

УДК 550.837

**ЭЛЕКТРОРАЗВЕДОЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРИ ЭКОЛОГО-  
ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЯХ В  
НЕФТЕПРОМЫСЛОВЫХ РЕГИОНАХ РЕСПУБЛИКИ ТАТАРСТАН**

**<sup>1</sup>П.Н.Кубарев, <sup>1</sup>Г.И.Петрова, <sup>2</sup>М.Я. Боровский, <sup>2</sup>С.В. Шакуро,  
<sup>3</sup>М.В. Петрова**

<sup>1</sup>ТатНИПИнефть, <sup>2</sup>ООО «Геофизсервис»,

<sup>3</sup>Казанский (Приволжский) федеральный университет

**ELECTRICAL PROSPECTING AS PART OF ENVIRONMENTAL AND  
GROUNDWATER SURVEYS IN TATARSTAN OIL FIELDS**

**<sup>1</sup>P.N. Kubarev, <sup>1</sup>G.I. Petrova, <sup>2</sup>M.Ya. Borovsky, <sup>2</sup>S.V. Shakuro, <sup>3</sup>M.V. Petrova**

<sup>1</sup>TatNIPIneft, <sup>2</sup>ООО Geophizservis, <sup>3</sup>Kazan Federal University

**E-mail: vlrk@tatnipi.ru**

**Аннотация.** Рассматриваются возможности и результаты применения электроразведочных методов для выявления источников загрязнения пресных подземных вод на территориях разработки нефтяных месторождений Татарстана в составе комплексных эколого-гидрогеологических работ для разработки рекомендаций по улучшению гидрогеоэкологического состояния гидросферы.

**Abstract.** This paper discusses the potential and the effect of electrical prospecting in identifying sources of fresh groundwater contamination in Tatarstan oil fields as part of comprehensive environmental and groundwater surveys with the view of working out the guidelines for improving state of the hydrosphere.

**Ключевые слова.** Электроразведочные методы, очаг засоления, вертикальное электрическое зондирование, метод естественного поля, симметричное электропрофилирование, комплексные эколого-гидрогеологические исследования.

**Key words:** electrical prospecting, salinization source, vertical electrical sounding, natural-source method, symmetrical electrical profiling, comprehensive environmental and groundwater surveys.

Поиски, разведка и разработка месторождений полезных ископаемых, а также использование недр в других целях предполагает комплексные исследования естественных и техногенных изменений геологической среды во времени и пространстве. Все виды техногенного воздействия и естественных проявлений диастрофизма земной коры находят отображение в распределении фиксируемых физических параметров.

Действенный инструмент изучения пространственно-временных взаимодействий техногенных и природных процессов – геофизический мониторинг.

Цель геофизического мониторинга [1, 9] – получение разносторонней информации о строении геологической среды, о влиянии на литосферное пространство антропогенной нагрузки, регистрация и прогноз природных и техногенных процессов

Основной принцип геофизического мониторинга – комплексное изучение различных физических полей.

Важнейшие задачи геофизических исследований:

- районирование территории по признаку чувствительности горных пород к различным видам загрязнений;
- нахождение очагов загрязнения и определение границ распространения этого загрязнения;

- получение количественных показателей, характеризующих степень воздействия загрязнителей на геологическую среду;
- оценка тенденций развития загрязнения с течением времени;
- прогноз воздействия антропогенной деятельности на конкретные экосистемы;
- изучение и прогноз зон природных катастроф.

В последние годы большое внимание уделяется [1, 2, 4, 5] геоэкологическому обследованию предприятий нефтяной промышленности.

Согласно «Экологической программе ОАО «Татнефть» на период 2000–2015 гг.» осуществляются исследования гидроэкологического состояния пресных подземных вод с целью разработки мероприятий по снижению техногенного воздействия.

