

**ГЕОРАДАРНЫЙ МОНИТОРИНГ УЧАСТКОВ  
АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ НА ЗАКАРСТОВАННОЙ  
ТЕРРИТОРИИ**

Д-р техн. наук, профессор **А.М. Кулижников**  
(ФАУ «РОСДОРНИИ»)  
Контакт. информация: [KulizhnikovAM@rosdornii.ru](mailto:KulizhnikovAM@rosdornii.ru)

*Приведены и проанализированы результаты георадиолокационных обследований автомобильной дороги, проложенной по закарстованной территории, в различные периоды года. Использовались антенные блоки с центральной частотой 400, 250 и 150 МГц. По результатам выполненных работ георадаром серии «ОКО» сделаны выводы по эффективности выполнения разведочных георадиолокационных работ на закарстованной территории, целесообразности проведения работ в разные периоды года, оценена максимальная глубина зондирования с определением пустот и разуплотненных зон.*

**Ключевые слова:** карст, георадар, автомобильная дорога, обследование, глубина зондирования, радарограмма, частота, мониторинг.

***Актуальность исследований***

Проектирование, строительство и эксплуатация автомобильных дорог на закарстованной территории характеризуются особой категорией сложности. Это связано с тем, что в такой зоне наблюдаются карстово-суффозионные процессы, вымывание находящихся в основании насыпей карбонатных пород поверхностными и подземными водами, а также суффозия грунтов [1, 2].

В настоящее время для изучения свойств грунтов земляного полотна и подстилающего основания осуществляют полевые и лабораторные исследования как отобранных на этапе инженерных изысканий проб, так и в полевых условиях, с применением методов штамповых испытаний, статического и динамического зондирования, установок динамического нагружения, лазерного сканирования, а также геофизических методов (георадиолокация, электроразведка, сейсмоакустика и т.д.).

Вместе с тем существует необходимость выполнения планового мониторинга за объектами завершеного строительства в период их эксплуатации с получением непрерывной информации по состоянию

грунтов в разные периоды года на всем протяжении участков, особенно с образовавшимися дефектами дорожного покрытия (трещины, просадки, колееобразование, выбоины и т.д.).

По мнению автора данной статьи, одним из методов исследований, который целесообразно использовать в этих условиях, является неразрушающий высокопроизводительный георадиолокационный метод. С помощью такого метода можно оценить динамику происходящих процессов, глубину промерзания и оттаивания грунтов, выявить ослабленные (разуплотненные и переувлажненные зоны) в грунтах земляного полотна и грунтовом основании, зоны пучинистых и просадочных деформаций, оценить направления миграции подземных вод и т.д.

Полученные георадиолокационными методами радарограммы в разные периоды года позволяют по выявленным ослабленным зонам прогнозировать возможные просадки на поверхности дорожной одежды, изменение поперечной и продольной ровности. Все перечисленное особенно эффективно на закарстованных территориях. В настоящее время можно констатировать, что результаты георадиолокационных мониторинговых обследований автомобильных дорог на закарстованной территории в публикациях встречаются очень редко, в то время как карстообразование имеет свои особенности в разных природно-климатических и грунтово-гидрогеологических условиях [3-5].

Относительно глубин местоположения карстовых разуплотненных зон и пустот можно констатировать, что в среднем на территории Российской Федерации они находятся на глубине 30-40 м. Однако в разных природно-климатических и грунтово-гидрогеологических условиях такие зоны могут находиться как на меньших (например, Архангельская область), так и больших глубинах [4-6].

Известен опыт выполнения комплексных геофизических исследований (сейсмоакустика, электротомография, георадиолокация), выполненных ООО «Геотех» [6], на участках Горьковской железной дороги, где был использован георадар серии «ОКО-2М» с антенным блоком АБ-250, с помощью которого удалось выполнить разведочные работы и обнаружить нарушение структуры массива грунтов и разуплотненные зоны на глубине до 8 м.

Что касается применения на современном этапе отечественных контактных георадаров серии «ОКО-2М», следует отметить георадар «Тритон М» с центральной частотой 25 МГц, который позволяет выполнить зондирование на глубину 22 м.

По данным [4, 5], георадары с резистивно-нагруженными антеннами (Лоза-1Н, 25 МГц) позволяют достигать глубин до 30 м – несколько

больше, чем георадары серии «ОКО». В публикациях приведены примеры выполнения георадарных работ на закарстованной территории вдоль железной дороги Москва-Нижний Новгород (глубина до 40 м), Боровицкая площадь в Москве (глубина 30 м), на Северном Кавказе (берег Черного моря) [4, 5].

Таким образом, в рамках проведения разведочных работ возникает необходимость выполнения натуральных наблюдений на участках автомобильных дорог, проходящих по закарстованной территории с использованием контактных георадаров серии «ОКО».

Рассмотрим результаты исследований, цель которых заключалась в определении (по результатам георадиолокационных мониторинговых работ) состояния закарстованного основания насыпей на участке автомобильной дороги М-8 «Холмогоры» в Архангельской области.

