

A 03

## Archaeological Object Detection via Time Domain Electromagnetic Sounding

Z.M. Slepak (Kazan Federal University) & E.R. Ziganshin\* (Kazan Federal University)

### SUMMARY

---

This paper discusses the results of archaeological object detection and study using the time domain electromagnetic system Impulse-auto M-1/0-20. This system registers transient response at super-short times, which allows electromagnetic sounding of the uppermost layers of geological section. Sounding results are presented in the form of electrical conductivity  $S(H)$  cross sections along the profiles and constant-value surfaces identified with lithologic and stratigraphic boundaries.

Electromagnetic wave propagation distance serves as an indicator for the presence or absence of archaeological objects in cultural layer. Absolute heights of survey benchmarks provide the opportunity to present the  $S(H)$  constant-value surfaces in meters, use drilling data for reliability control and provide recommendations for archaeological excavations [2-4].

Combination of geophysical and archaeological methods creates the opportunity to carry out additional geophysical measurements and improve overall performance greatly [1, 3].

Great efficiency and effectiveness of time domain electromagnetic sounding is shown by a concrete example of determining the depth of buried and preserved ancient ruins, delineating the cultural layer and archaeological dating of several formations.

## Прогнозирование объектов археологии методом электромагнитного зондирования становлением поля

З.М. Слепак (Казанский федеральный университет), Э.Р. Зиганшин\* (Казанский федеральный университет)

### Введение

Результативность применения геофизических методов в археологии зависит от их возможностей решения конкретных задач в определенных геологических условиях. Объекты археологии расположены в пределах культурного (антропогенного) слоя, начинающегося непосредственно с земной поверхности. Их прогнозирование геофизическими методами является чрезвычайно трудной задачей, поскольку по своим физико-геологическим особенностям они мало отличаются от вмещающих отложений. Аномальные поля, создаваемые объектами археологии, характеризуются чрезвычайно малой интенсивностью и пологими формами. Они практически сливаются с полями, создаваемыми подстилающими их отложениями. Поэтому применяемое на практике качественное истолкование результатов геофизических измерений, выполняемых с целью решения археологических задач, часто является мало результативным. В связи с этим при прогнозировании объектов большое значение имеет физико-геологическое обоснование применяемых геофизических методов и их предварительное опробование на изученных археологами участках. Такой подход к решению задач археологии позволил автору подобрать один из геофизических методов, метод электромагнитного зондирования становлением поля аппаратным комплексом «Импульс-авто М-1/0-20», позволившем успешно решать ряд конкретных задач археологии на количественном уровне в пределах г. Казани и на отдельных участках Билярского и Булгарского городищ [2,3].

### Метод и методика

Опробование геофизических методов при прогнозировании объектов археологии в историческом центре г. Казани показало, что наиболее результативным является метод электромагнитного зондирования становлением поля аппаратным комплексом «Импульс-авто М-1/0-20». Комплекс создан в Сибирском НИИ геологии, геофизики и минерального сырья РАН (СНИИГГиМСе). Важной особенностью комплекса является осуществление плотной временной регистрации вторичного поля на суперранних временах измерений, чем обеспечивается зондирование самых верхних слоев геологического разреза. Технологическое математическое обеспечение комплекса нами было использовано для представления результатов измерений в виде вертикальных разрезов суммарной электрической проводимости  $S(H)$  вдоль профилей и карт поверхностей постоянных значений параметра, отождествляемых с литолого-стратиграфическими поверхностями, наиболее достоверно отображаемыми методом зондирования.

Поисковым признаком сохранившихся в антропогенном слое остатков каменных строений являлось уменьшение глубин проникновения электромагнитного сигнала в пикетах зондирования, соответствующих поверхностям объектов прогнозирования. Осуществляемая нами привязка пунктов зондирования к абсолютным значениям высот позволяла проводить картирование поверхностей постоянных значений параметра, контролировать их геологическую достоверность по данным пробуренных скважин и выдавать рекомендации для проведения археологических раскопок [2-4].

Поскольку объекты археологии отображаются малоинтенсивными физическими полями, геофизические работы выполнялись одновременно с археологическими раскопками. При этом появлялась возможность дополнительного проведения геофизических измерений и повышалась их результативность [1,3].

