

УДК 550.8:624.191.6:625.78

**В.В. Набатов, Р.М. Гайсин, И.И. Гораньков**

**ОПЫТ ГЕОРАДИОЛОКАЦИОННОГО ОБСЛЕДОВАНИЯ  
МАССИВА ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ УСЛОВИЙ  
ЩИТОВОЙ ПРОХОДКИ КОЛЛЕКТОРОВ В УСЛОВИЯХ  
МЕГАПОЛИСА**

*Рассмотрен опыт георадиолокационного обследования геомассива с целью выявления областей аварийно опасных для щитовой проходки коллекторов. Использовался комплекс «Лоза-1Н». Аргументирован выбор аппаратуры. Описаны технические особенности георадара, сложности, возникшие в процессе работ. Приведены примеры волновых портретов инженерных коммуникаций, областей разуплотнения, камней на трассе коллектора.*

*Ключевые слова: георадиолокация, зондирование, щитовая проходка коллекторов, предотвращение аварийных ситуаций, камни, области разуплотнения, коммуникации.*

---

**П**ри щитовой проходке коллекторов в условиях города существует ряд проблем, которые необходимо учитывать с целью предотвращения аварийных ситуаций.

В первую очередь проблемой может стать присутствие на трассе коллектора областей разуплотнения, под которыми понимают зоны карстово-суффозионных процессов, пустоты, линзы водонасыщенных и увлажнённых грунтов, засыпанные свалки, древние русла рек. В подобных областях стоит ожидать резкие изменения механических и гидрогеологических параметров геосреды, которые способны приводить к аварийным ситуациям. В засыпанных свалках мусор (особенно металлосодержащий) может приводить к порче рабочего органа щита. В водонасыщенных грунтах давление на щит может существенно возрастать по сравнению с давлением при проходке в обычном грунте. Также возможно затопление строящегося коллектора со сдвижением днев-

ной поверхности (например, авария на Большой Дмитровке в 1998-м году).

Частично эту проблему можно решить, корректируя трассу коллектора по результатам инженерно-геологических изысканий. Однако в полной мере опираться на них сложно, поскольку по причинам дороговизны бурения скважин и плотности городской застройки изучение геосреды по скважинам часто производится с шагом в 50 м. Не редко оказывается, что указанные выше области разуплотнения имеют меньший размер [1, 2].

Также острой проблемой представляет наличие областей с камнями и крупных камней на пути щита. Камни могут приводить к заклиниванию ротора и поломке резцов [3]. Области преодолеваются со сниженной скоростью проходки. В некоторых случаях при выявлении крупных камней производится корректировка трассы коллектора.

Еще одной проблемой является возможное присутствие инженерных коммуникаций на трассе коллектора. На геоподосновах в ряде случаев коммуникации могут либо отсутствовать, либо могут быть некорректно указаны их параметры (место расположения, глубина заложения). Здесь аварийная ситуация обычно подразумевает разрушение коммуникации с необходимостью последующего её восстановления. Так же проблемой могут быть старые уже не используемые коммуникации, которые при проходке могут повредить рабочий орган шита.

В случае заблаговременного выявления описанных выше потенциально опасных объектов на трассе коллектора можно либо изменить расположение трассы, либо скорректировать в процессе проходки технические параметры. В контексте задачи выявления наиболее эффективным и точным инструментом стал относительно недавно вошедший в практику геофизический метод георадиолокации. Метод состоит в излучении в геосреду электромагнитных видеоимпульсных сигналов с последующей регистрацией откликов. В каждой точке профиля регистрируется пришедший из массива сигнал (трасса), представляющий собой сумму откликов. Таким образом, получается последовательный ряд сигналов (радарограмма), анализируя который можно выявить те или иные особенности геомассива. Данная статья посвящена опыту, полученному на ряде объектов города Москвы в 2010 году.

