

**Зондирование
вертикальными токами
(ЗВТ)**

Probing vertical currents

Автор метода В.С.Могилатов

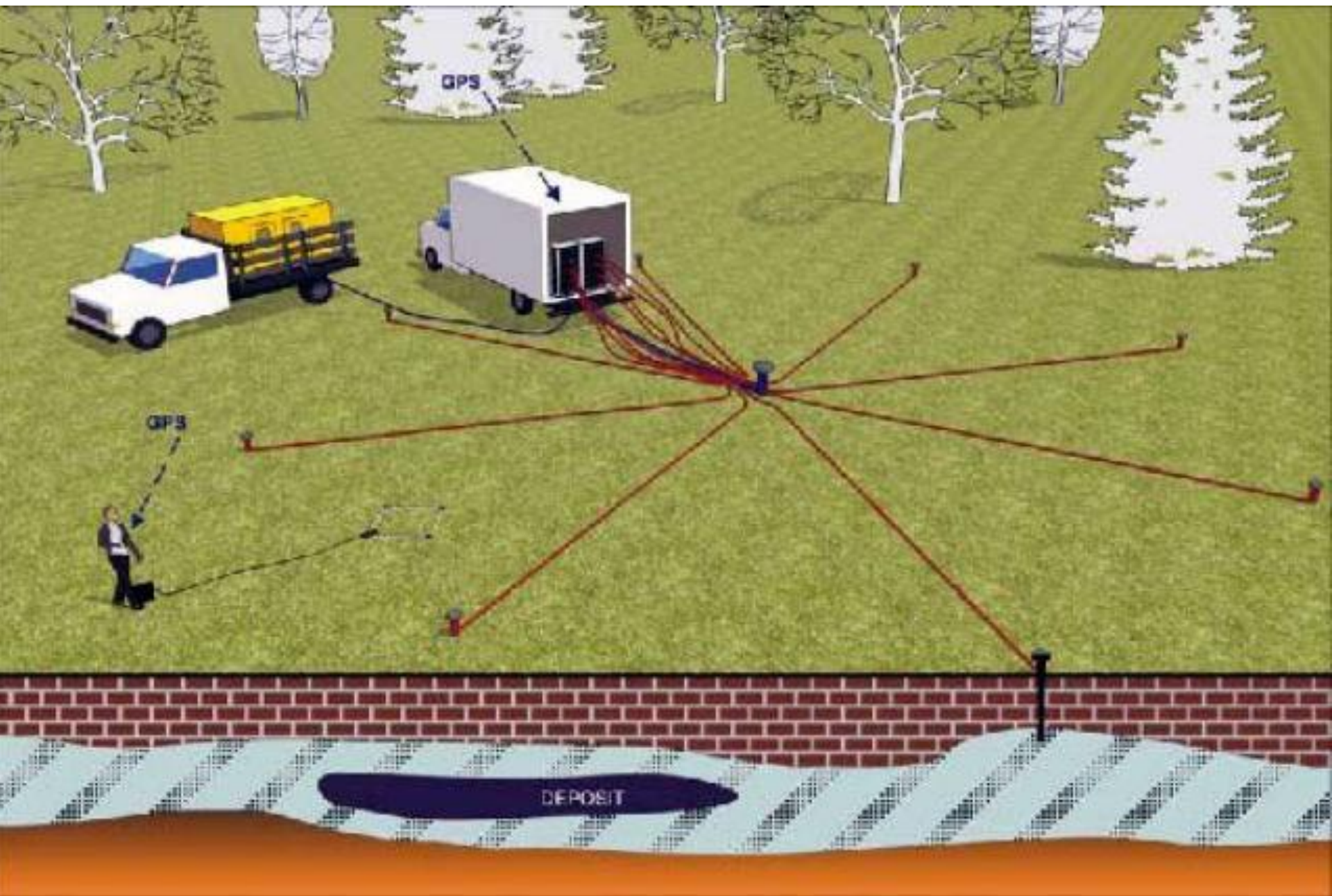
2016г.

Применение электромагнитного поля всегда вызывало большие ожидания. Ведь электромагнитные поля стали средством решения для человечества всех проблем коммуникации, навигации и локации разного рода объектов в воздушном и космическом пространствах.

Именно электромагнитное поле позволяет увидеть нам яркую картинку с любой точки земного шара на экране телевизора. только самые медленные электромагнитные поля проникают в глубины Земли. Все дело в том, что Земля, а тем более морская вода, проводник электрического тока. Переменное электромагнитное поле, проникая в проводящую толщу, неизбежно (уравнения Максвелла) индуцирует электрический ток, который обращает энергию поля в тепло, и поле быстро умирает с глубиной. И чем быстрее меняется (имеет большую частоту) первичное электромагнитное поле, тем на меньшую глубину оно проникнет.

Принципиальные особенности методики ЗВТ

Зондирования вертикальными токами (ЗВТ) являются принципиально новым методом **электроразведки. Новизна эта определяется сочетанием идеи метода (использование нестационарной поперечно-магнитной составляющей электромагнитного поля) с новым техническим решением (использованием в качестве источника кругового электрического диполя (КЭД) – уникального возбуждителя только ТМ-поляризованного поля).**