При этом по результатам карстологического мониторинга георадарными методами требовалось решить ряд задач, в том числе:

1. выполнить георадиолокационное профилирование в разные периоды года (весна, лето, осень) антенными блоками с различной центральной частотой на одних и тех же участках дорог;
2. сопоставить и проанализировать полученные результаты;
3. установить признаки закарстованных и просадочных зон на радарограмме;
4. определить эффективный период выполнения георадиолокационных работ в годичном цикле;
5. выявить наиболее приемлемые для этих целей центральные частоты георадаров серии «ОКО»;
6. оценить эффективность георадиолокационного мониторинга для выполнения разведочных (по поверхностным признакам на глубинах инженерных изысканий) и мониторинговых работ на закарстованной территории.

Данная статья подготовлена по материалам отчета, выполненного по договору с Управлением «Архангельскавтодор». Работы были проведены в 2001-2002 гг., результаты исследований публикуются впервые.

## *Характеристика объекта исследований и методика выполнения работ*

Георадиолокационные работы проводились на участке федеральной автомобильной дороги М-8 «Холмогоры», проходящем по береговому склону р. Северная Двина в Виноградовском районе Архангельской области. Большая часть площади района покрыта карбонатными породами (доломиты, известняки, мел), способными растворяться в воде с последующим выносом фильтрационным потоком. Результаты суффозии наблюдаются здесь достаточно часто, особенно на участках речных долин и береговых склонов.

Большая часть территории данного проблемного участка (протяженность 1,4 км) сложена из карбонатных пород, способствующих развитию карстовых процессов. Дорога была проложена в насыпи, высота которой составляла от 0,5 до 2,5 м, в среднем – около 1,2 м. Грунт под телом насыпи – песок пылеватый. Сток поверхностных вод на отдельных участках в полосе отвода был не обеспечен. К основанию откосов насыпи часто подходили воронки и блюдца, образованные карстовыми процессами. Опасения работников дорожных эксплуатационных служб были связаны с большим количеством провальных поверхностных форм в пределах придорожной полосы и полосы отвода и их возможным влиянием на техническое состояние автомобильной дороги (**рис. 1**).



*Рис. 1. Провальные поверхностные формы в пределах придорожной полосы и полосы отвода автомобильной дороги*

Наряду с карстовыми полостями просматривались процессы суффозии песчаного грунта, слагающего основание насыпи. С учетом высокого уровня грунтовых вод в условиях Архангельской области, достигающего поверхности земли, можно было бы ожидать наличие на небольших глубинах карстовых размывов, выявление которых возможно георадиолокационными методами.

Для определения изменений в элементах дорожной конструкции автомобильной дороги и геологическом строении прилегающей местности исследования проводились в различные периоды года. Непрерывное георадарное продольное профилирование выполняли на всем участке автомобильной дороги по правой полосе движения и по границам полосы отвода; кроме того, в местах заверочного бурения выполнялось детальное профилирование в поперечном направлении.

Мониторинговые георадиолокационные проходы осуществляли продольными проходами контактными георадаром «ОКО» с антенными блоками с центральной частотой 150, 250 и 400 МГц. Антенный блок буксировался оператором при скорости перемещения до 5 км/ч. Обработка радарограмм производилась в программе «GeoScan».

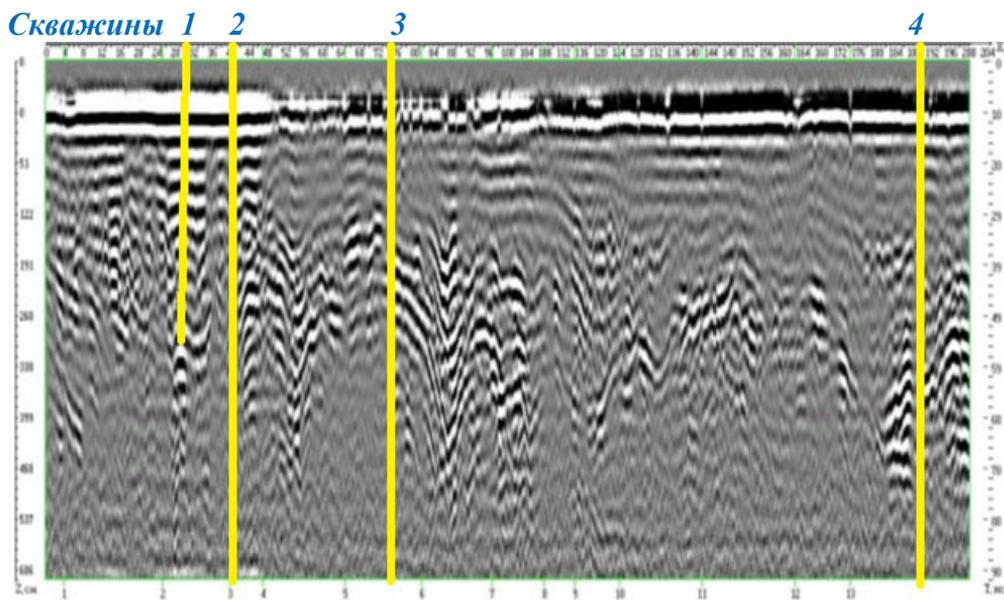
Ниже подробно рассмотрены результаты исследований трех участков протяженностью 200 м со следующей привязкой к пикетажу: № 1 – ПК 8 – ПК 10; № 2 – ПК 2 – ПК 4; № 3 – ПК 6 – ПК 8.