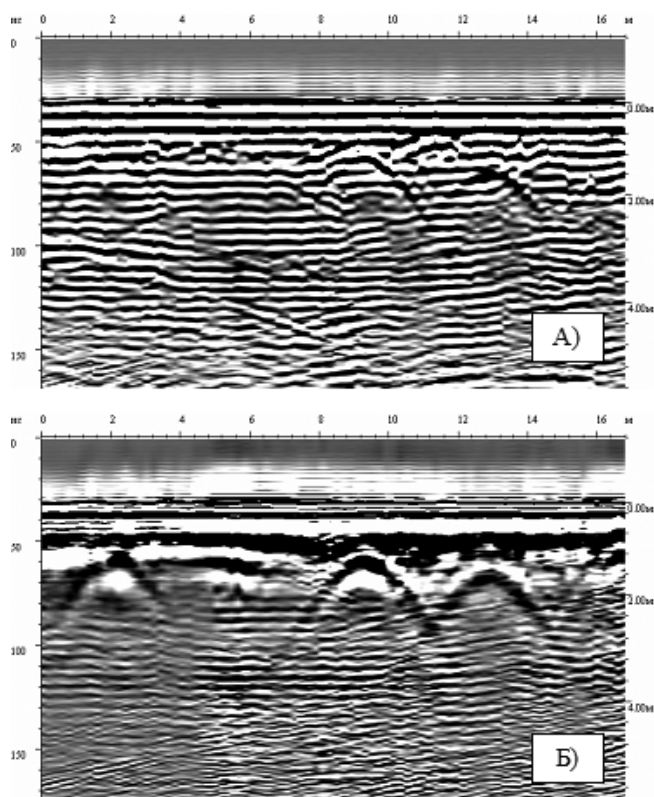
Для георадиолокации обычно остро стоит проблема максимальной глубинности исследований, которая определяется свойствами среды и частотой излучённого сигнала. Опыт показывает, что для характерных глубин проходимых в Москве коллекторов (4-

15 м) необходимо использовать низкочастотные георадары с частотой излучения 100 – 25 МГц, специфика работы с которыми создаёт целый ряд проблем.

В первую очередь это разрешающая способность метода, которая падает с понижением частоты. Однако, учитывая характерные размеры геологических структур сложность этой проблемы достаточно условна.

Во вторую очередь – это отсутствие экранировки у низкочастотных георадаров от так называемых «воздушных» помех (паразитных волн, излучающихся не в геосреду, а в верхнее полупространство). Использовать отражатели невозможно по ряду причин, поэтому георадары экранируют материалами способными поглощать энергию паразитной электромагнитной волны. Размеры слоя для эффективного поглощения должны быть сопоставимы с длиной волны излучения. Однако длины волн низкочастотной георадиолокации имеют достаточно большую величину и защитные кожухи приходится делать слишком громоздкими. Поэтому низкочастотные георадары не экранируются и принято либо проводить съёмку с учётом диаграммы направленности для снижения влияния «воздушных» помех, либо отфильтровывать их в процессе обработки, либо просто учитывать их влияние при интерпретации, анализируя расположение надповерхностных объектов вблизи профиля.

До начала работ было рассмотрено несколько вариантов георадаров для решения поставленной проблемы. Основные российские производители георадаров это ООО «Логис» (г. Жуковский, георадар «ОКО-2»), ООО «ВНИИ СМИ» (г. Химки, георадары «Лоза»), ООО «Геологоразведка» (г. Москва, георадары «ТР-ГЕО»).



**Рис. 1. Пример низкочастотных изысканий с «ОКО-2». А) необработанная радарограмма, Б) радарограмма после обработки**

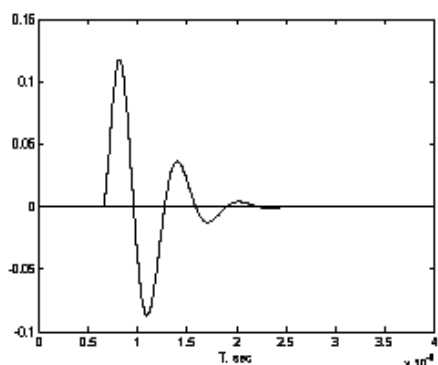
У авторов данной статьи есть многолетний практический опыт работы на георадарах «ОКО-2», в т.ч. на низкочастотной модификации антенных блоков АБ-90 (частота – 90 МГц). В большинстве случаев низкочастотный «ОКО-2» создавал «звонящие» помеховые записи не «воздушной» природы, которые очень существенно зашумляли радарограмму. В основном с этими помехами удавалось справляться обработкой, однако обработка существенно искажала общую геологическую картину на радарограмме.