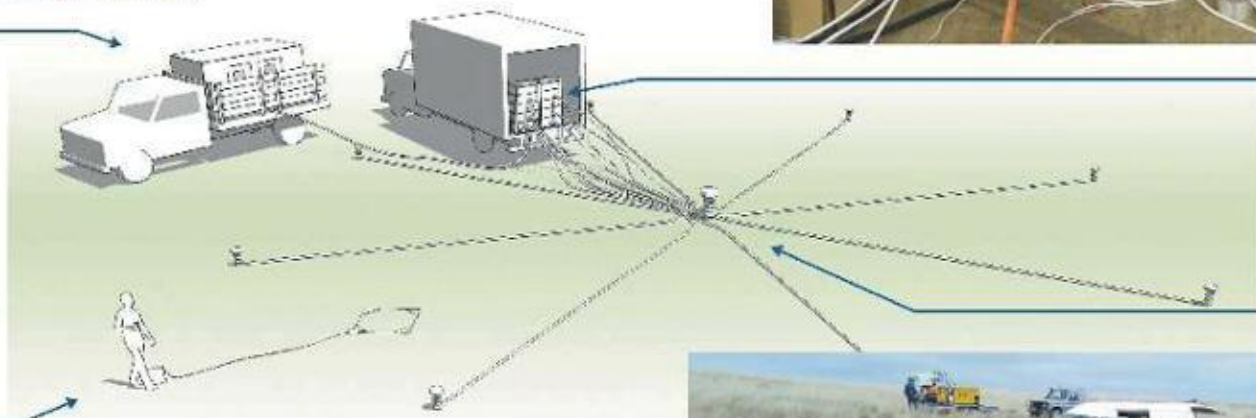
VECS Method



Diesel-generator



Power-equipment



Center of CED

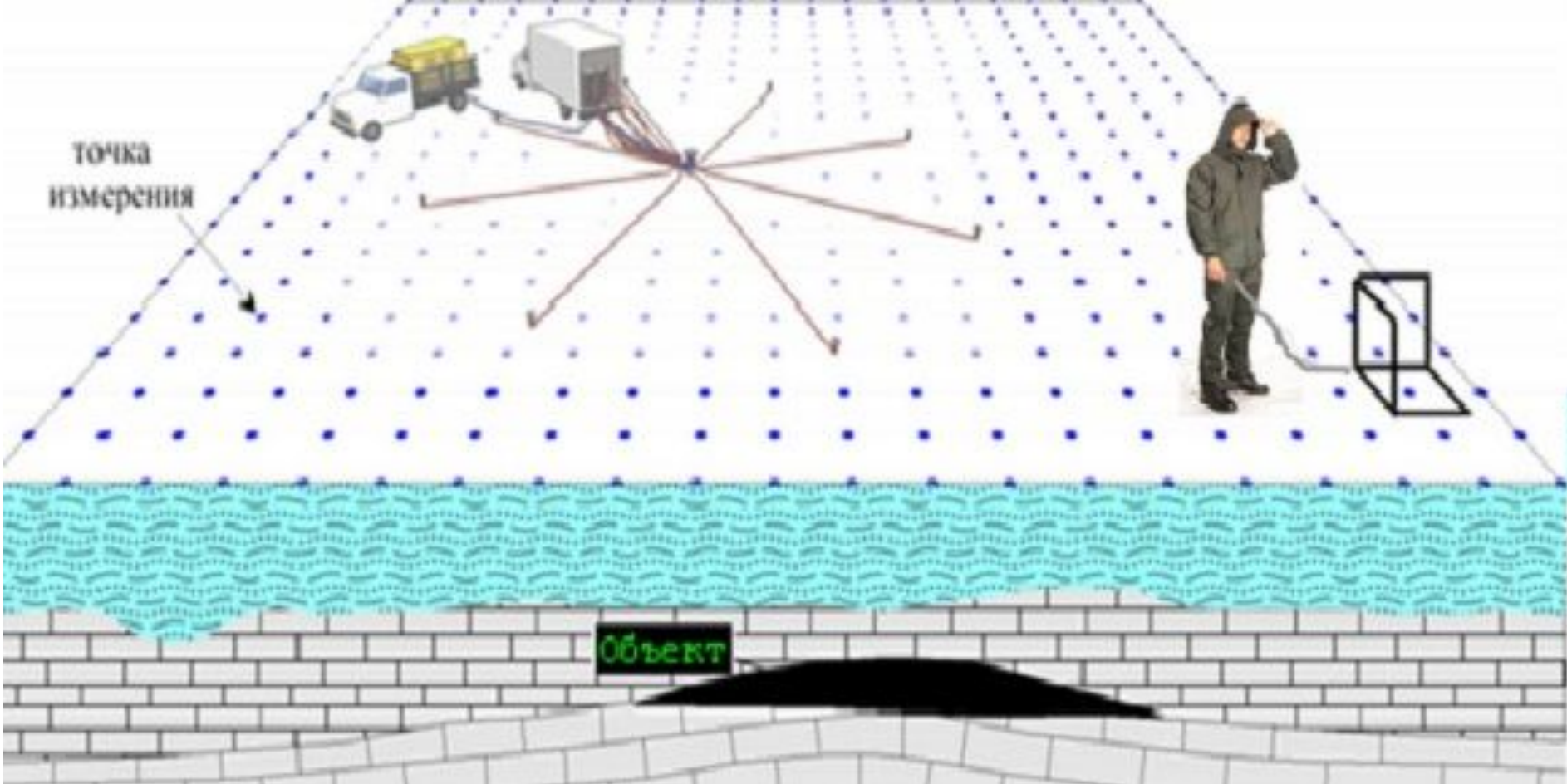
Metering group



Принципиальные особенности методики

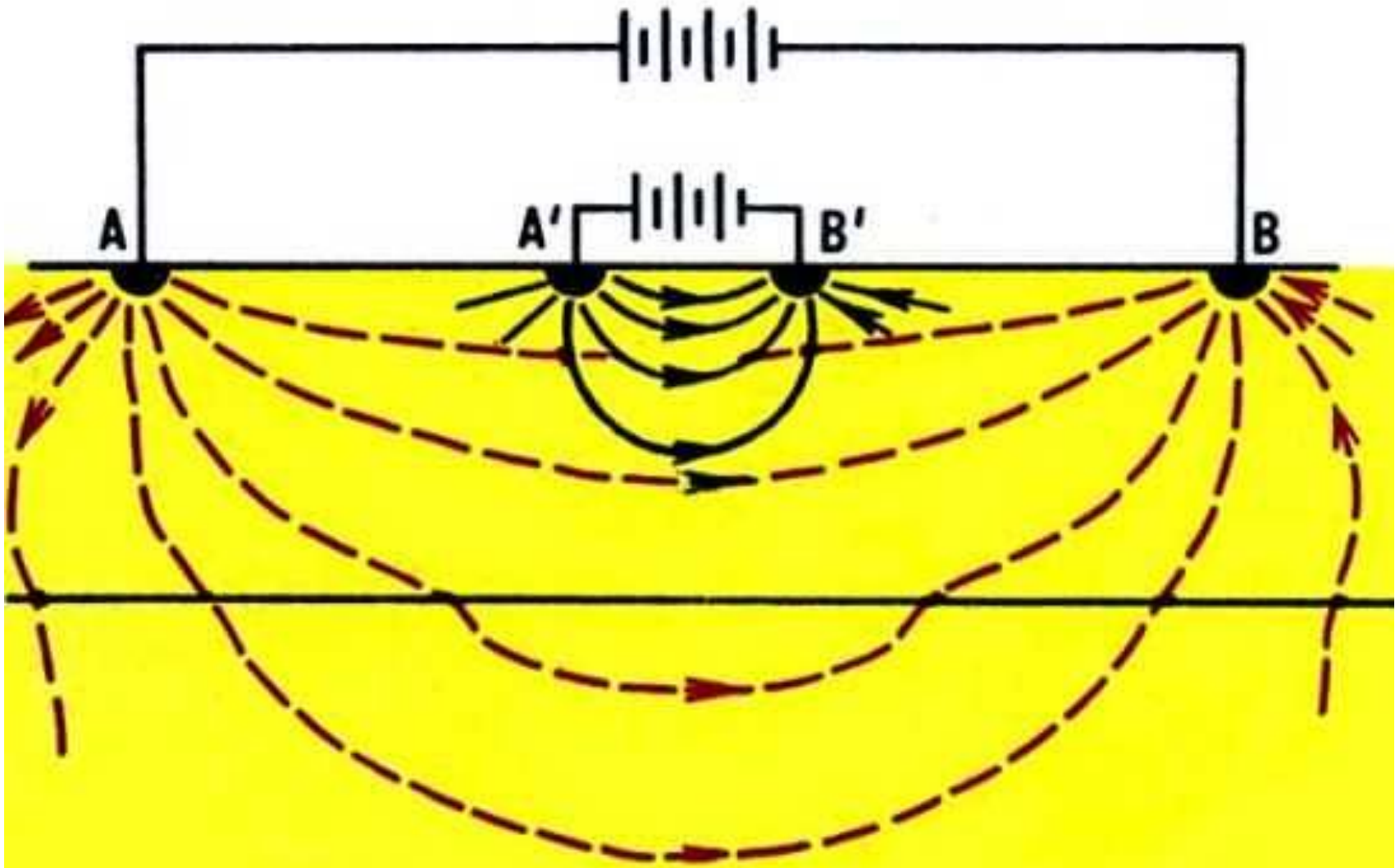
ЗВТ

Название метода отражает физическую основу, которой является ТМ-поле, имеющее вертикальную компоненту электрического поля. Переходной ТМ-процесс возбуждается круговым электрическим диполем, точнее сказать, приближенной реализацией такого источника системой радиальных токовых линий. Согласно теории на дневной поверхности горизонтально-слоистой среды в квазистационарном приближении магнитное поле отсутствует, а фиксируется только радиальная компонента электрического поля. Эту ситуацию можно использовать различным способом. В практически развиваемой сейчас модификации (ЗВТ-М) производятся пошальные наблюдения



Метод зондирования вертикальными токами (ЗВТ)

Распределение тока при вертикальном электрическом зондировании



Принципиальные особенности методики ЗВТ

Источником служит гальванический круговой электрический диполь (КЭД), который создает в земле систему токов, замыкающихся в вертикальных плоскостях. Основной эффект КЭД - отсутствие нормального магнитного поля на поверхности земли при горизонтально-слоистой однородности разреза, которое возникает лишь при условии присутствия в разрезе латеральной неоднородности.

Поле в пределах контура залежи характеризуется повышенными значениями, сопровождаемыми по краям экстремумами положительного знака. Наличие сигнала указывает на присутствие в разрезе латеральной

Принципиальные особенности методики ЗВТ

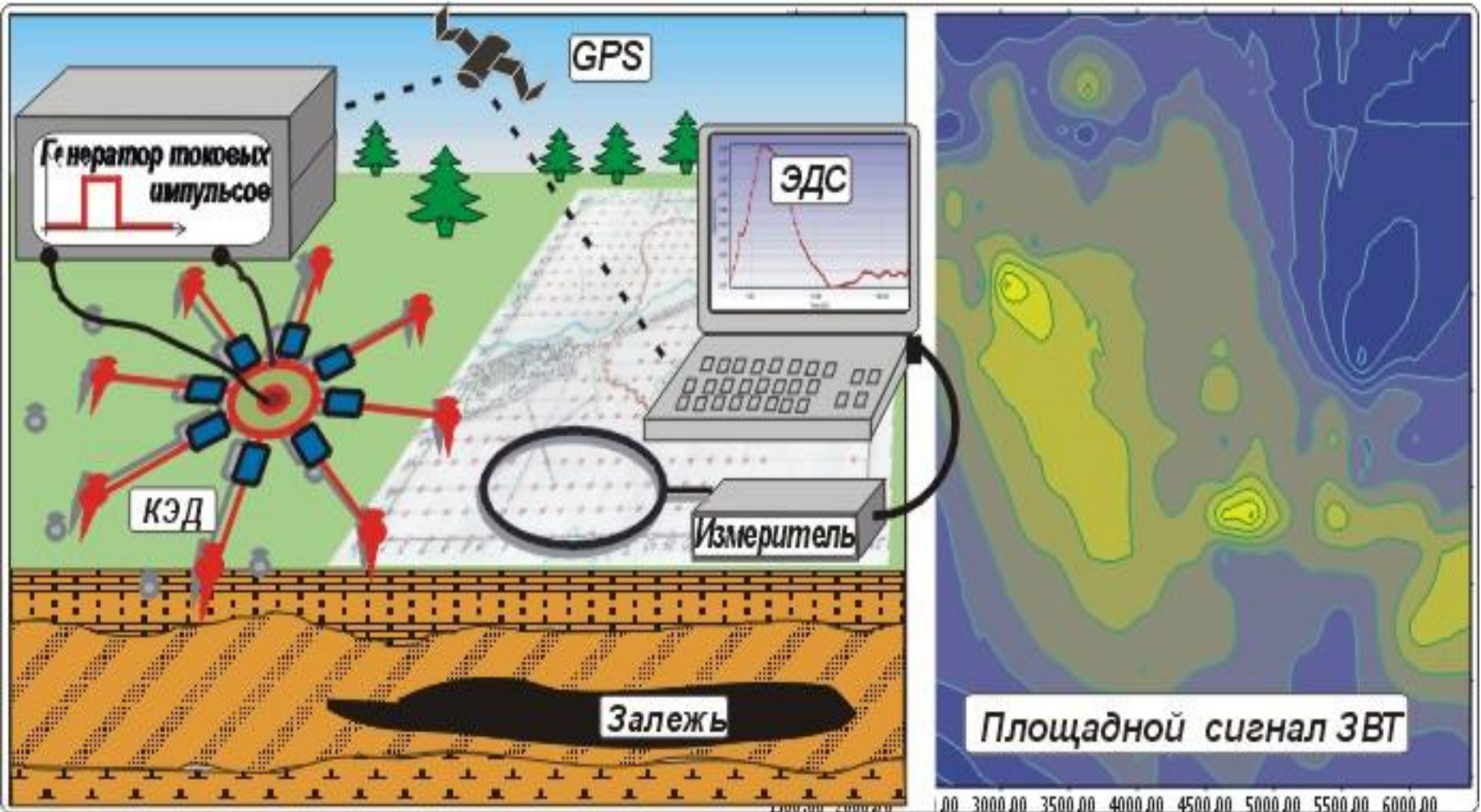
ности. Площадной сигнал своим рельефом указывает сразу как на наличие, так и на контур выявленной неоднородности.