### *Результаты исследований*

Мониторинг, проводимый в течение 2-х лет, позволил выявить ряд существенных аспектов, не подлежащих идентификации традиционными методами или идентифицируемые ими, но на последней стадии своего развития, когда события могут принять необратимый характер.

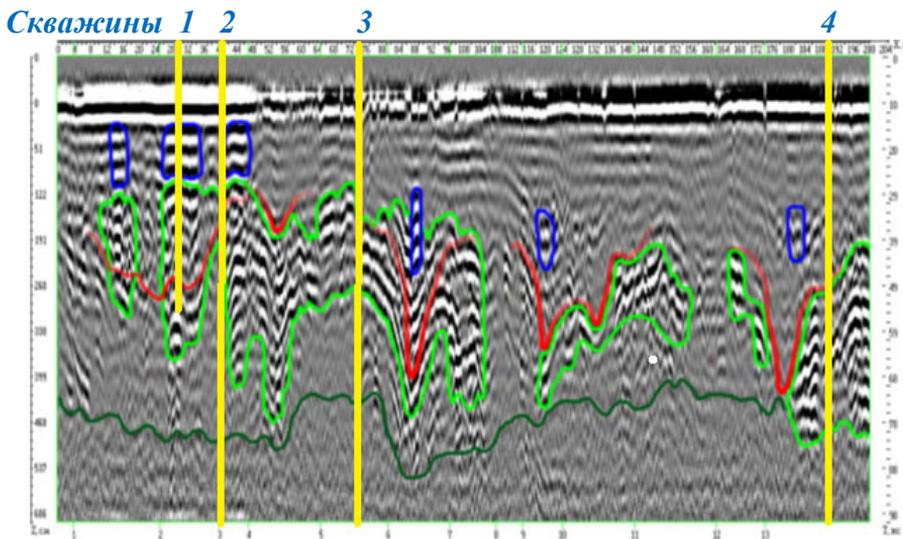
Наиболее характерное проявление закарстованности грунтов основания насыпи можно проследить на участке № 1 протяженностью 200 м, на котором высота земляного полотна изменялась от 0,7 до 2,45 м. На протяжении всего участка в полосе отвода вдоль насыпи наблюдались сплошные карстовые воронки с зонами просадочных деформаций (особенно значительно их количество в начале участка). Вследствие деформаций на покрытии были обнаружены раскрытые поперечные трещины, просадки и разрушения покрытия. Продольная ровность по данным толчкомера составляла 235 мм, что несколько превысило предельно допустимое значение 230 мм.

На **рис. 2** и **3** показаны соответственно обработанная и интерпретированная радарограммы, полученные с помощью антенного блока АБ-400 в сухое время года (начало августа) в солнечную погоду.



*Рис. 2. Обработанная радарограмма продольного прохода георадара с антенным блоком АБ-400 на участке № 1 а/д М-8 «Холмогоры», протяженностью 200 м, август 2001 г.*

На **рис. 2** просматриваются зоны пустот разуплотненного грунта и известняковых жильных включений, по которым грунтовые воды пересекают основания насыпи, стекая в р. Северную Двину. На интерпретированной радарограмме (**рис. 3**) синим контуром были выделены ослабленные зоны (пустоты, разуплотненные зоны), зеленым контуром – границы известняка (грунтов с содержанием известняковой муки), красными линиями – предполагаемые контуры просадок грунта, вызванные карстообразованием на больших глубинах, желтые линиями – буровые скважины. Глубина залегания ослабленных зон (пустот) изменялась от 1 до 4 м от поверхности покрытия. Ниже ослабленных зон (пустот) зафиксированы зоны разуплотненного грунта. Места фиксации поперечных трещин достаточно хорошо согласуются с карстовыми воронками и разуплотненными зонами. Средняя глубина затухания сигнала составила 4,5 м.



*Рис. 3. Интерпретированная радарограмма продольного прохода георадара с антенным блоком АБ-400 на участке № 1 а/д М-8 «Холмогоры», протяженностью 200 м, август 2001 г.*

В целях уточнения местоположения пустот было выполнено сначала ручное колонковое бурение на глубину до 3 м (скважина 1). Размеры обнаруженных пустот (по характерному провалу ручного бура) имели площадь в плане от 4 до 8 м<sup>2</sup> и толщину 0,3...0,8 м (на рис. 3 вторая зона выделенных пустот на расстоянии 26-34 м от начала профиля). В зонах просадки грунта зафиксирована аномалия скорости, которая была интерпретирована как пустота. При этом следует отметить, что такое явление наблюдалось независимо от времени года.

