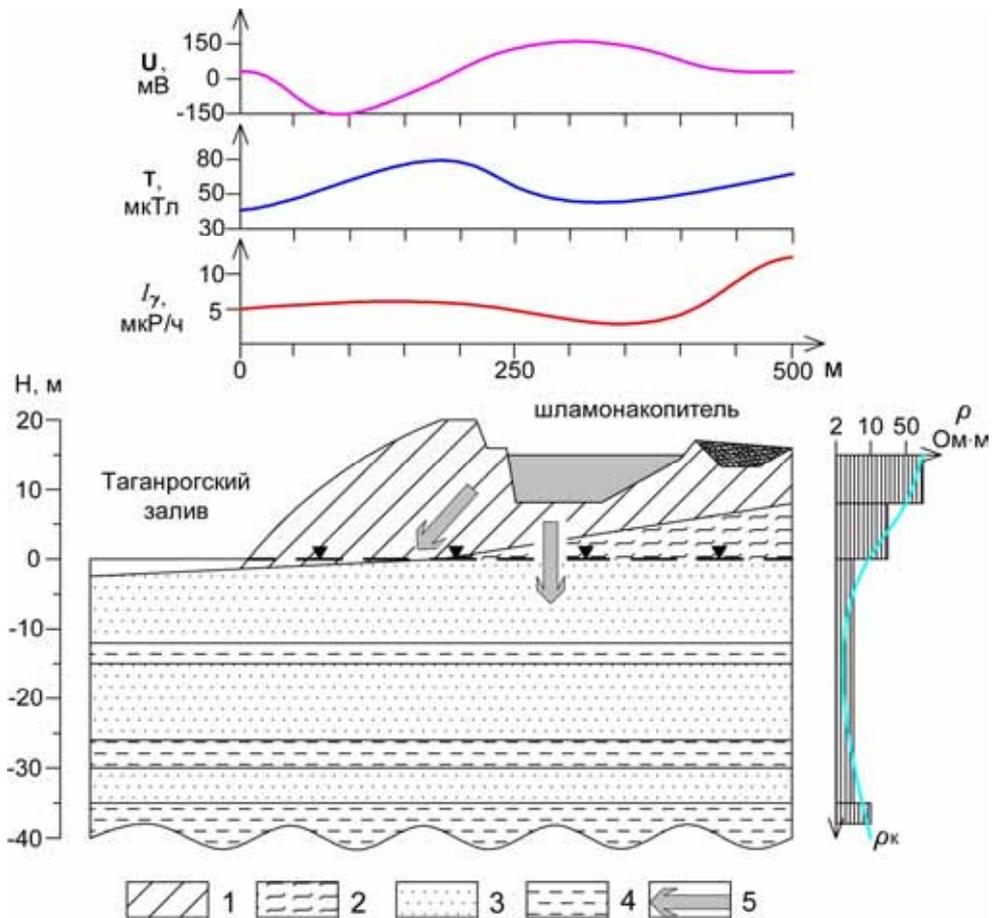


Рис. 9. Физико-геологическая модель полигона ТОПИ

Условные обозначения те же, что и на рис. 8



**Рис. 10. Физико-геологическая модель шламонакопителя**

1 – шлакоотвал; 2 – суглинок; 3 – песок; 4 – глина; 5 – направление фильтрации вод

Совершенствование системы геоэкологического мониторинга произведено в соответствии с теоретическими положениями мониторинга геологической среды (В.А. Королёв, 1995) и принципами комплексирования геофизических методов (А.А. Никитин, В.К. Хмелевской, 2004; А.Г. Тархов, В.М. Бондаренко, А.А. Никитин, 1977). Для условий Ростовской области наиболее применимой является схема, включающая три взаимосвязанных этапа наблюдений, с использованием геофизических технологий на каждом из них (рис. 11).



**Рис. 11. Схема мониторинга на основе геофизических технологий**

На первом этапе осуществляются предварительные изыскания по равномерной сети. При этом целесообразно использовать типовые комплексы геофизических методов, т.е. все методы, которые способны дать информацию о среде и её загрязнении (СП 11-105-97 часть VI). На этой стадии принимается решение о необходимости проведения мониторинга.

На втором этапе по принципу последовательных приближений устанавливается детальная сеть для выполнения режимных наблюдений, которые бывают двух типов: непрерывные и периодические. При проведении периодических измерений используется оптимальный комплекс методов, составленный по результатам наблюдений первого этапа. Решение задачи по его выбору осуществлялось через задание параметров оптимизации, которые сводились к получению максимальной информативности при минимальных затратах (Попов, 1976):

$$L = J_i / C_i \rightarrow \max ,$$

где  $J_i$  – информативность метода;  $C_i$  – цена исследования методом  $i$ . При оценке информативности использовалась величина контрастности аномалии:  $\mu = (A_{экстр.} - A_{ф}) / \sigma$  или  $\mu = (A_{max} - A_{min}) / \sigma$  для знакопеременных аномалий, где  $A_{экстр.}$ ,  $A_{max}$ ,  $A_{min}$  – аномальные, а  $A_{ф}$  – фоновые значения поля,  $\sigma$  – величина среднеквадратической ошибки определения фона.

