

# НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ ДЛЯ НАКЛОННО НАПРАВЛЕННОГО БУРЕНИЯ

Ю.Ю. Дмитриев (НИПИ «ИнжГео», Краснодар)

В 1982 г. окончил геофизический факультет Ленинградского горного института им. Г.В. Плеханова по специальности «геофизические методы поисков и разведки МПИ». После окончания института работал в ПГО «Краснохолмскгеология» (Ташкент) МинГеоСССР ВГО «Союзгеологоразведка», с 1998 г. — в ФГУП «Кубаньгеология». С 2001 г. работает в ЗАО НИПИ «ИнжГео», в настоящее время — начальник партии инженерно-геологического отдела.

Инженерно-геофизические изыскания для целей проектирования наклонно направленного бурения (ННБ) под трубопроводные системы транспортировки нефти и газа имеют ряд особенностей, требующих разработки по сути нового направления инженерной геофизики — геофизики ННБ. Главной особенностью нового направления геофизических исследований является проведение изысканий как на суше, так и с поверхности воды. Основные требования к технологиям геофизических работ можно сформулировать следующим образом.

1. Проведение исследований на суше и с поверхности воды, в том числе на реках с быстрым течением (более 1 м/с).

2. Непрерывное прослеживание геологического разреза, позволяющее выделить локальные неоднородности, влияющие на условия проходки ННБ.

3. Высокая детальность расчленения разреза, гарантирующая объективное и полное изучение геологических и гидрогеологических условий.

4. Выполнение работ в любых инженерно-геологических

условиях и в любых по литологическому составу отложениях.

5. Обеспечение глубинности исследований до 25 м, а в отдельных случаях до 40 м от поверхности дна.

Указанные особенности изысканий под ННБ резко сужают круг геофизических методов, традиционно применяемых при инженерно-геологических работах, и требуют разработки новых геофизических технологий или серьезной технологической и аппаратурной модернизации известных геофизических методов.

В данной статье изложен опыт применения электромагнитных зондирований для задач изысканий под ННБ. Возможность эффективной реализации этого метода связана, прежде всего, с новыми аппаратурными и научно-методическими разработками, позволившими реализовать достаточно корректное решение обратной задачи электромагнитных зондирований. В частности, в этом направлении достаточно эффективно работает д. т. н. Г.М. Тригубович из СНИИГИМС (Новосибирск), разработавший уже два поколения оборудования и новых технологий («Импульс-СЛ» и «Им-

пульс Десант») для зондирования становлением поля в ближней, дальней и промежуточной зонах [1, 2].

Специалисты НИПИ «ИнжГео», выполняя инженерно-геологические изыскания в различных регионах России и в различных горно-геологических условиях, приобрели достаточный опыт по применению диффузионных электромагнитных зондирований для решения разноплановых инженерно-геологических задач [3, 4], в том числе и для ННБ. В частности, такие работы проводились на переходах нефтепроводов через реки Амур и Уссури в Хабаровском крае, на р. Самур в Дагестане, на р. Ока в Нижегородской области, на р. Ангара (Усть-Илимское водохранилище), на р. Псекупс в Адыгее и на реках Кубань, Борисовка и Белая в Краснодарском крае.

Метод зондирований становлением поля в ближней зоне по методике переходных процессов (ЗСБ-МПП) основан на возбуждении в горных породах переменных электромагнитных полей с помощью наземной генераторной петли и регистрации процесса становления поля после каждого импульса тока с помощью мно-



**Рис. 1**  
Соосная генераторно-измерительная установка ЗСБ-МПП

говитковой приемной антенны. При этом глубинность зондирований определяется размером генераторной петли, удельной электрической проводимостью разреза и мощностью импульса тока в каждом акте генерации.

На суше исследования проводятся со «связанной» приемно-генераторной конструкцией. Наиболее простыми системами являются коаксиальная приемно-генераторная установка (соосные петли с размерами до 20х20 м) и конструкция с фиксированным разносом, когда генератор и измеритель при измерении перемещаются совместно. Такие системы обладают высокой разрешающей способностью, в том числе в однотипных по литологическому составу отложениях, и имеют условную глубинность исследований до 50 м в высокоомных средах. При сопротивлении среды менее  $30 \text{ Ом} \cdot \text{м}$  глубинность зондирований составляет 20–30 м при размерах генераторной петли 10х10 м. Измерения выполняются в фиксированных точках. При этом генераторно-измерительная установка переносится последовательно от точки к точке с любым шагом, в зависимости от требуемой пространственной детальности исследований.