По результатам механического шнекового бурения (скважины 2, 3, 4), проведенного позднее сотрудниками института «Севдорпроект», в начале участка № 1 на глубине от 1,0 до 3,0 м от поверхности покрытия был зафиксирован разуплотненный песок пылеватый, влажность которого не превышала 7,9 % (по массе). Песчаные грунты в основании насыпи и включения известняков позволили получить качественную радарограмму. По результатам бурения в конце участка до глубины 13,5 м от поверхности покрытия были вскрыты песок мелкий и супесь, за исключением того, что на глубине от 6,0 до 7,5 м и 8,0 м обнаружен легкий тугопластичный суглинок с гравием известковым. На глубине 13,5 м и ниже был обнаружен известняк.

На всех проблемных участках, выявленных по результатам георадарных работ, было выполнено пять буровых скважин с помощью шнеков на глубину от 12,2 м до 20,8 м. На глубинах от 12,2 м до 15,3 м был обнаружен известняк. При этом к размываемым породам, зафиксированным в скважинах, можно отнести супесь и суглинков мергелистые с прослойками известняка, которые были определены на глубинах от 3,6 до 9,2 м. На одном из участков по результатам буровых работ на глубине от 10,5 м до 17,0 м был вскрыт фильтрационный поток, так как была обнаружена супесь в заплывшем состоянии, ниже которой зафиксирована супесь легкая мергелистая.

Можно заключить, что просадочные деформации, обнаруженные георадарами на глубинах до 4,5 м, являются результатом суффозии грунтов и процессов карстообразования на больших глубинах.

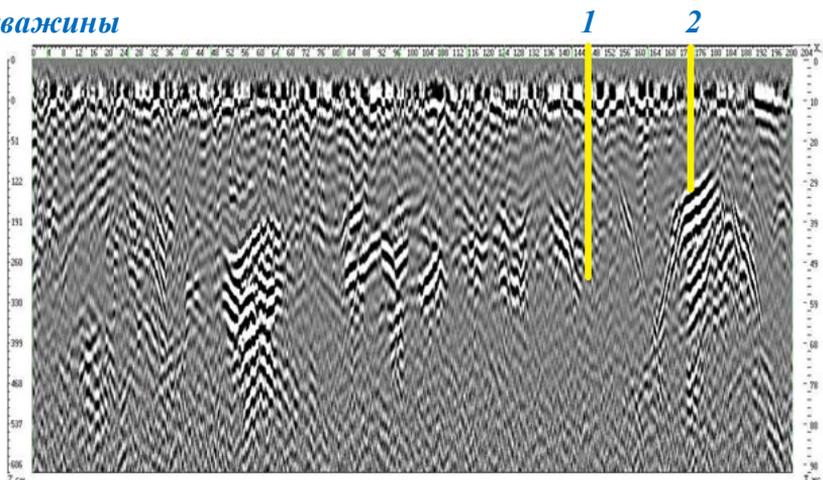
### *Сопоставление и анализ полученных результатов в разные периоды года*

В процессе выполнения работ было обращено внимание на различное качество радарограмм, полученных в разное время года. На **рис. 4, 5 и 6** приведены радарограммы, полученные по результатам продольных проходов георадара на участке 2 протяженностью 200 м с помощью антенного блока АБ-400 летом (август 2001 г.), в конце зимы (начало марта 2002 г.) и весной (конец апреля 2002 г.).

На участке № 2 высота земляного полотна изменялась от 0,85 до 1,85 м. На протяжении всего участка с правой стороны в полосе отвода наблюдались карстовые воронки и блюдца, в конце участка была зафиксирована карстовая воронка глубиной до 5 м. Кроме того, по всей длине участка на покрытии наблюдались поперечные трещины, неровности и разрушения. Продольная ровность по данным толчкомера составляла 385-390 мм, что значительно превысило предельно допустимое значение 230 мм.

Результаты показали, что лучшее качество радарограмм было получено в конце зимы (**рис. 5**), несколько хуже – в начале весны (конец апреля) (**рис. 6**), а самое низкое качество было зафиксировано летом (август) (**рис. 4**) при просохших грунтах земляного полотна и песчаного основания. Следует отметить, что песчаные грунты, слагающие основание насыпи, отличаются небольшим влагонакоплением за счет их фильтрационной способности, тем не менее, различие в радарограммах было заметно, хотя не столь существенно, например, как можно было бы ожидать в пылеватых суглинистых и глинистых грунтах, которые отличаются большим водонасыщением.