Одним из примеров низкочастотных исследований на «ОКО-2» могут быть радарограммы рис. 1. Задачей здесь было выявление трубопроводов.

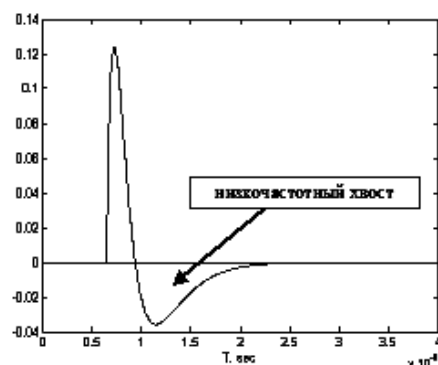
Рис. 1, а это необработанная, зашумлённая радарограмма, рис. 1, б это та же радарограмма после обработки (фильтрация, деконволюция, коррекция затухания функцией усиления, коррекция greyscale-кодировки уровней мгновенных амплитуд). Хорошо видно, что на рисунке б проступили гиперболические оси синфазности (далее ГОС) от трубопроводов, однако по радарограмме трудно анализировать геологическую ситуацию как до обработки так и после.

Степень зашумлённости радарограмм меняется в зависимости от свойств грунтов (представлен пример где проблема наиболее обострена), не редко задачи с этим георадаром решить удаётся, но очень часто описанная помеховая особенность мешает интерпретировать радарограммы.

Также в последние годы был набран опыт работы на георадарах марки «Лоза», в том числе производились и работы с низкочастотными модификациями («Лоза-1Н»). Георадары этой марки отличаются специфическими особенностями. Используются резистивно-нагруженные дипольные антенны (в отличие от распространённого варианта «бабочка»). Резистивная нагрузка означает включение в конструктив антенны сопротивлений с последовательно изменяющимися параметрами. Кривая изменения этих параметров вдоль антенны, в первых, позволяет оптимизировать специфику излучения электромагнит-



а



б

**Рис. 2. Различия осциллирующего (типичное решение) и аperiodического импульсов:** а) осциллирующий импульс с затуханием, функция пересекает нулевую ось многократно; б) аperiodический импульс, функция пересекает нулевую ось один раз

ной волны для грунтов, во-вторых, позволяет получать аperiodический импульс. Различия осциллирующего (типичной вариант) и аperiodического импульсов можно оценить по рис. 2 [4]. Всё это даёт возможность получать из массивов сигналы с меньшим влиянием так называемых «звонящих» записей, описанных выше. Так же важно, что в случае аperiodического импульса вы получаете от объекта отражённый сигнал не в виде нескольких периодов, а только в виде одного неполного периода. Использование резистивной нагрузки приводит к необходимости подавать на антенны более высокие по мощности импульсы.

На рис. 2 можно заметить одну особенность излучаемого сигнала – аperiodический сигнал имеет низкочастотный хвост, который в случае отражения от объекта в массиве будет накладываться на отражения других объектов. Эта особенность и ряд других потребовали для георадаров «Лоза-1Н» разрабатывать дополнительные инструменты обработки. Эта особенность в меньшей степени обострена при работах на 3-метровых антеннах, и в большей степени – при работе на 6 и 10-метровых.

Касательно георадаров «ТР-ГЕО» – по факту анализа опубликованных радарограмм [5] низкочастотных модификаций этого георадара было решено, что радарограммы полученные с георадара «Лоза-1Н» всё-таки более детальные и менее зашумлены «звонами». Однако стоит уточнить, что практического опыта работы на георадарах «ТР-ГЕО» у авторов этой статьи нет.

Таким образом, было решено производить ряд работ по контролю геомассива до шитовой проходки коллекторов с помощью георадара «Лоза-1Н» с 3-х метровыми антеннами (50 МГц), обеспечивающими глубину до 20-30 м (исходя из предварительного опыта). Выбор именно этих антенн связан с соответствием задаче по глубинности, с большей разрешающей способностью и меньшим влиянием низкочастотных хвостов по сравнению с более низкочастотными вариантами антенн георадаров «Лоза-1Н» (существуют варианты 6-ти и 10-ти метровых антенн). На рис. 3 представлен момент работы в полевых условиях.