Расчёты показывают, что оптимальный комплекс для режимных наблюдений *на участках полигона и свалке* состоит из основных методов: ЭПТЗ, для которого рассчитанная доверительная вероятность выделения зон загрязнения фильтратом составила от 80 до 100 % для пластов суглинков, глин и известняков при  $\sigma$  до 20 %, и газовой съёмки, которая является прямым методом поиска мест образования и локализации биогаза. На *шламонакопителе* основной метод – ЕП, детализационный – ЭПТЗ.

При проведении непрерывных наблюдений применяются отдельные методы, призванные дать информацию о наиболее изменчивом элементе среды – состоянии подземных вод. Таким методом на всех объектах является резистивиметрия на гидропостах и в наблюдательных скважинах.

На третьем этапе осуществляются инвентаризационные наблюдения по расширенной сети, направленные на решения широкого круга задач по выявлению новых очагов загрязнения геологической среды. Кроме того, они носят и методический характер, т.к. по мере совершенствования технологий, методик и аппаратурной базы должны совершенствоваться наблюдательные сети и оптимизироваться комплексы используемых методов.

Рациональный комплекс методов для инвентаризационных исследований представлен в таблице 4. Он составлен на основе оценки общей геолого-экономической эффективности комплекса (Журбицкий, 1977):

$$L = \sum \gamma_{lj} / \sum C_l ,$$

где  $\gamma_{lj}$  – информативность  $l$ -го метода при решении  $j$ -й геоэкологической задачи, а  $\sum C_l$  – суммарные затраты на геофизические исследования.

Второй и третий этапы наблюдений цикличны и осуществляются непрерывно до наступления приемлемого состояния геологической среды.

Таблица 4. Рациональные комплексы экогеофизических методов

Задачи	Геофизические методы		Заверочные методы
	Основные	Вспомогательные	
Определение мест фильтрации и распространения техногенных вод	ЭПТЗ, ЕП в полевом и скважинном (МЗ) вариантах	резистивиметрия, МПВ	бурение, геохимические исследования, биотестирование
Обнаружение радиоактивных источников загрязнения	гамма- и эманационные съёмки	гамма-спектрометрическая съёмка	
Определение мест локализации биогаза	газовая съёмка	термометрия	
Определение мест скопления металлосодержащих отходов	магнитометрия	ЭПТЗ, ЕП	

### ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

Основные результаты проведенных работ заключаются в следующем.

1. Изучение геоэкологических проблем в местах размещения отходов позволило выделить три подхода к оценке экологического состояния геологической среды при их обследовании: расчётного, эколого-геохимического, эколого-геофизического. Установлено, что получение наиболее достоверной информации возможно лишь путём использования преимуществ каждого из выделенных подходов.

2. Изучены геологические, гидрогеологические, геоморфологические и другие характеристики мест размещения отходов Ростовской области. Установлены слабая защищённость и высокая степень риска загрязнения поверхностных и подземных вод, а так же благоприятные предпосылки для эффективного применения геофизических методов.

3. Доказано, что ортоосевые установки ЭПТЗ в условиях сложных и ограниченных по площади природно-техногенных систем «работают» как объёмный электроразведочный фильтр направленного возбуждения, благодаря чему достигается возможность изучения строения техногенных толщ на глубину и выявление локальных неоднородностей.

4. Установлены экогеофизические признаки загрязнения в местах размещения отходов Ростовской области: понижение УЭС, наличие метана, повышенная температура грунтов, локальные экстремумы напряжённости магнитного поля, аномалии ЕП обоих знаков.

5. Составлены физико-геологические модели объектов исследований, дающие представление о положении техногенных отложений в массиве вмещающих пород, направлении потоков фильтрата и биогаза, изменении параметров геофизических полей верхней части геологического разреза.

6. Усовершенствована для условий мест размещения отходов Ростовской области система мониторинга геологической среды на основе геофизических технологий, которая включает три этапа: предварительные изыскания, режимные и инвентаризационные наблюдения. Для каждого этапа составлен комплекс экогеофизических методов.