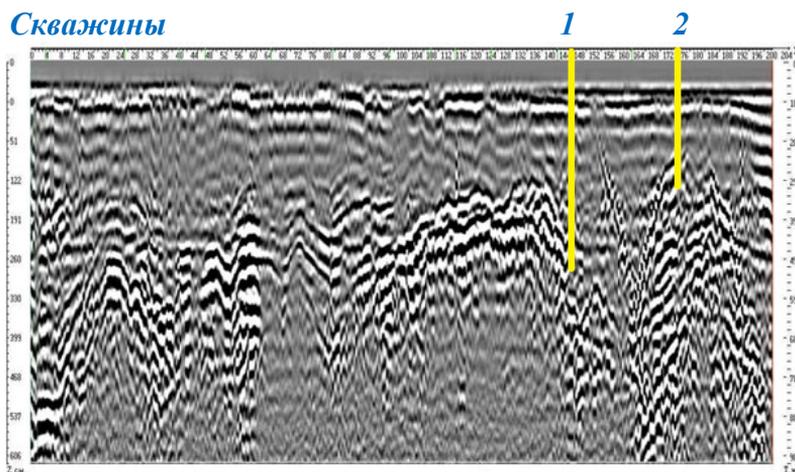
## Скважины



*Рис. 4. Радарограмма продольного прохода георадара с антенным блоком АБ-400 по границе полосы отвода на участке № 2 а/д М-8 «Холмогоры» протяженностью 200 м, август 2001 г.*

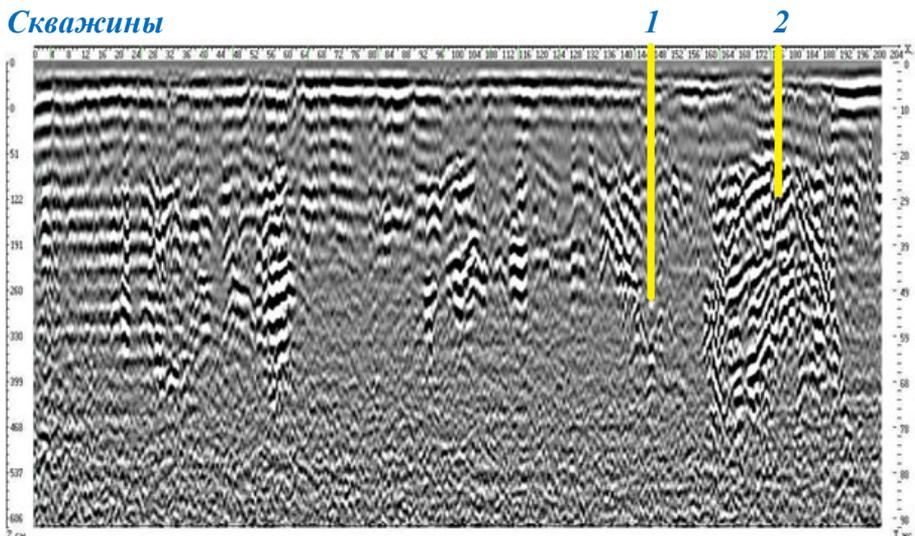
В марте месяце днем в солнечный день температура воздуха близка к 0 °С, грунты земляного полотна находятся в мерзлом состоянии, глубина промерзания достигает 3 м от поверхности покрытия, грунтовые воды максимально удалены от поверхности земли, что и обуславливает требуемое высокое качество радарограмм и их глубинность.

## Скважины



*Рис. 5. Радарограмма продольного прохода георадара с антенным блоком АБ-400 на участке № 2 а/д М-8 «Холмогоры» протяженностью 200 м, март 2002 г.*

## Скважины



**Рис. 6. Радарограмма продольного прохода георадара с антенным блоком АБ-400 на участке № 2 а/д М-8 «Холмогоры» протяженностью 200 м, апрель 2002 г.**

На **рис. 5** значительно четче просматриваются линии синфазности, больше глубинность прохождения и отражения сигнала, лучше выделяются ослабленные зоны, что косвенно подтверждается и скоростью прохождения сигнала в верхнем слое песка пылеватого. Одновременно хотелось бы отметить, что есть некоторые сомнения, что точно такой же вывод можно было бы сделать при суглинистых грунтах, слагающих основание насыпи.

В целях определения скорости прохождения сигнала в песке пылеватом в различные периоды года с учетом зафиксированного известнякового камня в скважине 2 на расстоянии 175 м от начала профиля и глубине 1,1 м от поверхности покрытия расчетным путем были получены следующие результаты (**табл. 1**).

**Таблица 1**

**Скорость прохождения сигнала в слое песка пылеватого в разные месяцы года, см/нс**

<i>Август</i>	<i>Март</i>	<i>Апрель</i>
4,2	6,3	5,5

Максимальная скорость прохождения сигнала в слое песка пылевато-ватого 6,3 см/нс, зафиксированная в марте месяце, косвенным образом подтверждает самое высокое качество радарограмм.