Роль же ТМ-процесса состоит в подавлении отклика от вмещающей толщи.

Таким образом, в методе ЗВТ-М по необходимости предусматривается площадной сбор информации (2D-электроразведка) и трехмерный подход в интерпретации - 3D.

Результаты предшествующих работ говорят о том, что сигнал ЗВТ формируется не только "залежью", но и столбом повышенного сопротивления над ней. Методика выделения сигнала от каждой залежи находится в стадии

Принципиальные особенности методики ЗВТ



Зондирования вертикальными токами с магнитным приемом (ЗВТ-М)

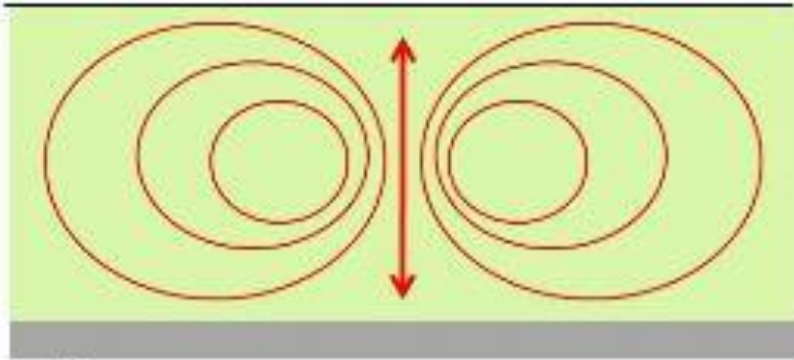
Принципиальные особенности методики ЗВТ

Устраивается питающая установка КЭД с радиусом, соответствующим глубине исследований. В упоминаемых ниже работах по оконтуриванию залежей радиус (или длины каждой из 8 радиальных линий) составлял 500-750 м. Идея такого источника подразумевает, что геометрия его правильная, а токи в лучах выровнены. Что касается геометрии, то необходимая точность легко достигается на практике с помощью теодолита или нивелира. Особую проблему составляет необходимость поддерживать назначенные и равные токи (5-10 А) в лучах, причем, в импульсном режиме. Специальная

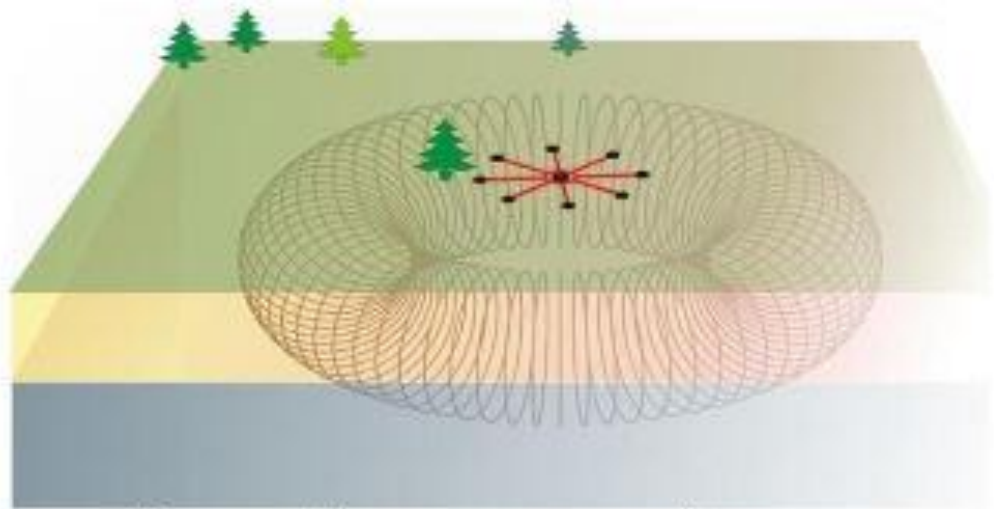
Принципиальные особенности методики ЗВТ

Интересно, что КЭД, с другой стороны, можно рассматривать как наземный аналог вертикальной электрической линии, размещаемой в скважине или в море. Оба эти источники возбуждают поле электрического (ТМ) типа. Однако, по нескольким причинам, вертикальная линия – малопригодный источник, тогда как применение КЭД открывает новое направление в контролируемой геоэлектрике. Создаваемая им особая конфигурация вторичного тока с участием вертикальной компоненты тока – тороидальная система обладает совершенно феноменальными свойствами, неизвестными и

Принципиальные особенности методики ЗВТ



Вертикальная электрическая линия (ВЭЛ)



Круговой электрический диполь (КЭД)

Принципиальные особенности методики ЗВТ

Измерительный комплекс включает компактные индукционный датчик и измеритель переходного сигнала - стандартные элементы аппаратуры МПП или ЗСБ. Комплекс (один или несколько) свободно перемещается по площади с использованием спутниковой пространственно-временной привязки к источнику.

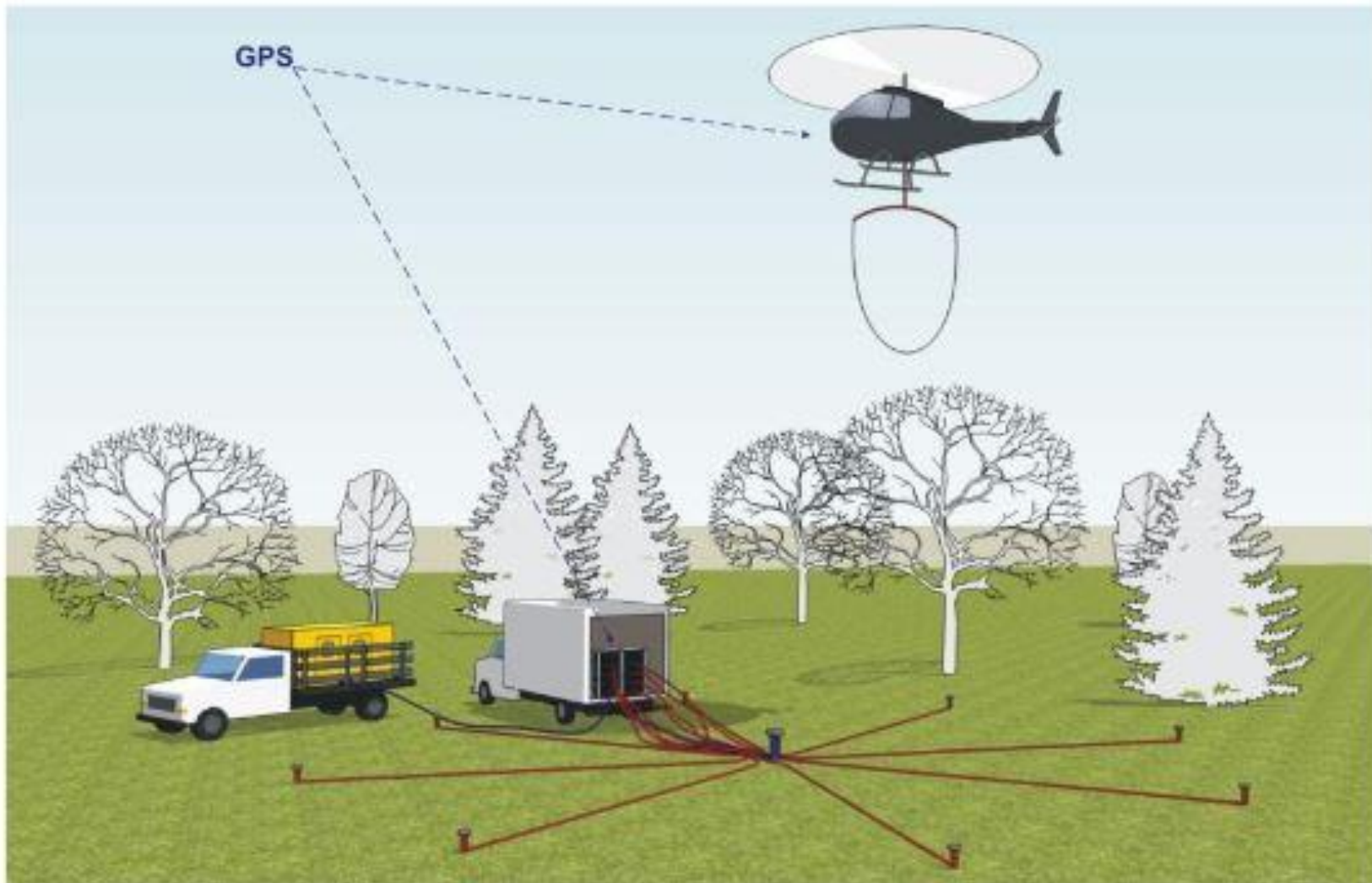
Удаление от источника до 5 радиусов источника. Таким образом, при закрепленном источнике радиусом 750 м может быть оперативно исследована площадь до 50 кв.км. Площадной сигнал ЗВТ, свободный от фона вмещающей среды и целиком обязанный латеральным