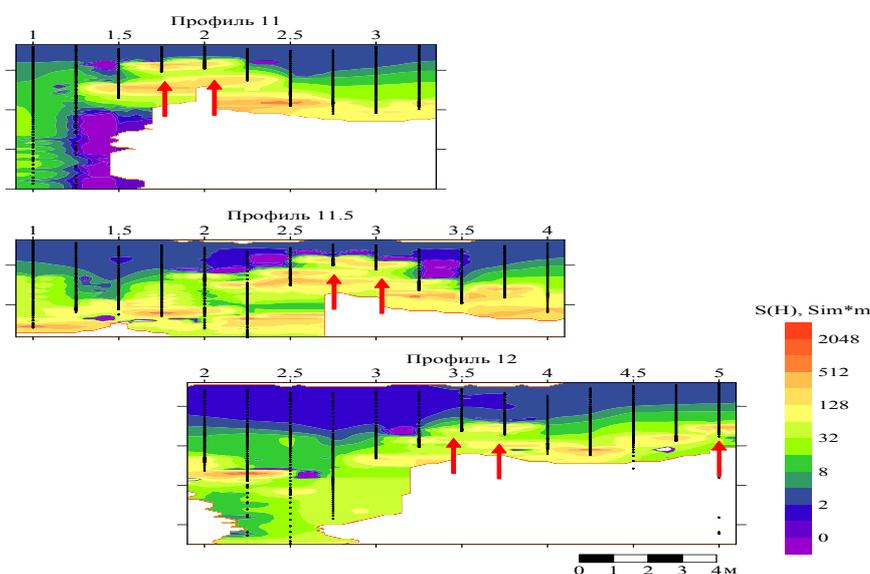
Применение электромагнитного зондирования позволило не только проводить качественную интерпретацию геофизических полей, создаваемых объектами прогнозирования, но и успешно решать некоторые задачи археологии на количественном уровне: определение

глубины сохранившихся остатков древних строений; определение мощности культурного слоя; выделение отдельных напластований внутри культурного слоя и проведение их археологического датирования.

### Результаты исследований

Высокая результативность метода электромагнитного зондирования становлением поля аппаратным комплексом «Импульс-авто М-1/0-20» при прогнозировании и изучении объектов археологии рассматривается на некоторых практических примерах

Одновременное решение двух задач методом электромагнитного зондирования, - прогнозирование месторасположений сохранившихся остатков памятников архитектуры и датирование пластов различных археологических периодов, - показано на примере трех профилей на участке Башни Сююмбеки и Губернаторского дворца Казанского кремля [2].

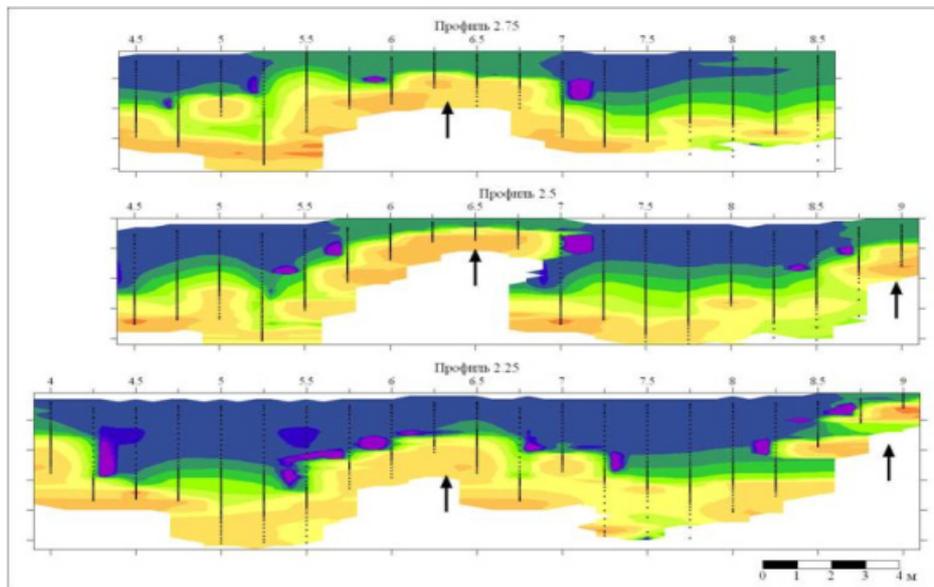


**Рисунок 1.** Вертикальные разрезы суммарной электрической проводимости  $S(H)$  на участке Башни Сююмбеки и Губернаторского дворца

Как видно (рис.1), по глубине проникновения электромагнитного сигнала в пунктах зондирования прослеживается простирающееся в северо–западном направлении сохранившихся остатков одной из стен древнего строения (обозначено стрелками) и слоистость разреза, наиболее четко отобразившаяся в восточной части профилей. Аналогичные результаты электромагнитного зондирования получены вдоль отдельных профилей на ряде участков Казанского кремля, бывшего Казанского Богородицкого монастыря, Билярского и Булгарского городищ.