Более глубокие зондирования (более 30–50 м) при необ-

ходимости выполняются в модификации с закрепленным источником (ЗС-ЗИ-МПП) при размерах генераторной антенны до 500х500 м с согласованием генератора. Пространственные координаты точек зондирования измеряются с помощью спутниковых приемников GPS. Такая система наблюдений позволяет проводить площадные исследования при фиксированном положении генераторной петли за счет измерений по произвольной траектории как в самой петле, так и на некотором удалении от нее.

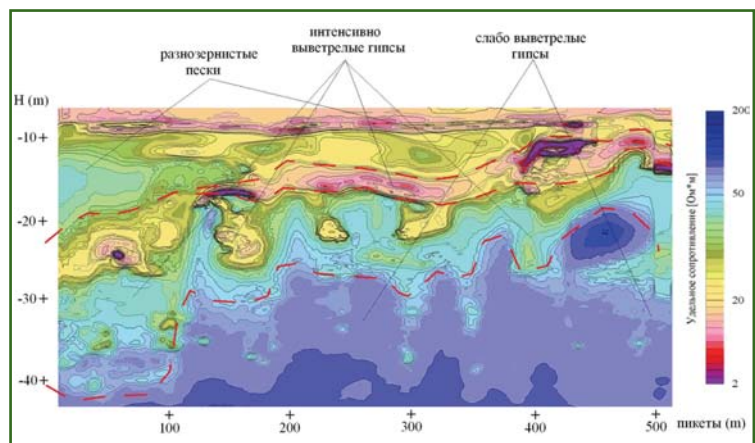
Для измерений с поверхности воды методом ЗСБ-МПП в НИПИ «ИнжГео» разработана специальная плавающая конструкция, позволяющая проводить зондирования как в фиксированных точках, так и в движении (в режиме сканирования). Впервые такие работы были выполнены автором статьи в 2002 г. на реках Амур и Кубань.

Основу плавающей конструкции составляет соосная генераторно-измерительная установка, размещенная на надувном плоту в форме тора (рис. 1). Двухвитковая генераторная антенна, установленная на выносных полиэтиленовых штангах, имеет генераторный момент  $157 \text{ м}^2$  и обеспечивает глубинность исследований от

25 м до 40 м в зависимости от состава отложений при толщине слоя воды до 10 м. Измерительная антенна закреплена в центре генераторной петли.

При измерениях в фиксированных точках генераторно-измерительная конструкция перемещается последовательно от точки к точке с любым шагом. Такая система наблюдений хорошо зарекомендовала себя при скорости течения реки до 1 м/с.

Режим сканирования применяется при скорости течения реки более 1 м/с и когда невозможно точно закрепить генераторно-измерительную систему в конкретной точке измерений. Зондирования проводятся в движении при буксировании надувного плота с помощью моторной лодки или катера по произвольной траектории. Пространственная привязка точек измерений на акватории осуществляется с помощью приемника GPS. При такой системе наблюдений обеспечивается площадной характер съемки, что существенно повышает достоверность и точность получаемых результатов. В режиме сканирования [1], когда приемно-генераторная конструкция перемещается в процессе измерения, извлекается дополнительная информация за счет высокой плотности простран-



**Рис. 2**  
Разрез кажущихся сопротивлений на переходе нефтепровода через р. Ока

венно-временных измерений. Несколько ухудшая точностные характеристики измерения поля в движении за счет появления дополнительных помех, технология электромагнитного (ЭМ) сканирования выигрывает в высокой пространственной плотности измерений, что в конечном итоге увеличивает решающую способность.