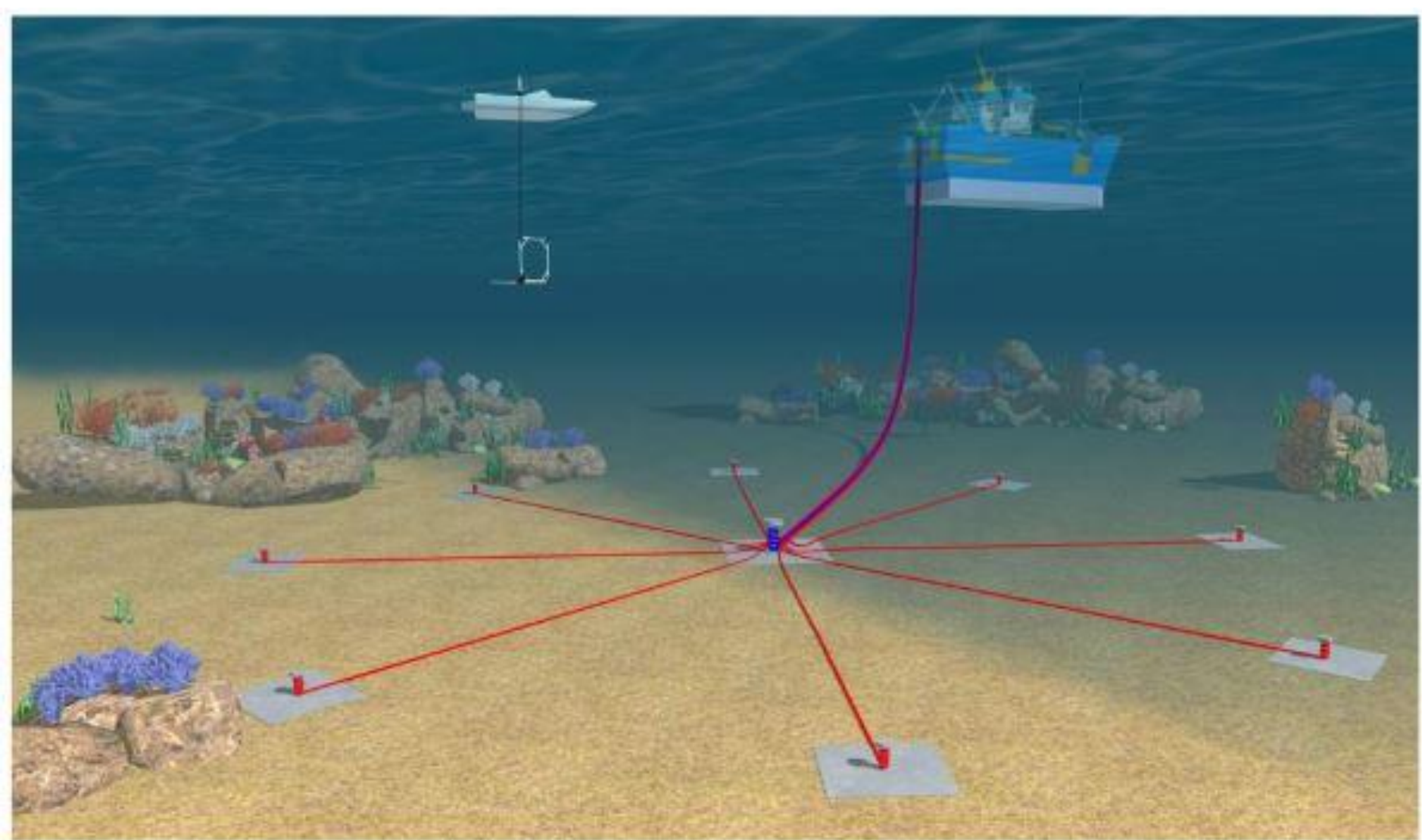
**Специальная аппаратура ЗВТ
для выравнивания токов в
лучах КЭД**



**Работы ЗВТ-М в Татарстане.
Могилатов с индуктивным датчиком**



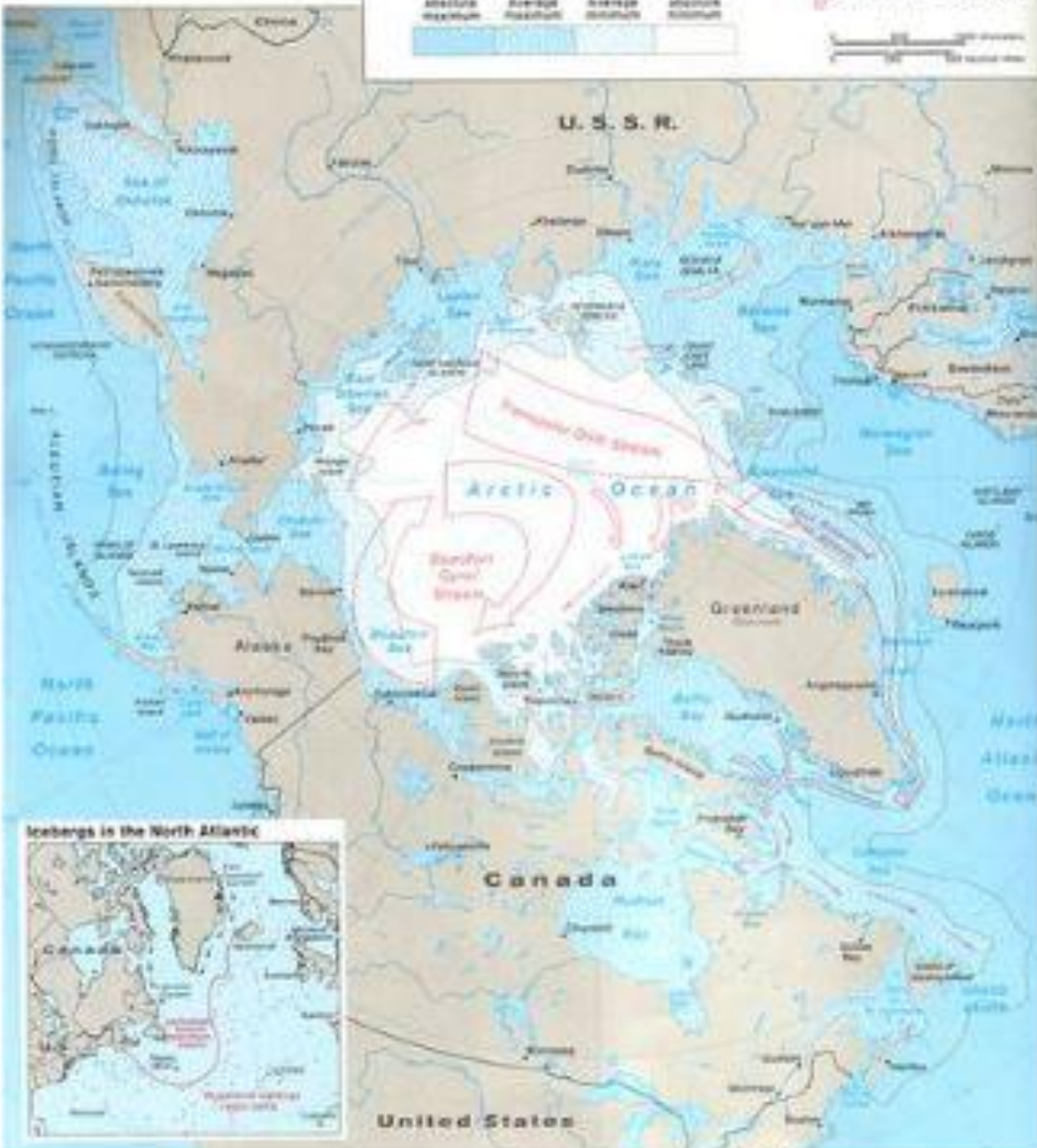
Дальнейшее развитие метода видится в совершенствовании интерпретационного программного обеспечения, в создании более мощных зондирующих установок, которые позволят с одной точки зондирования опосредованно обследовать более 400 кв.км, в развитии системы площадных наблюдений (например, регистрация сигналов с летательного аппарата).