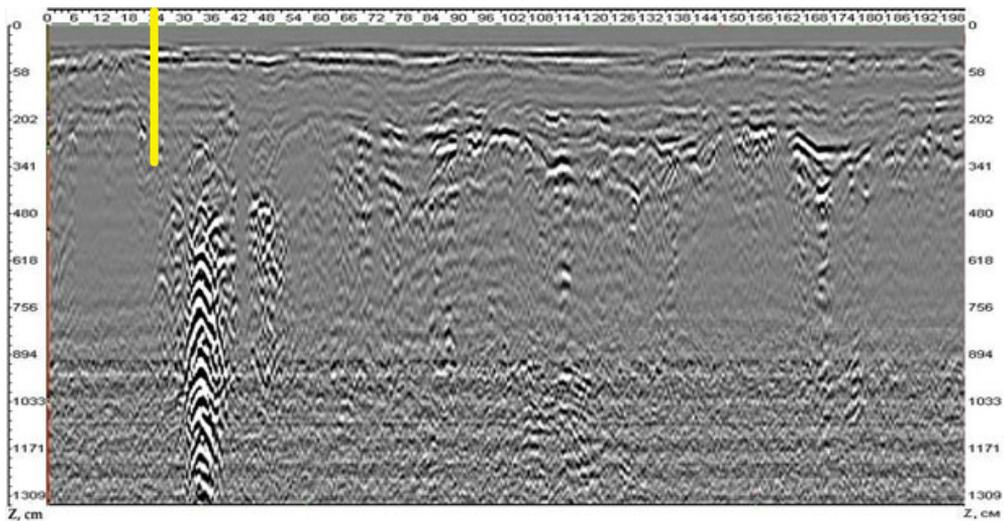
Радарограммы, записанные с помощью антенного блока АБ-250 в апреле и октябре 2002 г., показали увеличение глубины более чем в 2 раза и хорошую повторяемость верхней части радарограмм, зафиксированных ранее антенным блоком АБ-400.

Таким образом, сезонность выполнения обследований, температура и влажность грунта земляного полотна оказывают существенное влияние на качество радарограмм, так как изменяется проводимость и поглощение электромагнитного сигнала. При этом песчаные грунты, служащие основанием насыпи, являются благоприятными дренирующими грунтами и имеют незначительную влажность в сравнении со связными пылеватыми грунтами (суглинки и глины).

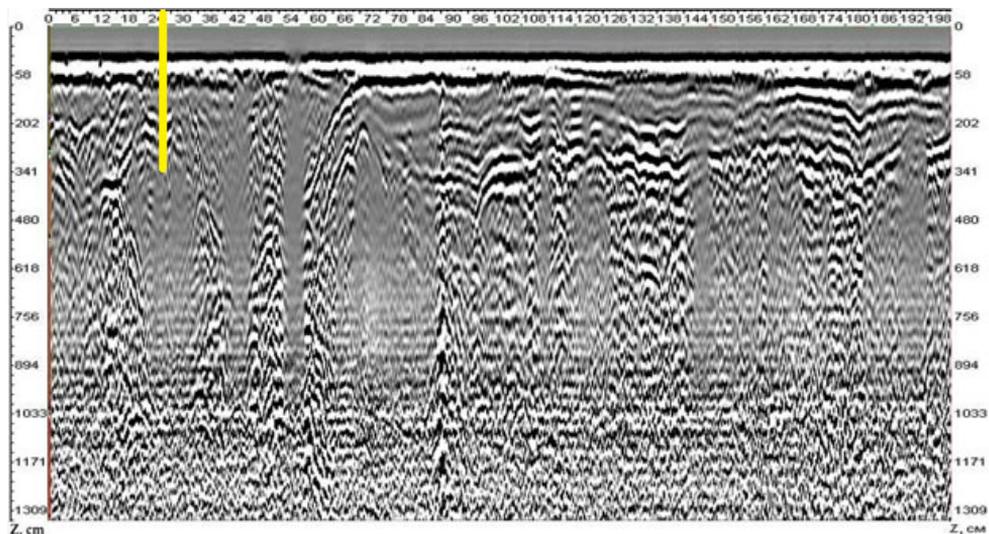
### *Сопоставление и анализ полученных результатов антенными блоками с разной центральной частотой*

Результаты георадиолокационных работ, выполненные антенным блоком АБ-400, показали, что максимальная глубина зондирования в течение года в относительно сухих песчаных грунтах при записи с диэлектрической проницаемостью 4,5 составила от 4,0 до 6,0 м, что явно недостаточно на закарстованной территории. В связи с чем на следующий год работы выполнялись антенным блоком АБ-250 (**рис. 7** и **рис. 8**) и проходящим опытную проверку в 2002 г. антенным блоком АБ-150.

На участке № 3 высота земляного полотна изменялась от 0,7 до 1,85 м. В начале участка находится водопропускная труба, требующая ремонта. Поверхностный водоотвод не обеспечен. На границе полосы отвода на протяжении 200 м замечена только одна карстовая воронка в начале участка. На покрытии зафиксированы раскрытые поперечные и продольные трещины, а также просадки на отдельных участках. Продольная ровность по данным толчкомера составляла 185-195 мм, что не превысило предельно допустимое значение 230 мм.