СПИСОК РАБОТ, В КОТОРЫХ ОПУБЛИКОВАНЫ  
ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ДИССЕРТАЦИИ

***Статьи, опубликованные в научных изданиях, рекомендованных ВАК РФ:***

1. Закруткин В.Е., Фоменко Н.Е., **Гапонов Д.А.** Использование комплекса экогеофизических методов для решения геоэкологических задач на территориях размещения промышленных отходов // Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Естественные науки. – 2011. – №4. – С.45–47.
2. Фоменко Н.Е., **Гапонов Д.А.** Геофизический модуль в системе геоэкологического мониторинга территорий размещения промышленных и бытовых отходов // Известия вузов. Северо-Кавказский регион. Естественные науки. – 2010. – № 4. – С. 115–119.
3. **Гапонов Д.А.** Использование оптимального комплекса геофизических экспресс-технологий для решения геоэкологических задач на территориях размещения бытовых и промышленных отходов // Записки горного института. – 2011. – № 195. – С. 60–65.

***Статьи и тезисы, опубликованные в других изданиях:***

4. **Гапонов Д.А.** Изучение полигонов и свалок: геофизические методы // Твёрдые бытовые отходы. – 2010. – №7. – С. 38–41.
5. **Гапонов Д.А.** Эколого-геофизические исследования мест захоронения отходов производства и потребления // Экологические нормы. Правила. Информация. – 2010. – №3. – С. 44–46.
6. Фоменко Н.Е., Порфилкин Э.Г., **Гапонов Д.А.**, Кулакова О.В. Электропотенциальные томографические зондирования при инженерно-геологических изысканиях // Проблемы геологии, планетологии, геоэкологии и рационального природопользования: материалы IX междунар. науч.-практ. конф. (Новочеркасск, 20 декабря 2010 г.). – Новочеркасск: ЮРГТУ, 2011. – С. 202–209.
7. Порфилкин Э.Г., Фоменко Н.Е., **Гапонов Д.А.** Перспективы использования метода радио-кип для решения задач геоэкологического мониторинга // Проблемы геологии, планетологии, геоэкологии и рационального природопользования: материалы IX междунар. науч.-практ. конф. (Новочеркасск, 20 декабря 2010 г.). – Новочеркасск: ЮРГТУ, 2011. – С. 215–220.
8. Фоменко Н.Е., **Гапонов Д.А.** Оценка состояния полигонов твёрдых отходов производства и потребления технологией электропотенциального томографического зондирования [Электронный ресурс] // Инженерная и рудная геофизика: материалы VI междунар. науч.-практ. конф. (Геленджик, 26–30 апреля 2010 г.). М.: ИНЖГЕО-2010.1 электрон, опт. диск (CD-ROM).
9. Кулакова О.В., **Гапонов Д.А.** Комплексирование геофизических методов для геоэкологического мониторинга полигонов ТБО / Студенческая научная весна – 2011: материалы Региональной науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых учёных вузов Ростовской области. Новочеркасск: ЮРГТУ (НПИ), 2011. – С. 66–68.

10. Гроссу А.Н., Лубянова С.И., Боровик Н.Ю., **Гапонов Д.А.** Методические приёмы выявления и диагностики приповерхностных техногенных и природных объектов посредством электрических зондирований [Электронный ресурс] // Инженерная и рудная геофизика: материалы VI междунар. науч.-практ. конф. (Геленджик, 26–30 апреля 2010 г.). М.: ИНЖГЕО-2010.1 электрон, опт. диск (CD-ROM).
11. **Гапонов Д.А.** О роли геофизических методов при проведении геоэкологического мониторинга в местах захоронения промышленных и бытовых отходов // Молодёжная инициатива – 2010: материалы I Ростовского молодёжного науч.-практ. форума (Ростов-на-Дону, 12 февраля 2010 г.). – Ростов-н/Д: ООО «Печатная лавка», 2010. – С. 131–132.
12. **Гапонов Д.А.** Применение геофизических методов при изучении свалок и полигонов твёрдых бытовых отходов (геоэкологический аспект) / Строение литосферы и геодинамика: материалы XXIII всерос. молодёжной конф. (Иркутск, 21–26 апреля 2009 г.). – Иркутск: Институт земной коры СО РАН, 2009. – С. 266–267.
13. **Гапонов Д.А.** Эколого-геофизические исследования мест захоронения отходов производства и потребления г. Ростова-на-Дону // Сотрудничество для решения проблемы отходов: материалы VI междунар. конф. (Харьков, 8–9 апреля 2009 г.). – Харьков, 2009. – С. 177–180.
14. **Гапонов Д.А.** Изучение несанкционированных свалок в г. Ростов-на-Дону экогеофизическими методами // Проблемы региональной экологии в условиях устойчивого развития: Сб. материалов VI всерос. науч.-практ. конф. с международным участием: в 2 ч. Часть 2. (Киров, 25–27 ноября 2008 г.). – Киров: Изд-во «О-Краткое», 2008. – С. 151–154.