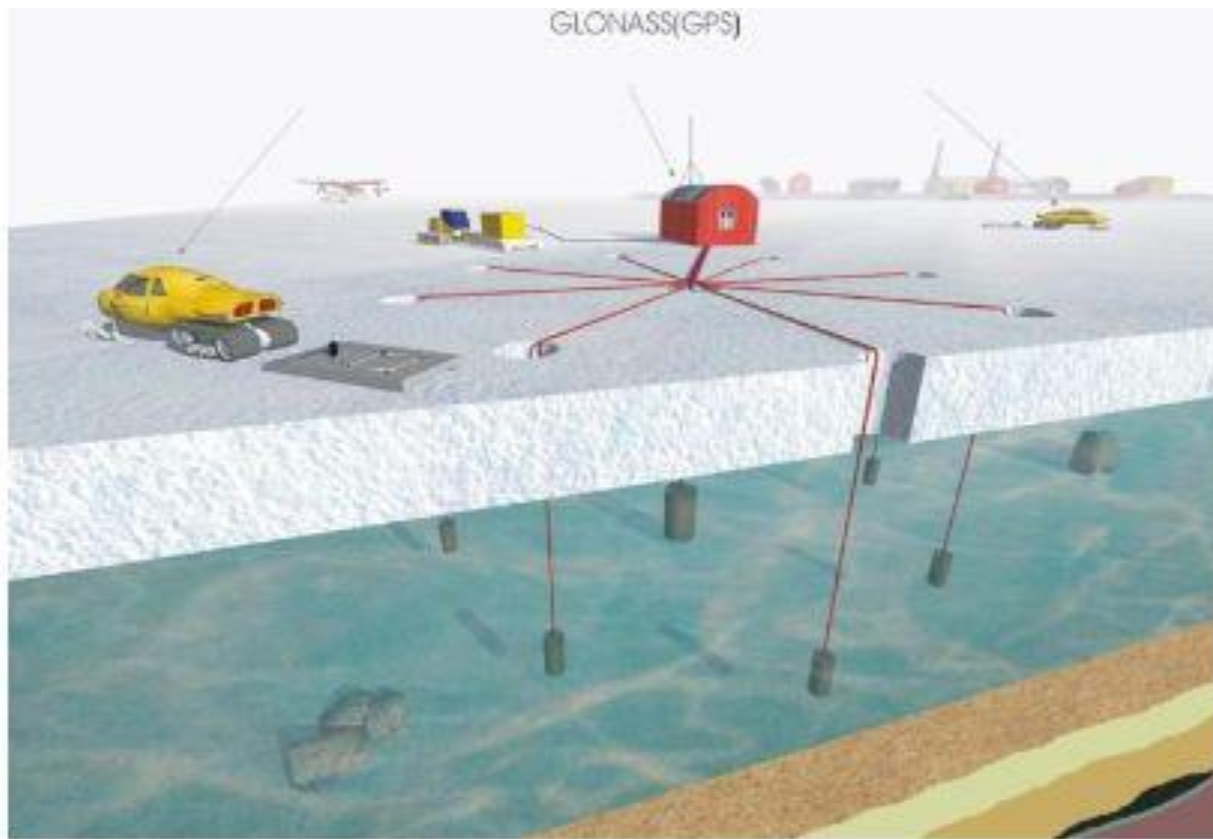
Очень интересны перспективы метода в морских условиях, где он радикально решает извечную проблему морской электроразведки – экранирующее действие слоя морской воды.

Проблема решается именно применением ТМ-поляризованного поля.

Extent of sea ice (at 1/8 or greater concentration)



Предлагается разместить сложную, масштабную электро-разведочную питающую и, частично, приемную конфигурации на дрейфующем льду, и в течении долгого времени повторять реализацию системы наблюдения, подразумевая перемещение всей установки относительно дна арктического бассейна.



На льду располагается (один раз и очень тщательно) питающая в импульсном режиме установка кругового электрического диполя. Установка заземляется в центре и по концам радиальных питающих линий через отверстия во льду. Электроды заземлений могут быть глубоко погружены в море. Радиус КЭД (длина радиальной линии) может достигать 10-20 км. Система наблюдения складывается из электрических приемников в виде фиксированных, заземленных в воде, горизонтальных и вертикальных линий, а также из площадной, оперативно выполняемой мобильными индуктивными датчиками системы измерений магнитного поля.

Применение метода ЗВТ-М

Экспериментальные полевые электроразведочные работы по оконтуриванию залежей методом ЗВТ (в основном, ЗВТ-М) начались летом 1999 г. Работы были организованы силами ТНГ-"Казаньгеофизика" ОАО «Татнефтегеофизика» (ныне – ТНГ- «ГРУПП») совместно с компанией «ЗаВеТ-ГЕО» (г. Новосибирск) – российским представителем международной геофизической компании ЕМТЕК. Среди различных задач экспериментальных работ ЗВТ ставилась также геолого-геофизическая задача по определению границ залежей УВ. С этой целью работы проводились на Шуганской, Удобновской, Агбязовской и

Применение метода ЗВТ-М

ЗВТ довольно широко опробован на рудных и нефтегазовых объектах. В Татарстане уже несколько лет результаты ЗВТ принимаются геофизиками и геологами в качестве данных для уточнения зон распространения углеводородов. Велик интерес к методу и за рубежом. В Австралии определяли рудное месторождение, и в других странах, при использовании ЗВТ для поиска рудных и нефтяных месторождений (Финляндия, Италия, США). Метод привлекался (2010г.) для участия в экологическом проекте в США (штат Вайоминг) в целях мониторинга закачки углерода под землю. В настоящее время готовится ряд проектов для

Результаты метода ЗВТ-М

При нефтепоисковом применении ЗВТ с индуктивным магнитным приемом (ЗВТ-М) обнаружился довольно непонятный, хотя и крайне благоприятный экспериментальный факт. В целом ряде залежи нефти проявляют себя в площадном сигнале ЗВТ областью повышенных значений ЭДС одного знака (измерения dV_z/dt индуктивным датчиком). Контур отмечался сменой знака.

На рисунке представлены некоторые результаты. Площадной сигнал ЗВТ своим рельефом (красные зоны –

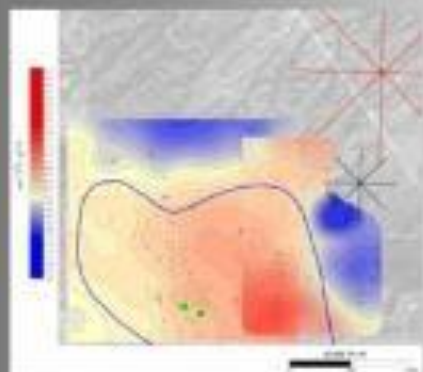
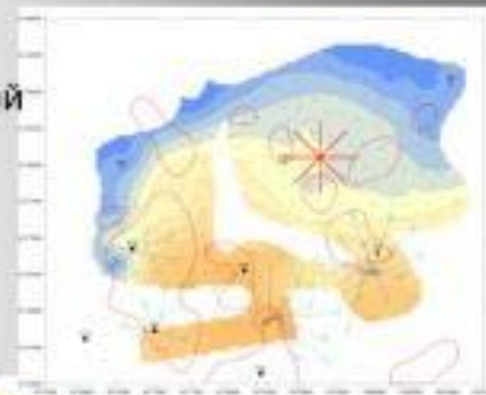
положительные значения сигналов) указывает на залежи и сопутствующие им зоны миграции

Результаты метода ЗВТ-М

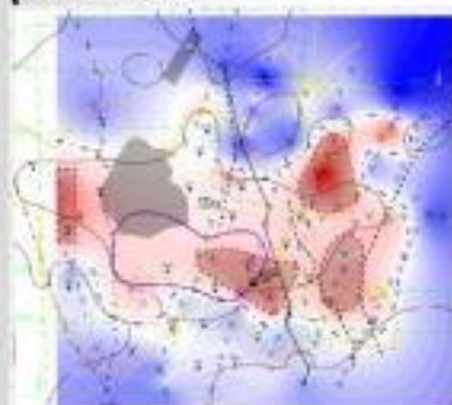
Особенно интересно сопоставление с данными геохимических исследований на поверхности, а также с существующим и последующим бурением.

Доразведка месторождений УВ методом ЗВТ. 2D-представления данных ЗВТ (в плане) на временных задержках

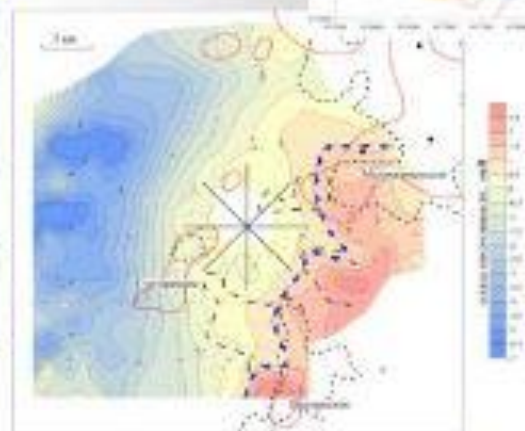
Винокуровский участок, Татарстан. $t = 43$ мс



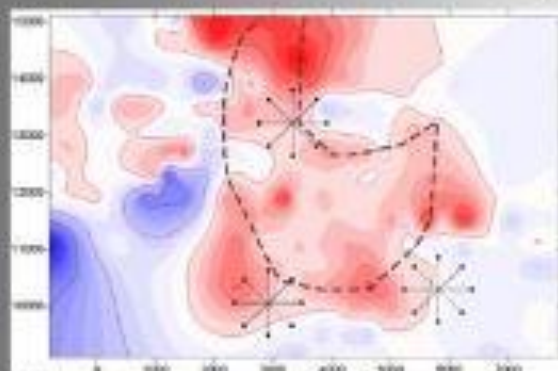
Участок Chico-Martinez. Калифорния. $t = 31$ мс



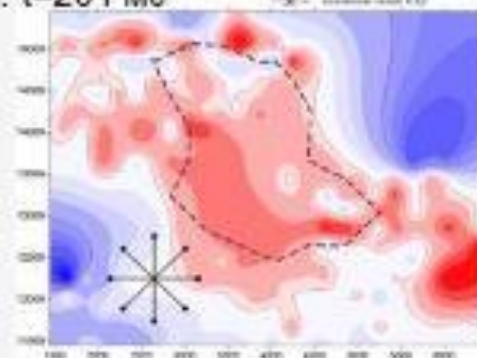
Шадкинское месторождение, Татарстан. $t = 201$ мс



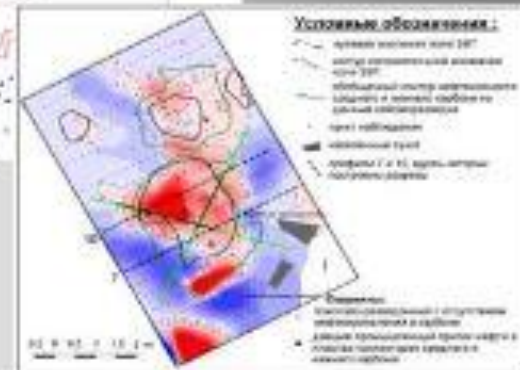
Шийское месторождение, Суеглинский участок, Татарстан. $t = 201$ мс