Одной из задач геофизических работ на территории Казанского Богородицкого монастыря являлось установление месторасположения разрушенного в 30-е годы собора во имя иконы Казанской Божией Матери, на месте которого находились строения табачной фабрики. При обследовании её двора геофизические измерения аппаратным комплексом «Импульс-авто М-1/0-20» были проведены в площадном варианте сети 2.5 x 2.5 м. По результатам зондирования (рис.2), вдоль трех профилей под асфальтовым покрытием определено месторасположение сохранившихся остатков собора дугообразной формы (на рисунке обозначено стрелками) и рекомендовано заложение археологического раскопа. При его последующем проведении были обнаружены сохранившиеся остатки каменной апсиды восточной части собора (рис.3). На основе этих данных было уточнено месторасположение в плане всего собора и расположенной в его западной части колокольни, на значительной части

которой находятся современные постройки [2,3]. Начало восстановления Собора запланировано на 2016 год.



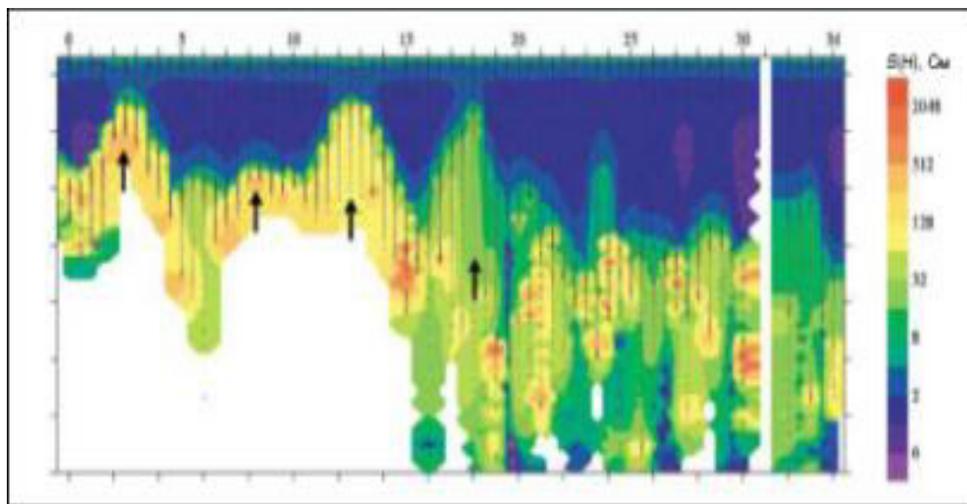
**Рисунок 2.** Вертикальные разрезы суммарной электрической проводимости  $S(H)$  на участке бывшей табачной фабрики в Казанском Богородицком монастыре



**Рисунок 3.** Археологический раскоп, вскрывший месторасположение апсиды собора, прогнозируемой по данным электромагнитного зондирования.

На территории монастыря также было проведено определение месторасположений построенных в XVII-XIX вв. других строений, разрушенных в XX столетии и перекрытых новыми зданиями. Поэтому с учетом архивных данных проводились измерения методом электромагнитного зондирования лишь вдоль отдельных профилей между строениями. Это позволяло прогнозировать места расположения сохранившихся остатков строений и выдавать рекомендации для заложения археологических раскопов. По результатам измерений было установлено месторасположение церквей Рождества Пресвятой Богородицы, Сретения Господня и других утраченных объектов археологии. Эти данные позволили значительно снизить объемы земляных работ при проведении последующих археологических раскопов, уменьшив тем самым негативное воздействие на геологическую среду и экологию [2,3].