*Рис. 7. Радарограмма продольного прохода георадара с антенным блоком АБ-250 на участке № 3 а/д М-8 «Холмогоры» протяженностью 200 м, апрель 2002 г.*



*Рис. 8. Радарограмма продольного прохода георадара с антенным блоком АБ-250 на участке № 3 а/д М-8 «Холмогоры» протяженностью 200 м, октябрь 2002 г.*

Большая информативность получена на октябрьской радарограмме (рис. 8).

На рис. 7 и рис. 8 приведены обработанные радарограммы, полученные по результатам продольных проходов георадара на участке № 3 протяженностью 200 м с помощью антенного блока АБ-250. Следует отметить, что с глубины 9,5-10 м с появлением связных пылеватых грунтов качество записи несколько снижается. Повторяемость включений в грунтах и выявленных ослабленных зон очень хорошо просматривалась на полученных радарограммах. Максимальные глубины на радарограммах, достигнутые различными антенными блоками при диэлектрической проницаемости 4,5, составили: АБ-400 – 6,00 м; АБ-250 – 13,00 м; АБ-150 – 13,50 м.

На данных радарограммах, записанных антенным блоком АБ-250, достигается большая глубинность сканирования (13,00 м), лучше просматриваются линии синфазности, яснее видна граница перехода от песчаного грунта к суглинистым и супесчаным грунтам, чем на радарограммах, полученных с помощью антенного блока АБ-400. Одновременно ослабленные зоны из-за более низкой разрешающей способности хуже просматриваются на радарограммах, записанных антенным блоком АБ-250, и еще меньше – АБ-150.

Наиболее оптимальным из применяемой линейки частот при выполнении работ показал себя георадар серии «ОКО» с комплектом антенных блоков АБ-400 и АБ-250. Антенный блок АБ-150 на тот период времени требовал доработки.

### *Результаты обследований*

По результатам мониторинговых работ была составлена следующая итоговая таблица (табл. 2).

**Таблица 2**

### *Результаты обследований*

<i>№</i>	<i>Характеристика участка дороги</i>	<i>Длина, м</i>
<i>1</i>	В полосе отвода – карстовые воронки, в дорожной конструкции – просадочные деформации и разуплотненные грунты	740
<i>2</i>	В дорожной конструкции – разуплотненные грунты	340
<i>3</i>	Не обнаружены разуплотненные зоны и деформации грунтов земляного полотна и основания насыпи	320

Просадочные деформации, обнаруженные в процессе исследований георадарами «ОКО», являются результатом суффозии грунтов и процессов карстообразования на больших глубинах.

Следовательно, георадары серии «ОКО» могут быть использованы в комплексе с другими геофизическими методами для выполнения разведочных (по поверхностным признакам на глубинах инженерных изысканий) работ [6].

По данным [4, 5], георадары с резистивно-нагруженными антеннами (Лоза-1Н, 25 МГц) позволяют достигать глубин до 30 м, что обеспечивает возможность их применения при мониторинговых работах на закарстованной территории.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

По результатам георадарного профилирования в основании насыпи были обнаружены признаки закарстованной территории: массивы известняка (грунтов с содержанием известняковой муки) и участки, подверженные суффозии. В теле насыпи были зафиксированы подвижки грунта, зоны просадки грунта и зоны с пониженной плотностью материала насыпи, что было подтверждено бурением. Кроме того, при бурении был вскрыт фильтрационный поток.

Результаты георадарных работ в разные периоды года показали, что при песчаных грунтах в основании насыпи лучшее качество радарограмм было получено в конце зимы при мерзлых грунтах, несколько хуже в начале весны при центральной частоте 400 МГц.

При выполнении работ использовались георадары «ОКО» с центральной частотой 400, 250 и 150 МГц. На радарограммах, записанных антенным блоком АБ-250, лучше просматриваются линии синфазности, больше глубинность прохождения и отражения сигнала, чем на радарограммах, полученных с помощью антенного блока АБ-400, одновременно из-за худшей разрешающей способности на радарограммах меньше просматриваются ослабленные зоны.

Максимальная глубина георадарного зондирования составляет 30 м. Георадары могут быть использованы как самостоятельно, так и в комплексе с другими геофизическими методами для выполнения разведочных (по поверхностным признакам на глубинах инженерных изысканий) и мониторинговых работ на закарстованной территории.

В ходе мониторинга в течение 2-х лет не удалось обнаружить по радарограммам существенных изменений в геологической структуре участка за период наблюдений. Это свидетельствует либо о недостаточ-

ности периода 2-х годичного мониторинга (медленное развитие карстовых процессов), либо о стабильности карста и возможности дальнейшей безаварийной эксплуатации объекта при соблюдении ряда эксплуатационных рекомендаций. На основании данного анализа было предложено продолжить мониторинговые георадарные работы, дополнив их использованием других геофизических методов.