Съёмка велась по шагам, с контролем шага по пластиковым рулеткам, развёрнутым на земле. Отсутствие металлических элементов в лентах руле-



**Рис. 3. Момент полевых работ с георадаром «Лоза-1Н»**

ток необходимое условие при полевых работах, поскольку токи наводимые сигналом в металлической рулетке создают помеховое электромагнитное поле, сильно искажающее результаты. Антенны были ориентированы вдоль профилей и перемещались вдоль них. Велась привязка профилей с последующим нанесением профилей на план для анализа возможных источников «воздушных» помех. Возможные источники «воздушных» помех также вносились в журнал в процессе полевых работ.

Расстояние между профилями, выбираемое ориентируясь на длину волны излучения, выдерживалось в 3 метра (фактически это означает, что профили идут бок о бок и приёмная антенна переключается в то место где находилась излучающая). Методически допустимо, что бы между антеннами находились надповерхностные объекты, кроме случаев проводящих объектов (металлический забор). Эти аспекты ограничивали возможности для прохождения большого количества параллельных профилей (недостаток свободного места в городе). Поэтому съёмка была произведена в 2 профиля – основной и подтверждающий.

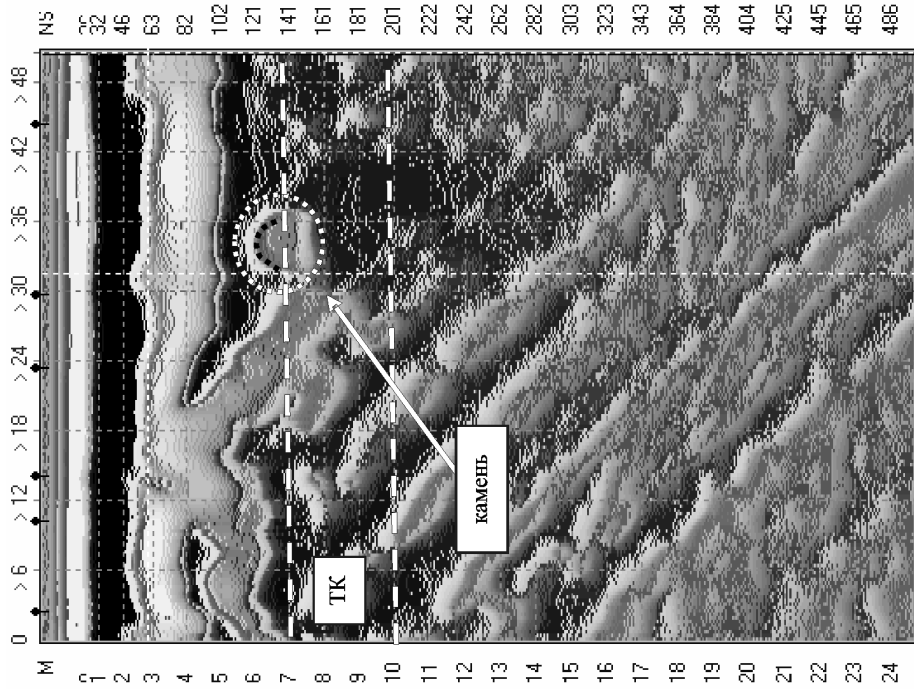
Необходимо было контролировать постоянство расстояния между антен-

нами (конструкция георадара не фиксирует это расстояние). Пройти различные профили с различным межантенным расстоянием методически допустимо. Но изменение этого расстояния на одном профиле приводит к тому, что на радарограмме появляются помеховые структуры, которые можно принять за геологическую особенность. Поэтому необходимо было постоянно выдерживать расстояние между антеннами, с помощью замеров. Иногда приходилось этим правилом пренебрегать, поскольку на профиле находился объект (например, брошенная машина) и антенны приходилось сближать до некондиционного расстояния. Эти несколько метров просто учитывались при интерпретации.