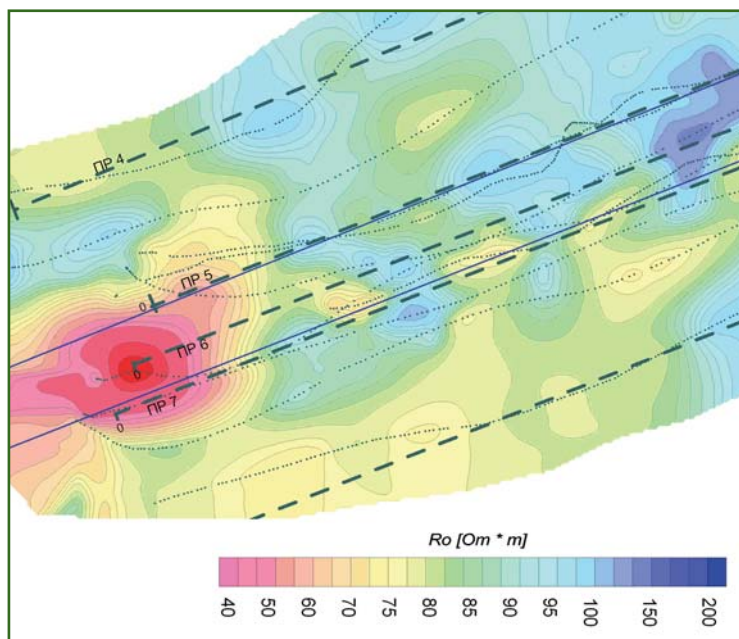
Источник ЭМ поля при сканировании может быть сконфигурирован по интегральной либо дифференциальной схеме с использованием пространственного или временного дифференцирования сигнала. Траектория движения измерителя выбирается, исходя из поставленной задачи, и может быть произвольной. Анализ пространственно-временного распределения поля дает надежную основу в рамках существующих электрофизических предпосылок для локализации поисковых объектов.

По принципу построения эта технология относится к системам линейного типа. Скорость спада вихревых токов вторичного ЭМ поля, периодически возникающих в исследуемом полупространстве за счет коммутации токовых последовательностей в генераторном контуре, фиксируется приемной антенной. Сигнал переходного процесса, выделенный на приемной антенне, усиливается, фильтруется и поступает на вход быстродействующего аналого-цифрового преобразователя. Каждый канал регистрации после единичной генерации поля в среде регистрируется в равномерно распределенной временной шкале с шагом по времени 100 нс. Совокупность пространственно-временных данных после каждой генерации поля, представляющих кадры диффузионного процесса, записывается на системный носитель. Генерация

ЭМ поля осуществляется по специальным кодам, функция автокорреляции которых имеет хорошие фильтрующие свойства в отношении промышленных и низкочастотных помех. Для визуализации в режиме реального времени достаточно больших объемов данных внутри кадров осуществляются фильтрация импульсной составляющей помехи и сжатие данных. Фильтрация проводится как по временной последовательности внутри кадра, так и по каждой трассе кадровой последовательности, отсчитанной от начала излучения поля для всех кадров траектории. Затем избыточно плотный массив данных, описывающих пространственно-временную область траектории, проецируется на удобную для визуализации шкалу времени и предъявляется оператору в виде непрерывной развертки во время движения. Единичные реализации первичной информации сохраняются на диске для последующей обработки.

В 2004 г. на р. Ока совместно со специалистами СНИИГГИМС впервые была опробована новая система наблюдений в варианте с закрепленным источником (ЗС-ЗИ-МПП), при которой генераторные петли большого размера (300x300 м) размещаются по берегам, а измерения проводятся на акватории по системе площадной съемки. В результате работ было установлено, что устойчивые электромагнитные поля регистрируются на удалении до 400 м от края петли. При симметричном расположении генераторных контуров по обоим берегам можно исследовать акваторию шириной 800 м и более. Такая технология работ позволяет существенно упростить конструкцию плавающего комплекса, расположив на нем только измерительную антенну.

На рис. 2 приводятся результаты зондирования на акватории р. Ока с соосной генераторно-измерительной установкой. На разрезе кажущихся сопротивлений в верхней части отчетливо прослеживаются



**Рис. 3**

*Фрагмент плана распределения кажущихся сопротивлений на глубине 20 м от поверхности дна на переходе нефтепровода через р. Ангара*