Шуганская залежь, Татарстан. $T = 9$ мс



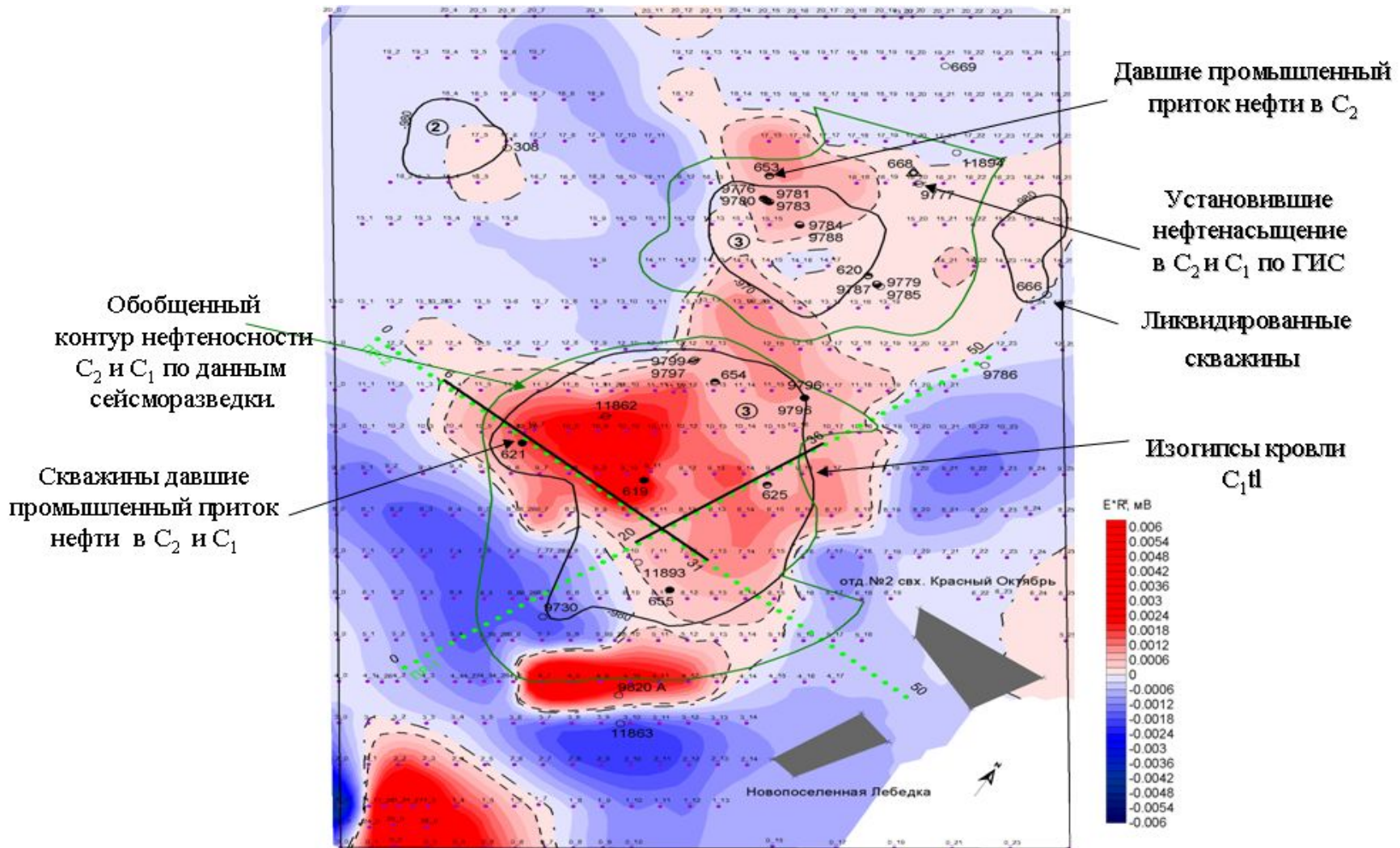
Акбязовская залежь, Татарстан. $t = 31$ мс



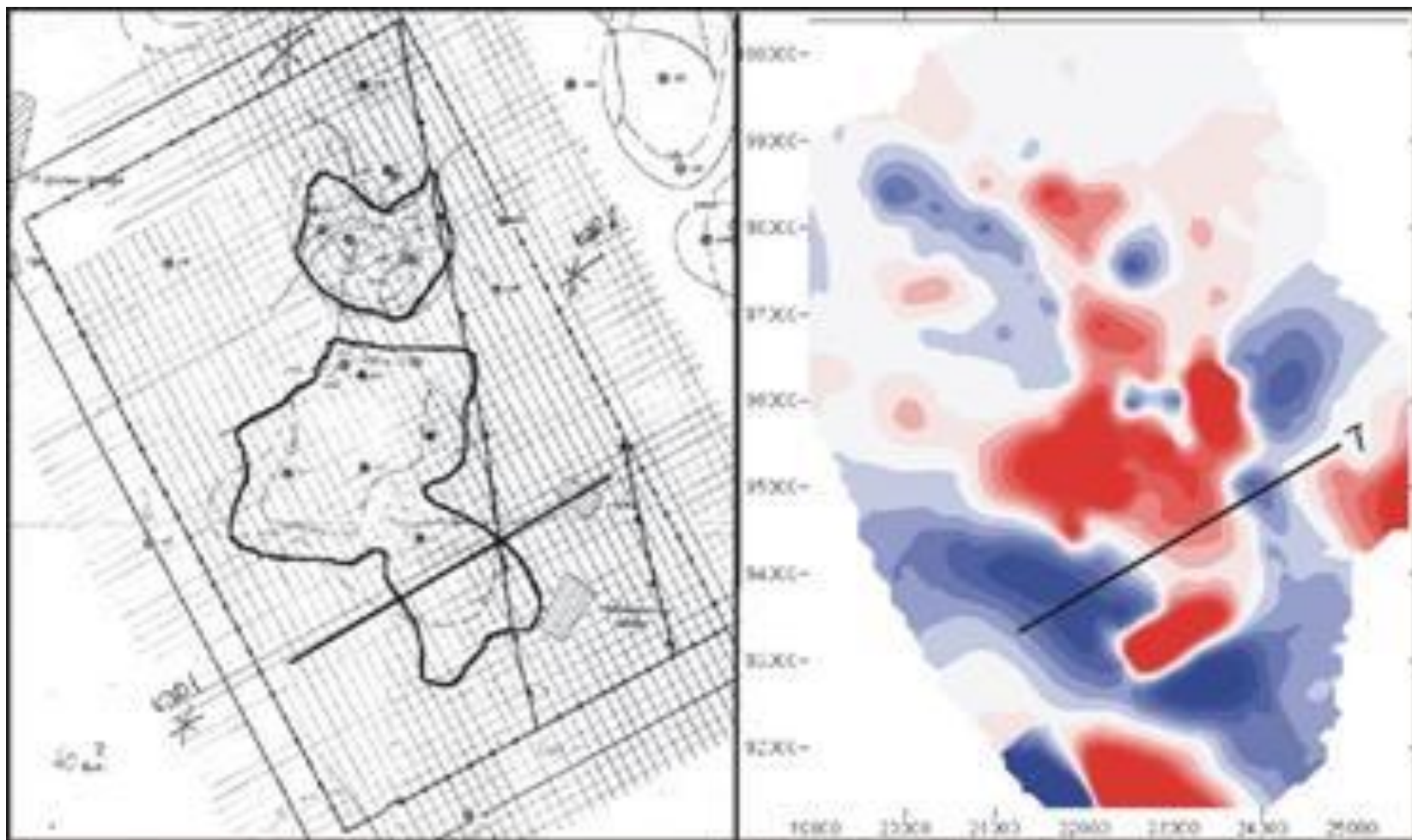
Красно-Октябрьская залежь, Татарстан. $t = 21$ мс