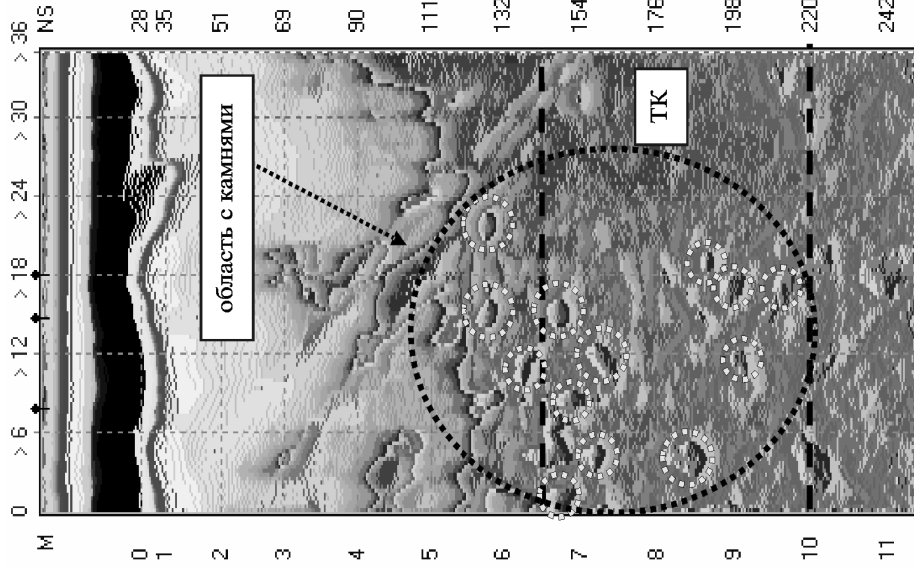
Кинематические параметры среды (действительная часть диэлектрической проницаемости) получались по методике «годограф» (трассы записываются не вдоль профиля, а с раздвижением антенн в стороны) и частично корректировались по ГОС от локальных объектов. Шаг на профиле варьировался от 0.2 до 0.5 м. Накопление сигналов не использовалось что связано с относительно длительной оцифровкой сигнала у георадаров «Лоза-1Н», использующих вместо стробоскопического преобразования оцифровку с помощью компараторов (это сделано для более корректных оценок абсолютных значений мгновенных амплитуд).

Для обработки использовались различные виды низкочастотных и высокочастотных, горизонтальных и вертикальных фильтров; смещение уровня нуля амплитуд; анализ потрассовой производной; анализ локальных минимумов и максимумов на трассе. Два последних варианта оказались наиболее эффективными.

Характерные результаты съёмок представлены на рис. 4-10.



**Рис. 4. Радарограмма профиля с выявленным камнем, указана гиперболическая ось симфазности (ПК – трасса коллектора)**



**Рис. 5. Радарограмма профиля с выявленной областью с камнями (ПК – трасса коллектора)**

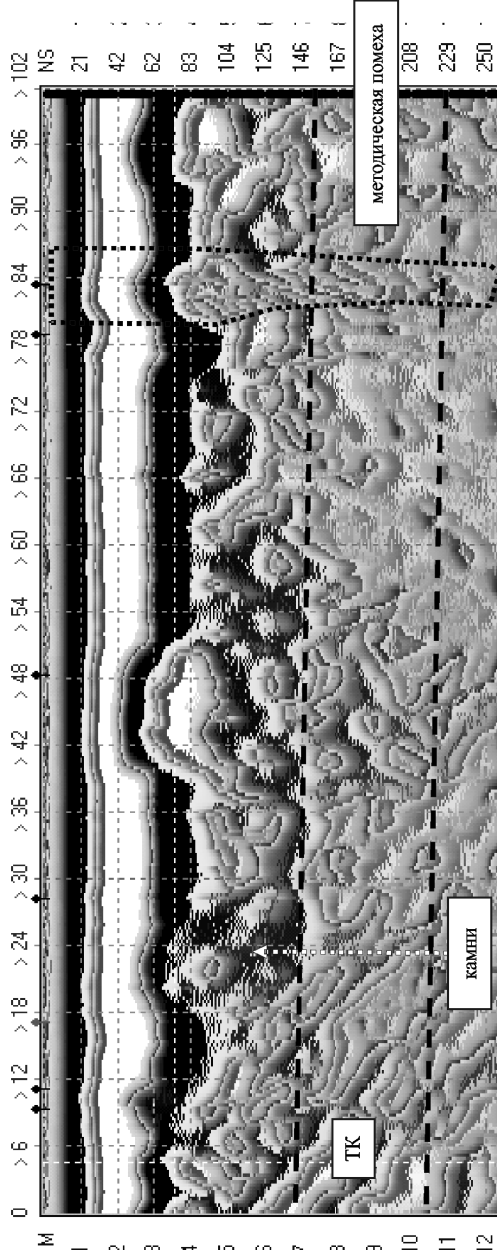


Рис. 6. Радарограмма профиля с выявленной областью с камнями (TK – трасса коллектора)

