

РАЗВИТИЕ МЕТОДОЛОГИИ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО НОРМИРОВАНИЯ  
СОСТОЯНИЯ ВОДНЫХ ОБЪЕКТОВ

---

DEVELOPMENT OF THE METHODOLOGY OF ECOLOGICAL  
NORMALIZATION OF WATER BODIES' STATE

**ЭКОЛОГО-ГЕОФИЗИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС В ПРОЦЕССАХ ОСВОЕНИЯ  
НЕФТЯНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ**

**Боровский М.Я., Богатов В.И.**

ООО «Геофизсервис», г. Казань, Россия

**Борисов А.С., Фахрутдинов Е. Г.**

Казанский (Приволжский) федеральный университет, г. Казань, Россия

**Шакуро С.В.**

ООО «ФРОНТ Геология», г. Нижний Новгород, Россия

e-mail: micbor1913@mail.ru

**Ключевые слова:** опасные в экологическом отношении производства, загрязнение и осолонение подземных вод, комплекс геофизических методов, электроразведка, методы сопротивлений, естественные электрические потенциалы, аномалия.

*Территории поиска и добычи углеводородного сырья относятся к регионам с большой техногенной нагрузкой на экосистему. Рассмотрены факторы техногенного загрязнения подземных и поверхностных вод. Акцентировано внимание на нарушении конструктивных обязательств строительства скважин различного целевого назначения в верхней части гидрогеологического разреза. Для выявления и устранения источников засоления пресных подземных вод проводятся комплексные эколого-гидрогеологические исследования. Составной и важной частью этих работ является проведение наземных геофизических исследований методами электроразведки. Приводятся комплекс, задачи, методика и результаты электроразведочных наблюдений в нефтеперспективной Закамской части Республики Татарстан.*

**ECOLOGICAL AND GEOPHYSICAL COMPLEX IN THE PROCESSES OF OIL  
FIELD DEVELOPMENT**

**Borovsky M. Ya., Bogatov V. I.**

Geofizservis LLC, Kazan, Russia

**Borisov A. S., Fakhrutdinov E. G.**

Kazan (Privolzhsky) Federal University, Kazan, Russia

**Shakuro S. V.**

FRONT Geology LLC, Nizhny Novgorod, Russia

e-mail: micbor1913@mail.ru

**Keywords:** environmentally hazardous production, pollution and salinization of groundwater, set of geophysical methods, electrical exploration, resistance methods, natural electrical potentials, anomaly

*The territories of search and production of hydrocarbon raw materials belong to the regions with a large technogenic load on the ecosystem. The factors of technogenic pollution of underground and surface waters are considered. Attention is focused on disturbances of the constructive obligations of the construction of wells for various purposes in the upper part of the hydrogeological section. To identify and eliminate sources of salinization of fresh groundwater, comprehensive ecological and hydrogeological studies are carried out. An integral and important part of these works is the conduct of ground-based geophysical research using electrical exploration methods. The set, tasks, methods and results of electrical survey observations in the oil-prospective Zakamsky part of the Republic of Tatarstan are presented.*

Территории деятельности нефтедобывающих компаний относятся к регионам с большой техногенной нагрузкой на экосистему. Здесь, как правило, расположено большое

количество опасных в экологическом отношении производств, таких как товарные парки, ДНС, КНС, ГЗУ, глубокие скважины различного назначения, сеть трубопроводов. Очаги техногенного загрязнения подземных и поверхностных вод действуют на протяжении длительного времени (в Урало-Поволжье с 50-х гг. XX в.). Особенно важно предусмотреть и выявить негативные последствия нарушения конструктивных обязательств, предусмотренных, согласно проекту строительства скважин, в верхней части разреза.

Природоохранная деятельность в районах разработки нефтяных месторождений предусматривает контроль за чистотой и сохранностью естественных запасов пресных вод [1, 2, 3, 4, 5, 6]. Большое внимание уделяется состоянию пластов, содержащих пресную воду и находящихся в пределах приповерхностной части разреза, перекрытой кондуктором. Некачественное цементирование кондуктора в процессе строительства скважины создает предпосылки для возникновения межпластовых перетоков, следствием которых может быть:

- загрязнение и осолонение пресноводных пластов при прорыве вверх минерализованных вод из разрабатываемого интервала (восходящий переток);
- потери запасов пресных вод при их перетекании в нижележащие высокоминерализованные водоносные горизонты (нисходящий переток).

Выявление и определение направления межпластовых заколонных перетоков относится к важнейшим задачам контроля за разработкой нефтегазовых месторождений.