Для выявления и устранения источников засоления пресных подземных вод институтом ТатНИПИнефть проводятся [2] комплексные эколого-гидрогеологические исследования. Осуществляются следующие виды работ: эколого-гидрогеологическое обследование территории, режимные гидрохимические наблюдения, выделение области питания родника, опробование наблюдательных (эколого-гидрогеологических) скважин, электроразведочные измерения, анализ технического состояния нефтепромысловых сооружений, попавших в область питания родника, выявление доминирующего источника загрязнения, разработку рекомендаций по улучшению экологической ситуации [1, 2].

Составной и важной частью этих работ является проведение наземных геофизических исследований методами электроразведки.

К настоящему времени обоснованы [1, 3-10] физико-геологические предпосылки, разработаны рациональные эколого-геофизические комплексы и технологии, накоплен (рис. 1) обширный экспериментальный материал.



Среди поверхностных источников засоления грунтов и грунтовых вод принято выделять [1, 4] первичные и вторичные. К первичным относится техническое оборудование и коммуникации: утечки из трубопроводов, негерметичности приустьевого оборудования скважин, фильтрация из земляных амбаров и т.п. Они являются причиной попадания рассолов в зону аэрации и водоносные горизонты. В качестве вторичных рассматриваются длительно существующие линзы загрязнённых грунтов, сформировавшиеся в зоне аэрации под воздействием на нее первичных источников. Пространственно эти два типа источников загрязнения часто расположены в непосредственной близости друг от друга, однако при пересеченном рельефе могут быть существенно разобщены.

Задачи геофизических методов при изучении очагов засоления подземных вод [1, 3, 4, 5, 8]:

- поиски и оконтуривание вторичных источников поступления загрязняющих компонентов в водоносные горизонты,
- обнаружение скрытых первичных источников,
- изучение особенностей геологического строения территории.

Утечки и проливы нефтепродуктов в настоящее время – один из основных факторов загрязнения верхней части геологического разреза. Нефтяные загрязнения образуют области сложных очертаний, нечеткие по изменению физических свойств. Для их обнаружения необходимо, чтобы эффект от загрязнения превышал влияние геологического и техногенного шума.

Зачастую результатом загрязнения являются [4, 5, 6] компактные линзы нефтепродуктов, формирующиеся у зеркала вод первого от поверхности водоносного горизонта и мигрирующие по его уклону, частично «размазываясь» в плане и по вертикали в пределах зоны аэрации. Предполагается [6], что линза подразделяется на гравитационно-подвижную зону полного насыщения вмещающих пород

нефтепродуктами и обширную мобилизованную зону частичного насыщения, образующуюся при вертикальных движениях нефтепродуктов во время сезонных колебаний уровня грунтовых вод.

Загрязнение нефтью и нефтепродуктами – необычный объект благодаря его способности к изменениям и подвижности.

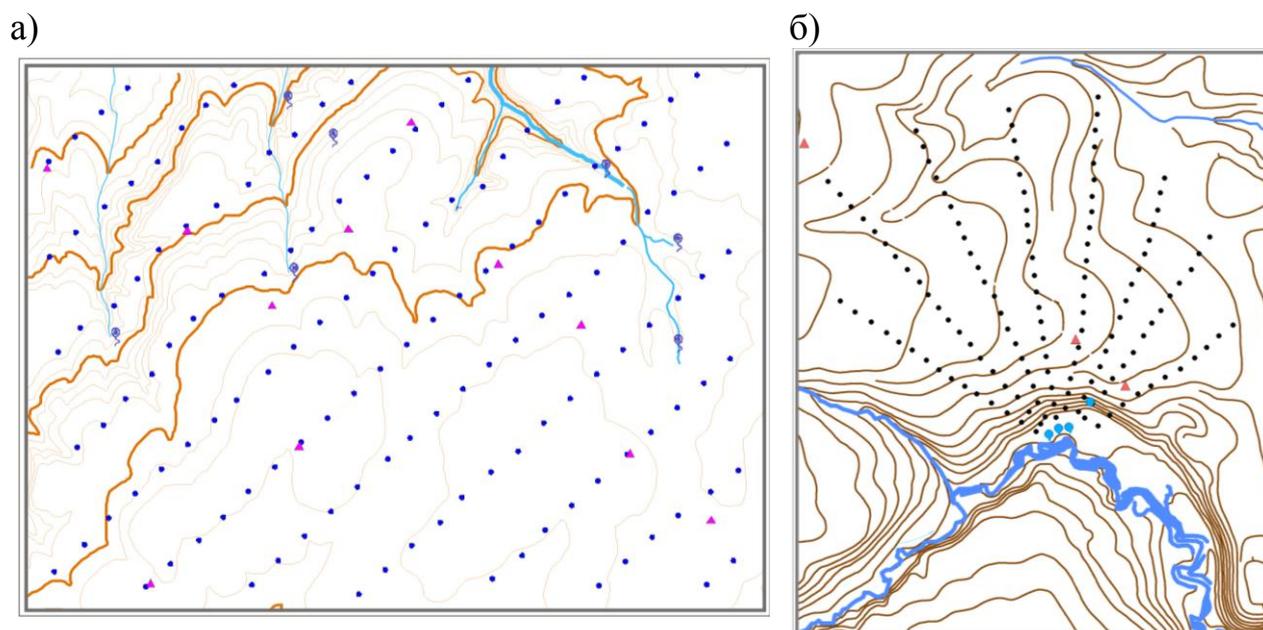
Тот факт, что нефтепродукты, являясь в чистом виде изоляторами, проявляют себя в наблюдаемых полях электросопротивления именно низкоомными аномалиями, имеет [6] несколько объяснений.