ЗВТ дает контур месторождения УВ

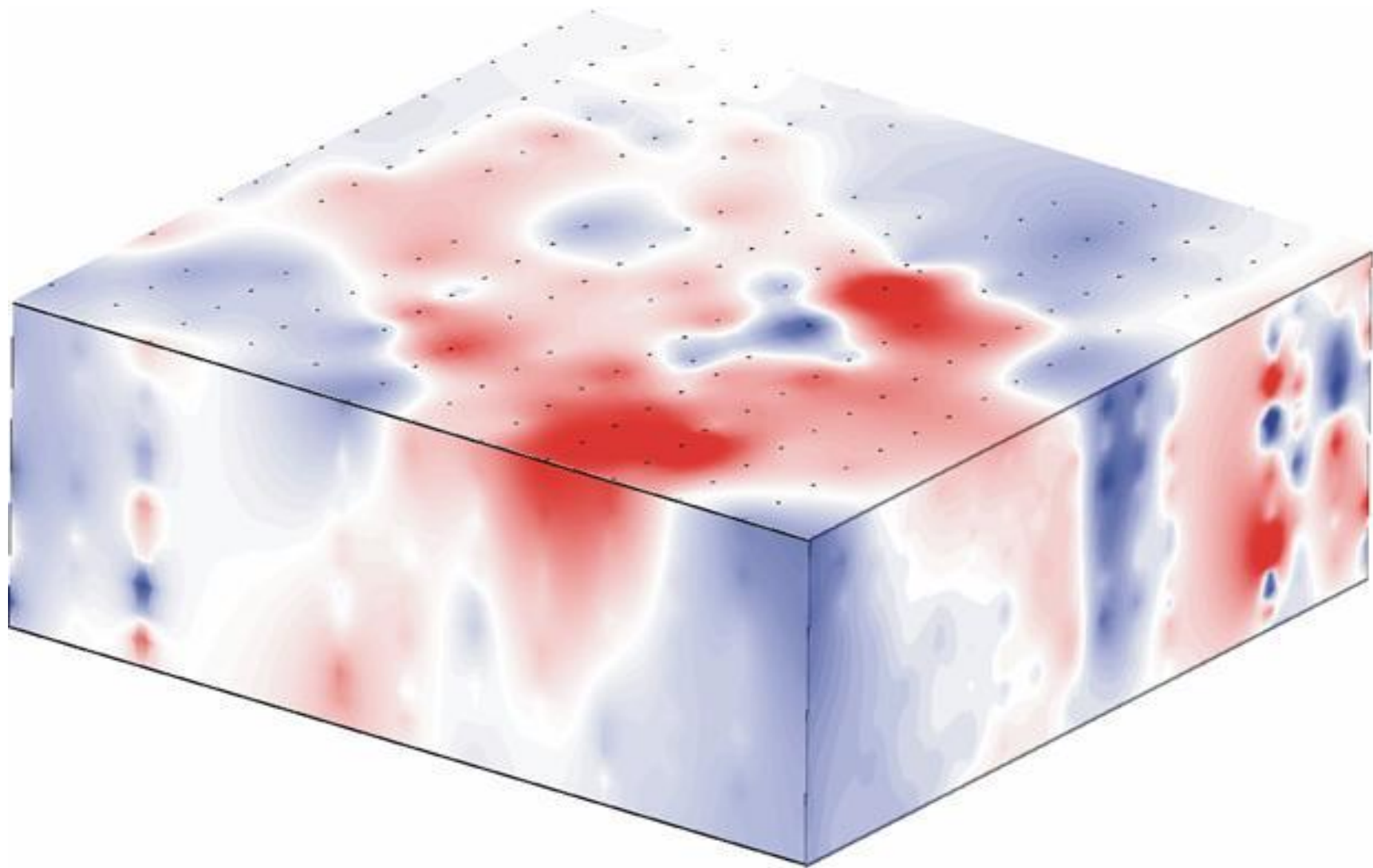
Примеры применения методики ЗВТ



Сопоставление результатов электроразведки с обобщенным контуром залежей нефти в карбоне