Для непосредственного выявления перетоков жидкости и газа по заколонному пространству во время исследований используются [1, 5, 7] термические, радиоактивные и акустические методы. Термометрия – наиболее распространенный и информативный метод по выявлению заколонных перетоков. Однако имеются трудности, не позволяющие однозначно определить интервал межпластового заколонного перетока в условиях скважины многоколонной конструкции в верхней части разреза. Это связано [1] со сложным характером теплового поля в интервале заколонного движения, разнообразием проявления температурных эффектов в скважине, различием в условиях проведения измерений.

Для повышения информативности и достоверности решения задачи диагностики заколонной среды в условиях скважины многоколонной конструкции в системе скважина-пласт разработана технология нестационарной термометрии для геолого-технологических условий верхней части разреза Волго-Уральского нефтегазоносного бассейна. Подробно методика нестационарной термометрии для диагностики заколонной среды скважин в верхней части разреза изложена в диссертационном обобщении В.В.Баженова [1].

Для предотвращения загрязнения подземных вод проводятся мероприятия по их защите. Первым профилактическим звеном служит организация системы гидромониторинга экологического состояния подземных вод. Для выявления и устранения источников засоления пресных подземных вод проводятся 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, разработка рекомендаций по улучшению экологической ситуации [1, 2, 3, 4, 6, 8, 9].

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

Среди поверхностных источников загрязнения выделяются (К.С. Харьковский, 1998, [3]) первичные и вторичные. К первичным относятся [2, 3, 4, 5, 6, 8, 9] техническое оборудование и коммуникации. Утечки из трубопроводов, негерметичности приустьевых сооружений скважин, фильтрация из земляных амбаров и т.п. служат основной причиной попадания рассолов в зону аэрации или водоносные горизонты. В качестве вторичных рассматриваются длительно существующие линзы засоленных грунтов, сформировавшиеся в

зоне аэрации под воздействием на нее первичных источников загрязнения.

Пространственно эти два источника загрязнения, как правило, совпадают, однако с распространением вторичного очага загрязнения вниз по разрезу, до кровли регионального водоупора «лингуловые глины», при пересеченном рельефе могут быть существенно разобщены.

Задачами электроразведки при изучении очагов засоления подземных вод являются:

- поиски и оконтуривание *вторичных* источников поступления загрязняющих компонентов в водоносные горизонты;
- обнаружение скрытых *первичных* источников: скважин с некачественным техническим состоянием, порывов напорных трубопроводов;
- изучение особенностей геологического строения территории.

Важным становится поиск и оконтуривание низкоомных аномалий удельного электрического сопротивления грунта в приповерхностных слоях разреза. Такие аномалии, как правило, идентифицируются как зоны локализации подземных вод, обладающих повышенной минерализацией. Утечки и проливы нефтепродуктов в настоящее время – основной фактор загрязнения верхней части геологического разреза.

Зоны интенсивного загрязнения нефтепродуктами картируются [2, 3, 8, 9, 10, 11] по высоким значениям кажущейся поляризуемости и по пониженным значениям удельного сопротивления по сравнению с вмещающими породами.

Комплексные полевые геофизические исследования в составе эколого-гидрогеологических работ проводятся 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 поперек склона. В состав полевых электроразведочных работ входят:

- опорные наблюдения ВЭЗ;
- 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; как правило, геологическое строение верхней части разреза на нефтепромыслах не изучено.

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 электропрофилирования 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 гг. XX в. 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. Швыдким показана принципиальная возможность изучения очагов и ореолов распространения загрязняющих подземные воды веществ с поверхности при наличии соответствующей аппаратуры и

техники [2, 8, 9, 12, 13]. Проведение измерений методом ЕП у скважин обеспечивает качественную оценку [8, 9, 10, 12, 13, 14,] движения водного потока вдоль ствола скважин (для выявления восходящих, либо нисходящих перетоков).

Многочисленные исследования, полевые съемки, компьютерное моделирование [10, 13] позволили схематизировать структуру фильтрационного поля при наличии и отсутствии заколонных перетоков в скважинах. Выделяется три типа распределения естественных электрических потенциалов [10, 13]:

1. Фильтрация осуществляется из нижних горизонтов в верхние. Наличие заколонных перетоков «снизу» регистрируется локальным повышением значений потенциала над скважиной.

2. Инфильтрация поверхностных вод и загрязняющих флюидов через ослабленные зоны вдоль ствола скважины. Присутствие перетоков «сверху-вниз» характеризуется локальным понижением величин электрического поля.

3. Отсутствие фильтрации вдоль ствола скважины. Локальных аномалий ЕП не отмечается.

В ряде случаев оценка эколого-технического состояния конструкции скважин наряду с методом ЕП включает технологию определения качества заколонного цемента с поверхности земли без спуска измерительного прибора в скважину.