Во-первых, в большинстве случаев, вещество, слагающее тело линзы, является не чистым нефтепродуктом, а его водной эмульсией, которая на фоне сухих, относительно высокоомных пород обладает пониженным электрическим сопротивлением.

Во-вторых, активные процессы аэробной и анаэробной биодеградаций нефтепродуктов, протекающие в естественных условиях, приводят к образованию и накоплению в зоне аэрации продуктов разложения, снижающих электрическое сопротивление среды. В верхних слоях геологического разреза активность бактерий, ассимилирующих нефтепродукты, очень высока. Они трансформируют часть нефтяной пленки в различные кислоты. Кислоты реагируют с горными породами и ионами железа, находящимися в воде, и в результате понижают сопротивление грунтовых вод, обостряют карстовые процессы, вызывают образование пирита.

Решение задачи картирования контура линзы возможно электроразведкой методами сопротивлений, естественного и вызванного потенциала. При этом следует принимать во внимание сложный характер отображения источников загрязнения в геофизических полях вследствие интенсивных процессов, происходящих при взаимодействии нефтепродуктов с вмещающими породами.

Комплексные полевые геофизические исследования в составе эколого-гидрогеологических работ проводятся [1, 2, 4] в области питания и разгрузки загрязненных родников (используемых для наблюдения за экологическим состоянием зоны пресных подземных вод). Площадные измерения выполняются по сети 100–200–250 на 100–200–250 м по профилям поперёк склона. Используется либо регулярная квадратная (прямоугольная) (рис. 2а), либо радиальная (рис. 2б) сеть наблюдений.



Условные обозначения:

- точка СЭП
- ▲ местоположение пункта ВЭЗ

**Рис. 2. Схема расположения пунктов электроразведочных исследований**

В состав полевых электроразведочных работ входят:

- опорные наблюдения ВЭЗ (как правило, сведения о литологии пород слагающих верхнюю часть разреза на нефтепромыслах отсутствуют);
- симметричное электрическое профилирование СЭП в площадном варианте;
- измерения методом естественного поля ЕП на выделенных скважинах с ненадежным техническим состоянием (отсутствие цемента за кондуктором и эксплуатационной колонной, плохое качество цементного камня, зафиксированные нарушения и заколонная

циркуляция), по четырем взаимно перпендикулярным лучам (способ потенциала).

Симметричное электрическое профилирование СЭП (на двух разносах) используется в качестве основного метода. Для уточнения данных о геологическом строении участка работ выполняются вертикальные электрические зондирования ВЭЗ.