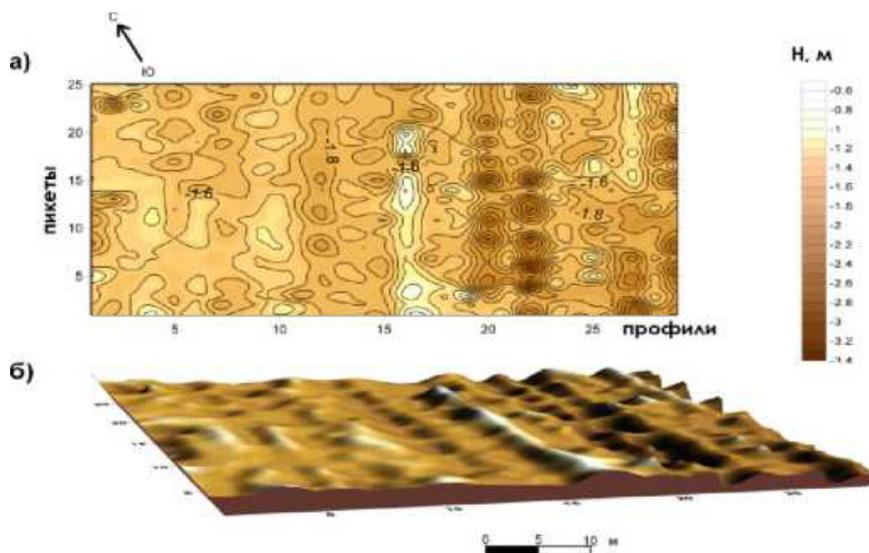
Сохранившиеся остатки церкви Рождества Пресвятой Богородицы прогнозируются по уменьшению глубин электромагнитного сигнала на участке между пикетами 0-15 (рис.4). С учетом архивных данных это позволило предположить, что между пикетами отображаются сохранившиеся остатки восточной части церкви. Начало археологических раскопок рекомендовано в пикетах 2.5 и 12.5.



**Рисунок 4.** Вертикальный разрез суммарной электрической проводимости вдоль профиля над предполагаемым местом расположения церкви Рождества Пресвятой Богородицы

Результаты геофизических исследований на территории монастыря позволяют уменьшать объемы земляных работ при раскопках и являются востребованными при проектировании, восстановлении и строительстве древних строений.

Электромагнитное зондирование оказалось особенно эффективным на открытых площадках Билярского и Булгарского городищ 10 – 13 вв. (Республика Татарстан). На рис.5 приведены результаты трассирования подошвы культурного слоя на участке Билярского городища. Здесь выявлены сохранившиеся следы улиц древнего города, ранее расположенных строений и хозяйственных ям, практически соответствующих по размерам с данными археологов [1].



**Рисунок 5.** Подошва культурного слоя с хозяйственными ямами (Билярское городище).

*а) – в изолиниях максимальных глубин электромагнитного сигнала, отождествляемых с подошвой культурного слоя, б) - в аксонометрической проекции.*

В пределах Булгарского городища также было выполнено прогнозирование сохранившихся остатков древних строений в культурном слое и проведено датирование отдельных напластований различных исторических периодов его формирования [3].

## **Выводы**

Основные результаты проведенных исследований заключаются в следующем.

1. Можно считать установленным, что при прогнозировании объектов археологии является целесообразным выбор эффективных методов геофизических измерений, позволяющих успешно решать конкретные археологические задачи.

2. Аппаратурный комплекс «Импульс-авто М-1/0-20», позволяющий проводить электромагнитное зондирование становлением поля верхней части геологического разреза, оказался результативным при решении ряда задач археологии в условиях города и на открытых площадках.

3. Применение электромагнитного зондирования, наряду с качественной интерпретацией геофизических полей, создаваемых объектами прогнозирования, позволило успешно решать некоторые задачи археологии на количественном уровне: определять глубины сохранившихся остатков древних строений; выявлять слоистость культурных образований, отражающих археологические периоды их формирования; определять мощность культурного слоя и проводить построение его подошвы.

4. Результаты электромагнитного зондирования позволили значительно снизить объемы земляных работ при проведении последующих археологических раскопках, уменьшив тем самым их негативное воздействие на геологическую среду и экологию, одновременно снижая экономические затраты

## **Библиография**

1. Ситдииков А.Г., Хузин Ф.Ш. Некоторые итоги археологического изучения кремля ханской Казани (по материалам раскопок 1994 – 2005 гг.) // Российская археологи. – 2009. - №1. – С.99 – 111.

2. Слепак З.М. Геофизика для города,- Москва: Изд-во «ГЕРС»,2007, 240 с.

3. Слепак З.М. Разведочная геофизика в археологии. – Казань: Изд-во Казанского государственного университета, 2010, 223 с.

4. Slepak Z.M. Electromagnetic sounding and high-precision gravimeter survey define ancient stone building remains in the territory of Kazan Kremlin (Kazan, Republic of Tatarstan, Russia). Archeological prospection, 1999, vol.6, pp. 147-160, John Wiley & Sons, Ltd.