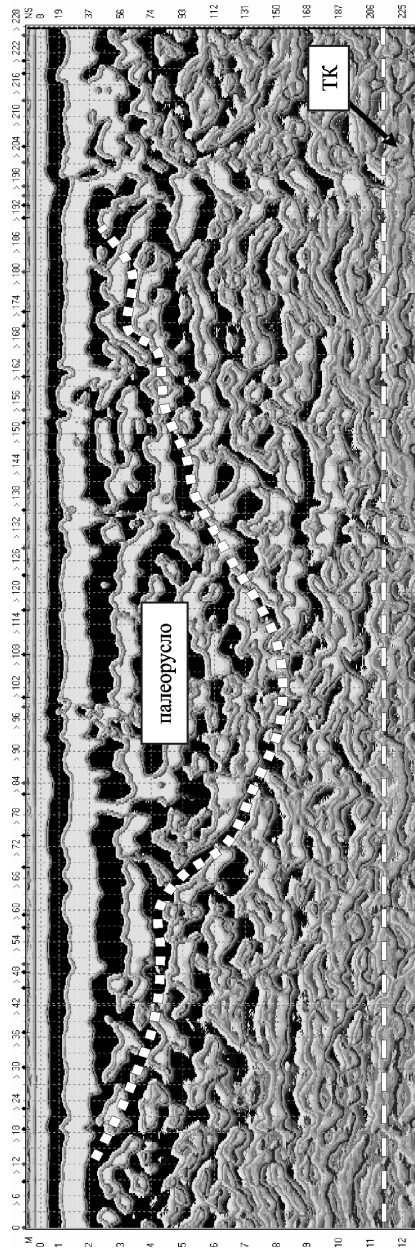
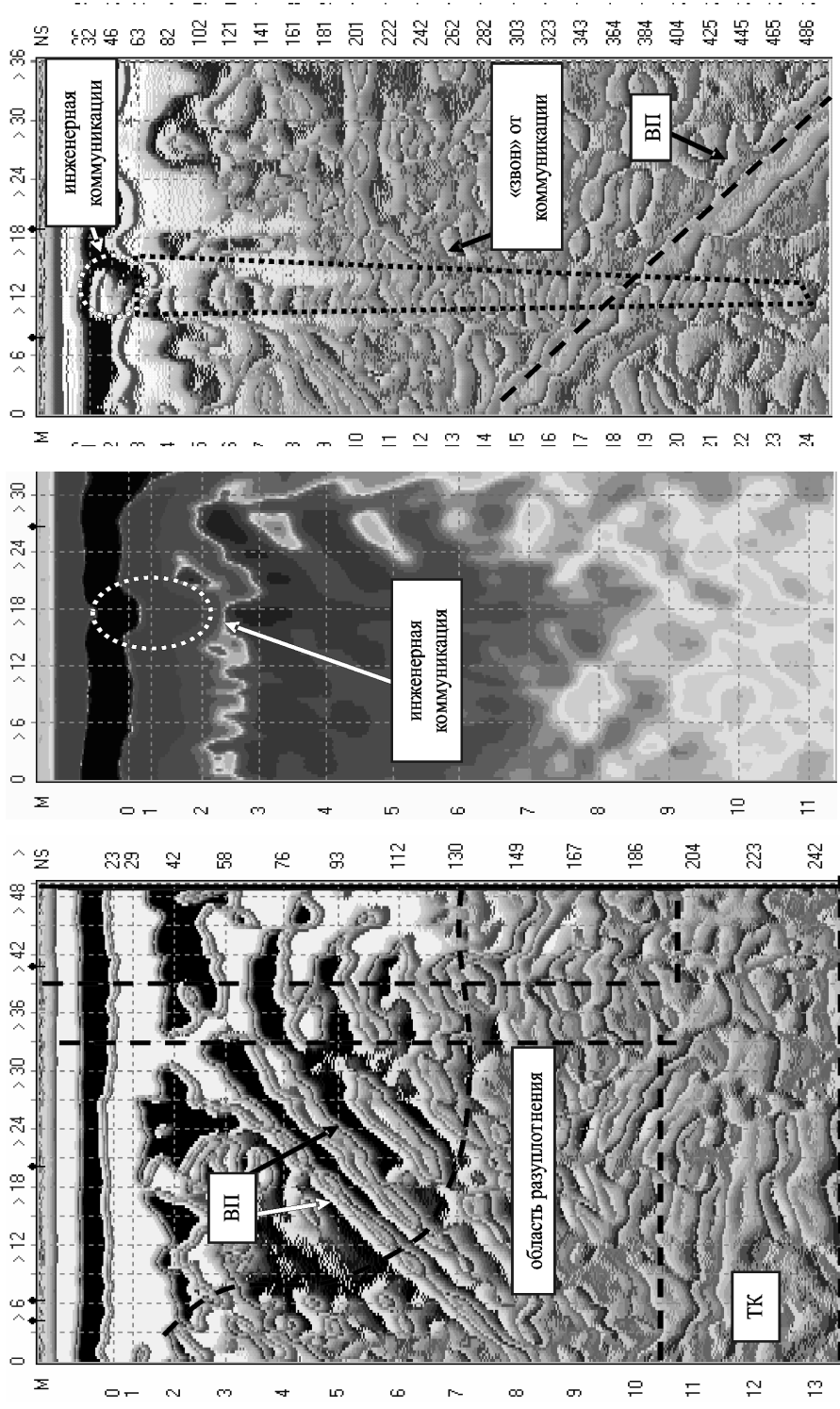