Принимая во внимание вероятность отображения областей загрязнения горных пород в виде участков пониженного сопротивления, при эколого-геологическом истолковании геофизических материалов данное положение принимается в качестве основного критерия. Результаты электропрофилеирования на малых разносах позволяют оконтурить в плане области относительно пониженных кажущихся сопротивлений, которые рассматриваются как предполагаемые участки приповерхностного загрязнения. Карты изолиний  $\rho_k$ , построенные по значениям, полученным на больших разносах АВ, несут информацию о более глубоких горизонтах, позволяя коррелировать и изучать выявленные аномалии на глубину.

Анализ характера изменения естественного электрического поля способствует диагностике загрязнения районов нефтепромысловых сооружений. В 90-х годах прошлого столетия теоретически обоснованы и разработаны методики проведения и интерпретации результатов метода ЕП при выявлении и оценке источников загрязнения водоносных горизонтов. В Татарстане профессором Казанского университета Э.К. Швыдкиным (1996) показана принципиальная возможность изучения очагов и ореолов распространения загрязняющих подземные воды веществ с поверхности при наличии соответствующей аппаратуры и техники [1, 8]. Проведение измерений методом ЕП у скважин обеспечивает качественную оценку [7, 8, 9, 10] движения водного потока вдоль ствола скважин (для выявления восходящих, либо нисходящих перетоков).

Экспериментальные исследования показывают эффективность использования электропрофилирования на начальном этапе работ по разведке очагов многокомпонентного загрязнения в пределах юго-востока Республики Татарстан. С помощью электропрофилирования оконтуривается ряд вторичных источников поверхностного загрязнения. Первичными источниками при этом служат [1, 4, 8] нефтепромысловые объекты: трубопроводы, скважины, КНС, ГЗУ. Наибольшими по площади вторичными источниками являются области ландшафтной аккумуляции, наименьшими – участки локальных утечек из трубопроводов. Источники загрязнения площадного типа, сформировавшихся вокруг сооружений нефтепромыслов, выделяются как обширные области низких значений кажущегося сопротивления.

По результатам электропрофилирования установлено, что вокруг эксплуатационных скважин могут существовать многочисленные вторичные источники загрязнения. Им отвечают аномалии высокой электропроводности, где значения кажущегося сопротивления в 3–5 раз ниже фоновых, характерных для соседних участков. Размеры аномальных участков в плане составляют первые десятки метров. Причиной появления вторичных источников, по всей видимости, являются разливы рассолов, связанные с периодическим капитальным ремонтом нефтепромысловых скважин.

По материалам симметричного электропрофилирования (разносы 30 м и 100 м) выделяются зоны, характеризующиеся относительно пониженными значениями кажущегося сопротивления. Наиболее низкоомные участки в этих аномальных зонах ( $\rho_k$  менее 30 Ом·м) интерпретируются (В.И. Богатов, М.Я. Боровский и др., 2007) как возможные очаги загрязнения (засоления).

В плане наблюдается соответствие зон загрязнения для различных уровней (глубин) горизонтального среза ( $AB=30$  м,  $AB=100$  м).

Участки совпадения зон загрязнения на различных глубинах являются первоочередными для постановки детальных эколого-гидрогеологических наблюдений.

По результатам электроразведки ЕП, выполненной на устьях скважин, прогнозируется наличие восходящей и нисходящей фильтрации.

Таким образом, электрическая разведка, включающая методы сопротивлений (установки ВЭЗ, СЭП) и естественных потенциалов ЕП дает важные сведения о техническом состоянии нефтепромысловых сооружений и характере загрязнения вод зоны активного водообмена.