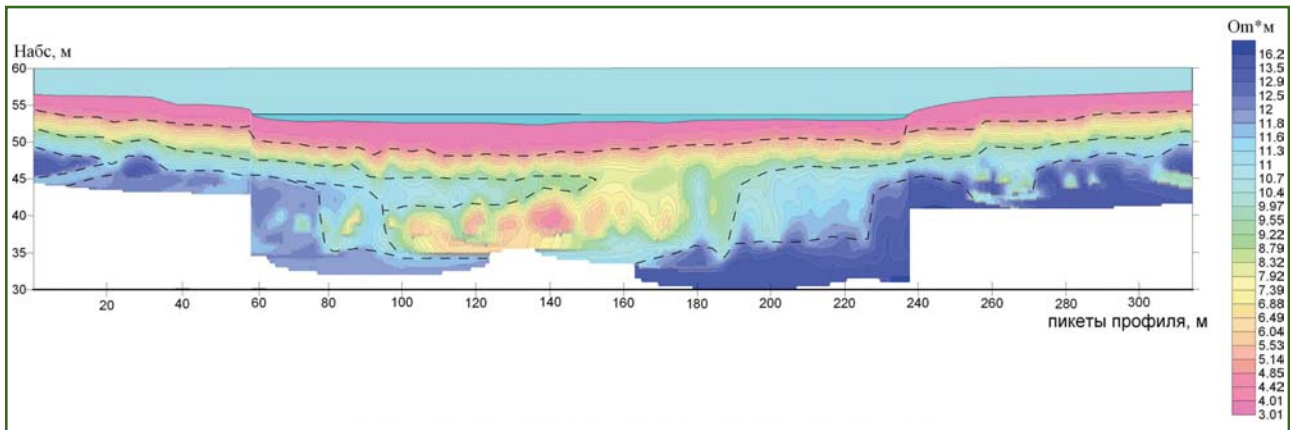


Рис. 4

Разрез кажущихся сопротивлений на переходе нефтепровода через р. Борисовка

слои разнозернистых песков и суглинистые прослои, ниже залегают интенсивно выветрелые гипсы и расположенные в них локальные неоднородности (возможные карстовые полости) и далее по разрезу — слабо выветрелые гипс-ангидритовые отложения.

В 2005 г. на р. Ангара (Усть-Илимское водохранилище), в месте перехода нефтепровода ВСТО, электромагнитные зондирования с соосной установкой и генератором 50 А позволили исследовать геологический разрез на глубину до 50 м при слое воды до 16 м. В результате исследований было проведено литологическое расчленение разреза, установлено поведение зон трещиноватости в пачке переслаивания песчаников, алевролитов, аргиллитов, дана пространственная ориентация зон ослабленных трещиноватых пород в плане, и закартированы выходы диабазов в русле реки (рис. 3). На берегах, с целью расчленения литологического разреза, исследования были проведены в вариантах ЗСБ-МПП и ЗС-ЗИ-МПП с глубиной зондирования, соответственно, 25 м и 120 м.

На переходе ННБ через р. Борисовка получены обнадеживающие данные по применению электромагнитных зон-

дирований для исследования низкоомных разрезов, представленных илами, суглинками, глинами и глинистыми песками. По результатам зондирования проведено литологическое расчленение разреза, выделено погребенное русло реки в пачке переслаивания песков и суглинков, заполненное глинами, глинистыми песками и илами (рис. 4).

Достаточно высокая пространственная и глубинная детальность расчленения геоэлектрического разреза методом ЗСБ-МПП при проведении измерений как на суше, так и с поверхности воды определяет объективные перспективы применения этого метода при изысканиях под ННБ.

#### ▼ Список литературы

1. Тригубович Г.М., Эпов М.И., Воевода В.В. и др. Технология электромагнитного сканирования приповерхностного слоя для решения инженерно-геологических задач: Тез. докл. междунар. геофиз. конф. и выставки EAGE (15–18 сентября 1997 г.).
2. Trigubovich G., Royak M., Soloveichik Y. and Chernyshev A. The new approach to electromagnetic fields interpretation for TEM with areal observation system: abstracts of EAGE 63rd Conference & Technical Exhibition (Amsterdam, The Netherlands, 11–15 June 2001).
3. Дмитриев Ю.Ю. Применение геофизических исследований для

выявления тектонических нарушений при проведении инженерно-геологических изысканий в условиях Северо-Западного Кавказа / Материалы научно-технической конференции «Строительство и эксплуатация транспортных сооружений в районах развития опасных геологических процессов» / Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. — 2004. — № 2.

4. Дмитриев Ю.Ю. Исследование массива горных пород методом электромагнитных зондирований становлением поля / Материалы международной научно-технической конференции «Горная геология, геомеханика и маркшейдерия»: Сб. науч. докладов НАН Украины / Донецк: УкрНИИМ, 2004.

#### RESUME

A technology together with the hardware have been developed to conduct electromagnetic sounding using the nearfield transient EM sounding and transient surveying from the water surface. The data acquired is used in further survey for directional drilling and microtonnels. Sounding is conducted in the mode of the depth section continuous scanning using three-dimensional survey at a speed of 2 to 3 km/h. The surveying depth is down to 50 m with the water layer depth down to 20 m. This technique was used for crossing the Rivers of Amur, Ussuri, Oka, Angara, Kuban and others.