Рис. 7. Радарограмма профиля с выявленной областью разуплотнения (TK – трасса коллектора)



**Рис. 8.** Радарограмма с выявленной областью разуплотнения (ТК – трасса коллектора, ВП – «воздушная» помеха)

**Рис. 9.** Радарограмма с выявленной инженерной коммуникацией

**Рис. 10.** Радарограмма с выявленной инженерной коммуникацией (ВП – «воздушная» помеха)

На рис. 4 представлены примеры волновых портретов выявленных камней. Рис. 4 – пример отдельного крупного камня. Рис. 5-6 – группы камней. Камни, выявленные на одном профиле, обычно на параллельном профиле либо не давали никаких волновых артефактов, либо давали слабые и искажённые отражения с искажёнными ГОС (скорее всего камень в этом случае проявлялся за счёт не абсолютно острой диаграммы направленности). В приведённых примерах большинство ГОС по своей форме соответствует оценке диэлектрической проницаемости массива, полученной по методике «годограф». В ряде случаев эти ГОС искажены. Было сделано предположение, что на ГОС влияет не только специфика формирования отражённой волны, но и форма самого камня. А так же, в случае большой глубины расположения камня, влияние специфики распространения волны в геомассиве (неравномерность распределения свойств). То, что указано на рис. 6 как методическая помеха это описанная выше проблема, когда из-за объектов на профиле приходилось резко сближать антенны, обходя препятствие.

На рис. 7 и 8 приведены примеры выявленных областей разуплотнения. На рис. 7 представлена структура, форма которой позволяет подозревать наличие палеорусл в этой части геофизической площадки (одна из границ прослежена на радарограмме). Характерные особенности по которым выявлялись области разуплотнения это резкие перепады времён прихода волновых пакетов в ходе прослеживания осей синфазности, потери корреляции осей синфазности, резкое изменение волновой картины. Эти аспекты хорошо видны на радарограмме рис. 8 с тем уточнением, что часть радарограммы в области разуплотнения зашумлена «воздушными» помехами от рекламного

шита. Помехи, благодаря специфической форме их осей синфазности, не мешали интерпретации радарограммы. Пара примеров помеховых осей синфазности выделена на радарограмме рис. 8. Обе описанные области находились выше верхней точки проектируемого коллектора.

Приведённые области разуплотнения были обследованы с помощью метода электроразведочной томографии. Результаты томографического обследования подтвердили наличие опасных зон выше трассы коллектора.