В отчете, подготовленном по результатам работ, было рекомендовано обнаруженные пустоты на глубинах инженерных изысканий заполнить песчано-цементным раствором. В целях предотвращения дальнейшего развития суффозии на отдельных участках было предложено восстановить систему продольного и поперечного водоотвода, выполнить ремонтные работы.

## **ЛИТЕРАТУРА**

1. *Аникеев А.В. Провалы и воронки оседания в карстовых районах: механизмы образования, прогноз и оценка риска: монография / А.В. Аникеев. – М.: РУДН, 2017. – 328 с.*
2. *Рекомендации по проведению инженерных изысканий, проектированию, строительству и эксплуатации зданий и сооружений на закарстованных территориях Нижегородской области / Департамент градостроительного развития территории Нижегородской области. – Нижний Новгород, 2012. – 139 с.*
3. *Самосват В.В. Современные проблемы обеспечения механической безопасности земляного полотна при проектировании автомобильных дорог на закарстованных территориях / В.В. Самосват // ДОРОГИ И МОСТЫ. – 2020. – № 44/2. – С. 31-52.*
4. *Набатов В.В. Оценка карстово-суффозионной опасности с помощью георадаров с резистивно-нагруженными антеннами / В.В. Набатов, П.А. Морозов // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2013. – № 8. – С. 83-88.*
5. *Морозов П.А. Перспективы применения георадаров для исследования процессов карстообразования и оползней / П.А. Морозов, В.А. Волков, В.В. Копейкин // Разведка и охрана недр. – 2012. – № 7. – С. 47-51.*
6. *Монахов В.В. Применение современных геофизических технологий для изучения карстоопасных территорий / В.В. Монахов, В.И. Овчинников, А.А. Иванов [и др.] // Разведка и охрана недр. – 2008. – № 12. – С. 29-33.*

## LITERATURA

1. *Anikeev A.V. Provaly i voronki osedaniya v karstovykh rajonah: mekhanizmy obrazovaniya, prognoz i ocenka riska: monografiya / A.V. Anikeev. – M.: RUDN, 2017. – 328 s.*
2. *Rekomendacii po provedeniyu inzhenernykh izyskanij, proektirovaniyu, stroitel'stvu i ekspluatacii zdaniy i sooruzhenij na zakarstovannykh territoriyah Nizhegorodskoj oblasti / Departament gradostroitel'nogo razvitiya territorii Nizhegorodskoj oblasti. – Nizhnij Novgorod, 2012. – 139 s.*
3. *Samosvat V.V. Sovremennye problemy obespecheniya mekhanicheskoy bezopasnosti zemlyanogo polotna pri proektirovanii avtomobil'nyh dorog na zakarstovannykh territoriyah / V.V. Samosvat // DOROGI I MOSTY. – 2020. – № 44/2. – S. 31-52.*
4. *Nabatov V.V. Ocenka karstovo-suffozionnoj opasnosti s pomoshch'yu georadarov s rezistivno-nagruzhennymi antennami / V.V. Nabatov, P.A. Morozov // Gornyj informacionno-analiticheskij byulleten'. – 2013. – № 8. – S. 83-88.*
5. *Morozov P.A. Perspektivy primeneniya georadarov dlya issledovaniya processov karstoobrazovaniya i opolznej / P.A. Morozov, V.A. Volkov, V.V. Kopejkin // Razvedka i ohrana nedr. – 2012. – № 7. – S. 47-51.*
6. *Monahov V.V. Primenenie sovremennykh geofizicheskikh tekhnologij dlya izucheniya karstoopasnykh territorij / V.V. Monahov, V.I. Ovchinnikov, A.A. Ivanov [i dr.] // Razvedka i ohrana nedr. – 2008. – № 12. — S. 29-33.*

---

### **GPR MONITORING OF ROAD SECTIONS IN KARST AREA**

*Doctor of Engineering, Professor **A.M. Kulizhnikov**  
(FAI «ROSDORNII»)*

*Contact information: [KulizhnikovAM@rosdornii.ru](mailto:KulizhnikovAM@rosdornii.ru)*

*The results of ground-penetrating radar (GPR) surveys of a road built in karst area in different periods of the year are presented and analyzed. Antenna units with a central frequency of 400, 250 and 150 MHz were used. Based on the results of the survey performed by the GPR «OKO», the conclusions on the effectiveness of performing GPR exploration works in karst area, the feasibility of carrying out a survey in different periods of the year are made;*

*the maximum depth of sounding with the determination of voids and decompacted zones is estimated.*

**Key words:** *karst, GPR (ground-penetrating radar), road, survey, depth of sounding, radarogram, frequency, monitoring.*

---

Рецензент: д-р техн. наук В.В. Глазунов (Санкт-Петербургский горный университет (СПГУ)).

Статья поступила в редакцию: 13.03.2022 г.