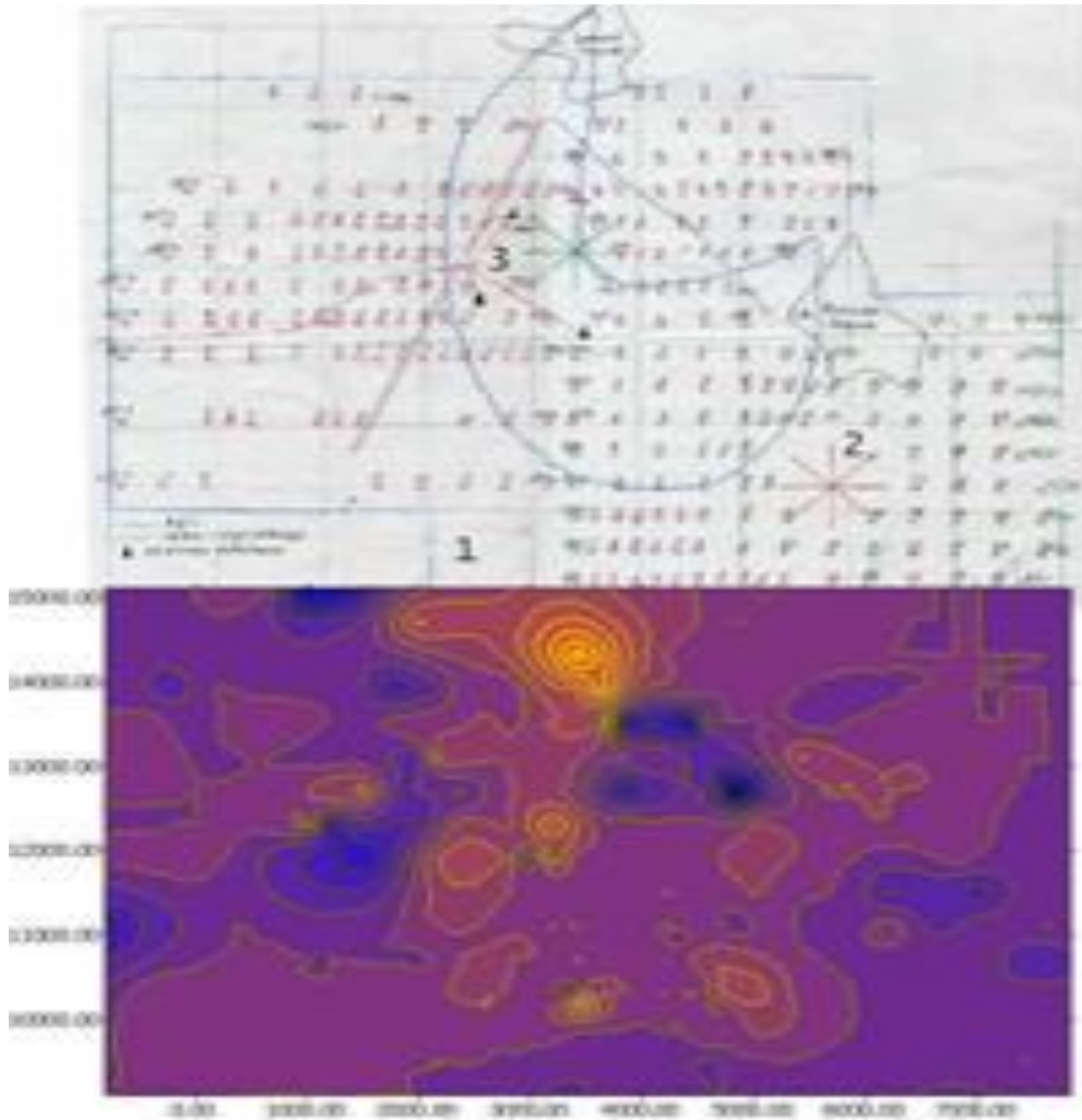


Красно-Октябрьское поднятие. Площадной сигнал

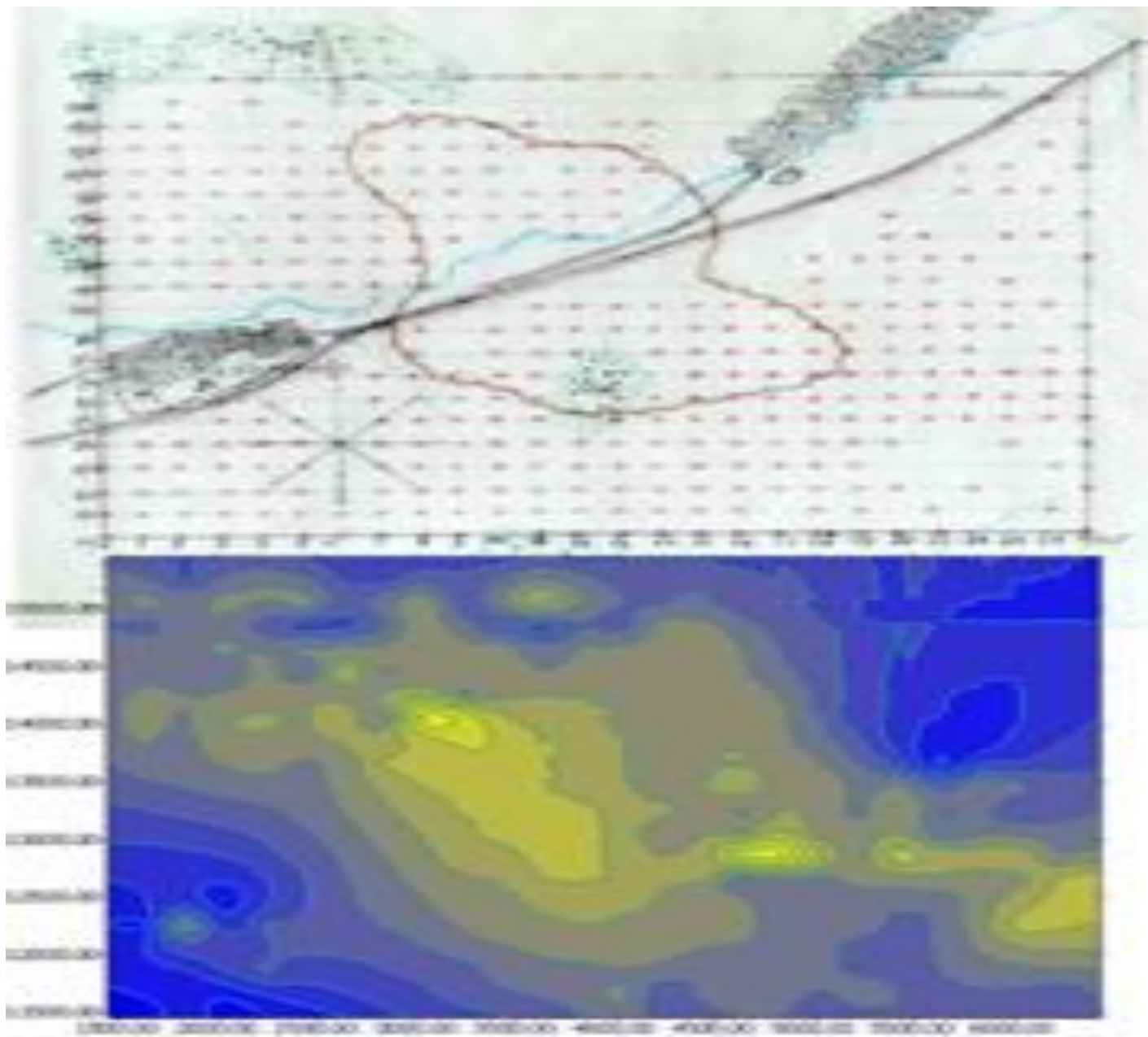


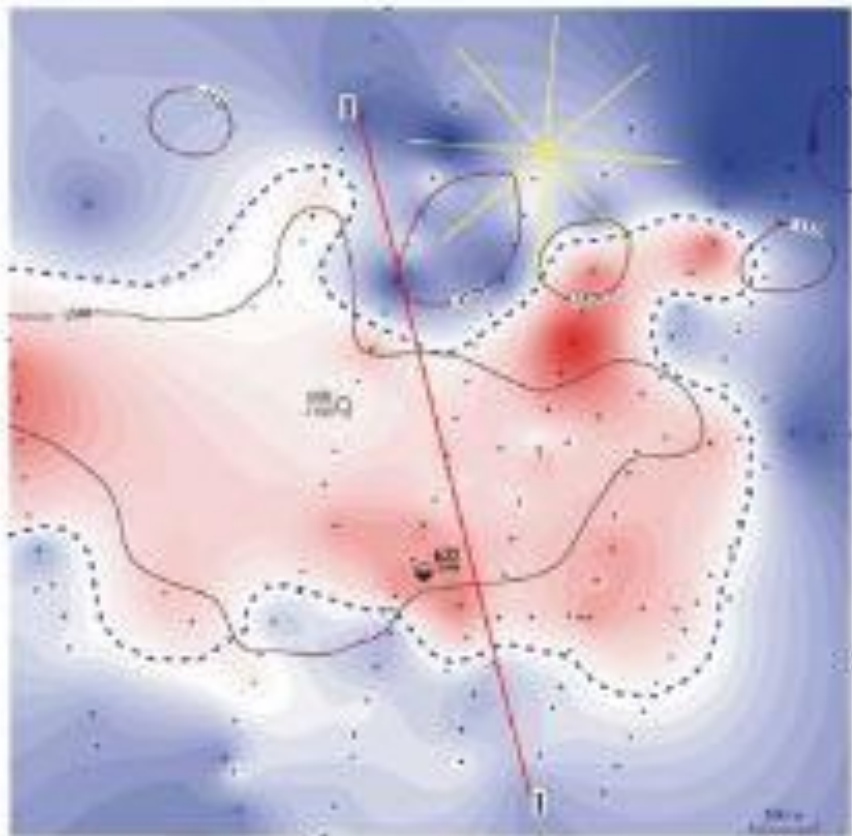
3-D модель участка

Примеры применения методики ЗВТ



Примеры применения методики ЗВТ

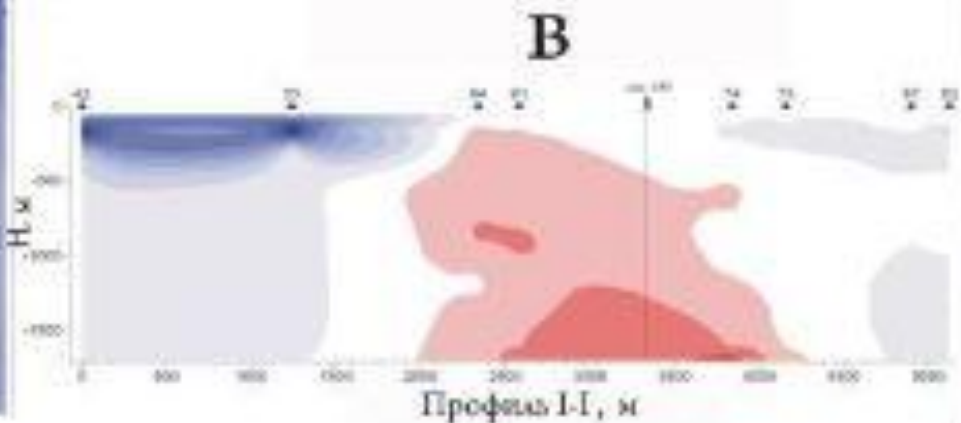




6

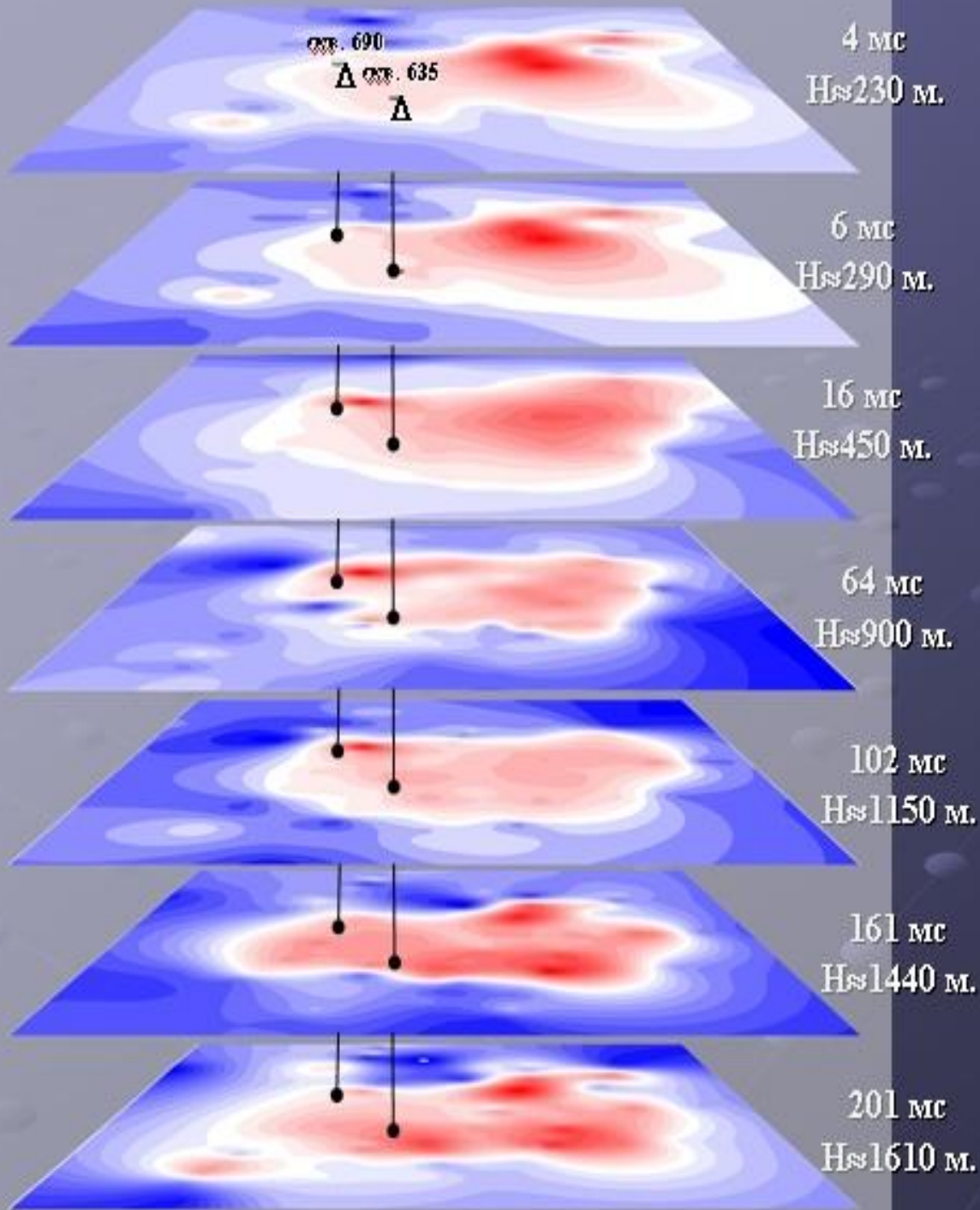
1 слой	$h = 408 \text{ м.}, \rho = 19,46$
2 слой	$h = 162 \text{ м.}, \rho = 5,48$
3 слой	$h = 360 \text{ м.}, \rho = 3,11$
4 слой	$h = 192 \text{ м.}, \rho = 18,31$
5 слой	$h = 85 \text{ м.}, \rho = 0,753$
6 слой	$h = 510 \text{ м.}, \rho = 4,041$

а



шадкинское поднятие

В пределах Шадкинской структуры, выявленной сейсморазведочными работами, пробурена скважина глубокого бурения No 635, давшая промышленный приток нефти из терригенных отложений тиманского горизонта верхнего девона. По результатам обработки электроразведочных исследований методом ЗВТ получен контур нефтяной залежи, который позволил уточнить прогноз сделанный на основе сейсморазведочных работ.



3D – представление результатов ЗВТ в виде серии временных разрезов.
 (по материалам «ТНГ-Казань геофизика», 2009)

Выводы

В результате исследований методом ЗВТ выделяются аномалии, образованные высоко-амплитудными сигналами.

При решении нефтепоисковых задач применение ЗВТ позволяет оконтурить нефтяную залежь в нижнем и среднем карбоне, а так же оценить перспективность обнаружения новых нефтяных залежей в пределах выявленных сейсморазведкой положительных структур.

Метод успешно используется в морской геофизике.