На рис. 9 и 10 представлены примеры того, как проявлялись инженерные коммуникации на радарограммах. В ряде случаев коммуникации проявляются «просадкой» оси синфазности (этот пример приведён на рис. 9). Эти случаи были характерны для коммуникаций неглубокого заложения и, скорее всего, подобные волновые портреты были результатом нарушения залегания грунта в месте обустройства котлована (в процессе прокладки коммуникации). Другой вариант проявления коммуникаций – ГОС со «звенящей» записью под ней (этот пример приведён на рис. 10). Форма осей синфазности этого «звона» не редко тоже склонна к гиперболической.

Приведённые примеры совпадают с коммуникациями, нанесёнными на геоподоснову. В ряде случаев были выявлены волновые артефакты указывающие на коммуникации в местах, где, по данным геоподоснов, коммуникаций нет (все объекты, создавшие эти артефакты, находились выше трассы коллектора). Были выявлены и заброшенные коммуникации.

Часто коммуникация проявлялась по нескольким трассам на которых, с различной степенью явности, просматривается отражённый импульс. Иногда он формировал слабо выраженный ГОС. Решение о выявлении коммуникации (а не, например камня) принималось на

основании того проявляется ли и как проявляется артефакт волнового поля на параллельном профиле. Камни на соседних профилях проявлялись очень редко. Часто волновые портреты от одной коммуникации на параллельных профилях были различны.

В ряде случаев первые полупериоды трассы входили в ограничение. На фоне этих высокоамплитудных фрагментов трасс нельзя было выявить суммирующееся отражение от коммуникации (присутствовали и вычитающиеся волновые пакеты – при коэффициенте отражения  $k < 0$  происходит инверсия сигнала, в этом случае выявление не представляло проблем). Поскольку эта особенность проявлялась далеко не на всех геофизических площадках, то скорее всего её проявление зависит от

свойств приповерхностных грунтов, которые влияют на параметры излучения (геомассив часто интерпретируется как часть антенны, влияющая на формируемый импульс). При анализе глубин больше 2-3 м эта особенность не являлась проблемой (на этих временах сигнал не входил в ограничение).

В целом, по факту проведения описанных работ, можно сделать следующие выводы. Ряд проблем должен был осложнить работы: съёмка по точкам, «воздушные» помехи, участки недоступные для съёмки, сложности с использованием накопления. Однако, в процессе работ стало ясно, что эти проблемы носили второстепенный характер и задачу удалось решить с максимально возможной эффективностью.

*Авторы выражают благодарность заместителю директора ООО «ВНИИ СМИ» [6], за консультационную помощь.*

---

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Изюмов С.В., Дручинин С.В., Вознесенский А.С. Теория и методы георадиолокации: Учеб. пособие / М.: «Горная книга», 2008. - 196 с.
2. Швецов Н.Н., Изюмов С.В., Дручинин С.В., Чернышев А.В., Круглов Н.А. Видеоимпульсный метод контроля массива горных пород при строительстве инженерных подземных коммуникаций // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2004. № 11. С. 64-68.
3. Мазеин С.В., Вознесенский А.С. Акустическая разведка валунных включений на тоннелепроходческом механизированном комплексе. Необходимость и возможности прогноза // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2006. №5. -С. 78-87.
4. Сайт ООО "ВНИИ СМИ". Первичная обработка георадарных сигналов: [Электронный документ]. (<http://www.georadar.ru/articles/article3.php>). Проверено 10-02-2011.
5. Сайт компании "Геотех" (основной дистрибьютор георадаров марки "ОКО"): [Электронный документ]. (<http://www.geotech.ru/>). Проверено 10-02-2011.
6. Сайт ООО "ВНИИ СМИ" (производитель георадаров марки "Лоза"): [Электронный документ]. (<http://www.geo-radar.ru>). Проверено 09-02-2011. **ГИАН**

---

#### КОРОТКО ОБ АВТОРЕ

*Набатов В.В.* – кандидат технических наук, доцент,  
*Гайсин Р.М.* – кандидат технических наук, доцент,  
*Гораньков И.И.* – студент,  
Московский государственный горный университет,  
Moscow State Mining University, Russia, [ud@msmu.ru](mailto:ud@msmu.ru)