Работы проводятся без вывода скважин из эксплуатации, привлечения бригад и спецтехники капитального ремонта, что существенно снижает затраты и время при определении технического состояния скважин в процессе их капитального ремонта и строительства. Технология носит название виброакустической цементометрии (ВАЦ) [15].

Эффективность комплекса электроразведочных работ показывают результаты, полученные авторами в Восточном Закамье РТ, в области питания родников, где выявлены зоны наиболее подверженные техногенному загрязнению (засолению) [2, 9]. На глубоких скважинах выполнена качественная оценка движения водного потока вдоль ствола скважин (для выявления восходящих, либо нисходящих перетоков).

Методом вертикального электрического зондирования (максимальный разнос АВ достигает 310 м) изучен интервал разреза, включающий образования пермского и четвертичного возрастов. Получена геоэлектрическая характеристика отложений казанского яруса.

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

Обращает внимание приуроченность выявленных зон загрязнения к скважинам глубокого бурения, имеющимся на территории исследований.

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

Участки соответствия 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.

Интерпретация полученных данных с результатами других комплексных эколого-гидрогеологических наблюдений служит для формирования мероприятий по проверке герметичности скважин и других профилактических природоохранных работ.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Баженов В.В.* Разработка методики нестационарной термометрии для диагностики заколонной среды в верхней части разреза скважин: на примере месторождений Республики Татарстан: дисс. ... канд. техн. наук. Уфа: БГУ, 2007. 173 с.
2. *Боровский М.Я., Петрова Г.И., Пухов А.Г., Богатов В.И., Филимонов В.Н., Шакуро С.В.* Оценка эколого-гидрогеологической ситуации в районах освоения нефтяных месторождений комплексом электроразведочных методов // Журнал ЭиПБ. № 1-2. 2014. С.14-17.
3. Гидрогеоэкологические исследования в нефтедобывающих районах Республики Татарстан / под ред. А.И. Короткова, В.К. Учаева. Казань: Изд-во Репер, 2007. 300 с.
4. Геоэкологическое обследование предприятий нефтяной промышленности / под ред. проф. В.А. Шевнина и доц. И.Н. Модина. М.: РУССО, 1999. 511 с.
5. *Миннуллин Р.М.* Технологические аспекты обеспечения защиты родниковых вод от техногенных факторов при нефтедобыче: автореф. дисс. ... канд. техн. наук. Казань: КГТУ, 2009. 19 с.
6. *Петрова Г.И.* Гидрогеологические условия зоны активного водообмена центральной части Южно-Татарского свода в связи с разработкой нефтяных месторождений: автореф. ... дисс. к.г.-м.н. Пермь: ПГУ, 2004. 25 с.
7. *Электроразведка: Справочник геофизика.* М.: Недра, 1979. 518 с.
8. *Боровский М.Я., Газеев Н.Х., Нургалиев Д.К.* Геоэкология недр Республики Татарстан: геофизические аспекты / под ред. Д.К. Нургалиева. Казань: Изд-во «Экоцентр», 1996. 316 с.
9. *Боровский М.Я., Борисов А.С., Фахрутдинов Е.Г.* Комплексное геолого-геофизическое изучение верхней части осадочного чехла. Казань: Изд-во Казан. ун-та, 2016. 216 с.
10. *Чернышева М.Г.* Метод электрических потенциалов фильтрации в решении гидрогеологических и экологических проблем в нефтепромысловых регионах РТ: автореф. дисс. ... канд. геол.-мин. наук. Казань: КГУ, 1999. 24 с.
11. *Шакуро С.В.* Применение геофизических методов при изучении техногенных линз нефтепродуктов // Разведка и охрана недр. 2005. № 8. С. 24-26.
12. *Боровский М.Я., Борисов А.С., Богатов В.И., Петров С.И.* Профессор Э. К. Швыдкин: инновационная геофизика при решении гидрогеоэкологических вопросов // Сб. трудов 1X Международного Конгресса «Чистая вода. Казань». 19-21 сентября 2018 г. Казань: ООО «Новое знание», 2018. С.86-89.
13. *Швыдкин Э.К.* Техногенные и естественные электрические поля в проблемах освоения ресурсов природных битумов (контроль за разработкой, разведка, экология): автореф. дисс...докт. геол.-мин. наук / Швыдкин Эдуард Кузьмич. М.: ВНИИГеосистем, 1996. 30 с.
14. *Огильви А.А.* Основы инженерной геофизики. М.: Недра, 1990. 501 с.
15. *Козлов А.В.* Экспресс технологии виброакустической цементометрии кондукторов (ВАЦ): дисс... канд. геол.-мин. наук. Казань: КГУ, 1999. 130 с.