#### Список литературы

1. Боровский, М.Я. Геоэкология недр Республики Татарстан: геофизические аспекты / М.Я. Боровский, Н.Х. Газеев, Д.К. Нургалиев; под ред. Д.К. Нургалиева. – Казань: Экоцентр, 1996. – 316 с.
2. Петрова Г.И. Гидрогеологические условия зоны активного водообмена центральной части Южно-Татарского свода в связи с разработкой нефтяных месторождений: автореф. дисс.соискания уч.степени к.г.-м.н.: 25.00.07 / Петрова Гузель Инзировна. – Пермь: ПГУ, 2004. – 25 с.
3. Геофизические методы исследований в гидрогеологии и инженерной геологии. – М.: Недра, 1985. – 250 с.
4. Гидрогеоэкологические исследования в нефтедобывающих районах Республики Татарстан / под ред. А.И. Короткова, В.К. Учаева. – Казань: Изд-во Репер, 2007. – 300 с.
5. Геоэкологическое обследование предприятий нефтяной промышленности / под ред. проф. В.А. Шевнина и доц. И.Н. Модина. – М.: РУССО, 1999. – 511 с.
6. Шакуро, С.В. Применение геофизических методов при изучении техногенных линз нефтепродуктов / С.В. Шакуро // Разведка и охрана недр. – 2005. – №8. – С. 24–26.
7. Электроразведка : Справочник геофизика. – М., Недра, 1979. – 518 с.

8. Чернышева, М.Г. Метод электрических потенциалов фильтрации в решении гидрогеологических и экологических проблем в нефтепромысловых регионах РТ: автореф. дисс. соискание уч. степени к.г.-м.н.:04.00.12 / Чернышева Марина Геннадьевна. – Казань: КГУ, 1999. – 24 с.
9. Огильви А.А. Основы инженерной геофизики / А.А. Огильви. – М.: Недра, 1990. – 501 с.
10. Семенов, А.С. Электроразведка методом естественного электрического поля / А.С. Семенов. – Л.: Недра, 1980. – 446 с.

**Сведения об авторах**

*Кубарев Петр Николаевич*, к.т.н., начальник, отдел экологической безопасности при разработке нефтяных месторождений, институт «ТатНИПИнефть» ПАО «Татнефть» им. В.Д. Шашина, г. Бугульма, Республика Татарстан, Российская Федерация  
E-mail: vlrk@tatnipi.ru

*Петрова Гузель Инзировна*, к.г.-м.н., заведующая лабораторией, институт «ТатНИПИнефть» ПАО «Татнефть» им. В.Д. Шашина, г. Бугульма, Республика Татарстан, Российская Федерация  
E-mail: rafecolog@tatnipi.ru

*Боровский Михаил Яковлевич*, к.г.-м.н., директор, ООО «Геофизсервис»; г.Казань, Республика Татарстан, Российская Федерация  
E-mail: vlrk@tatnipi.ru

*Шакуро Сергей Владимирович*, ведущий геофизик, ООО «Геофизсервис»; г.Казань, Республика Татарстан, Российская Федерация  
E-mail: vlrk@tatnipi.ru

*Петрова Миляуша Венеровна*, студентка, Институт геологии и нефтегазовых технологий, Казанский (Приволжский) федеральный университет, г.Казань, Республика Татарстан, Российская Федерация  
E-mail: vlrk@tatnipi.ru

**Authors**

*P.N. Kubarev*, PhD, Head of Environmental Safety Department, TatNIPIneft – PJSC TATNEFT, Bugulma, Republic of Tatarstan, Russia  
E-mail: vlrk@tatnipi.ru

*G.I. Petrova*, PhD, Head of Laboratory, TatNIPIneft – PJSC TATNEFT, Bugulma, Republic of Tatarstan, Russia  
E-mail: rafecolog@tatnipi.ru

*M.Ya. Borovsky*, PhD, Director of OOO Geophizservis, Kazan, Republic of Tatarstan, Russia  
E-mail: vlrk@tatnipi.ru

*S.V. Shakuro*, Senior geo-scientist, OOO Geophizservis, Kazan, Republic of Tatarstan, Russia  
E-mail: vlrk@tatnipi.ru

*M.V. Petrova*, student, Kazan Federal University, Kazan, Republic of Tatarstan, Russia  
E-mail: vlrk@tatnipi.ru

**Кубарев Петр Николаевич**  
**423236, Российская Федерация, Республика Татарстан,**  
**г. Бугульма, ул. Мусы Джалиля, 32**  
**тел.: 8(85594) 78-978**  
**E-mail: vlrk@tatnipi.ru**