

## ГЕОРАДАРНЫЕ ОБСЛЕДОВАНИЯ ЛОКАЛЬНЫХ ОПОЛЗНЕВЫХ ДЕФОРМАЦИЙ НА ОТКОСАХ ЗЕМЛЯНОГО ПОЛОТНА АВТОМОБИЛЬНОЙ ДОРОГИ М-4 «ДОН»

Д-р техн. наук, профессор **А.М. Кулижников**,  
канд. техн. наук **Р.А. Еремин**  
(ФАУ «РОСДОРНИИ»)

Контактная информация: [kulizhnikov@rosdornii.ru](mailto:kulizhnikov@rosdornii.ru);  
[r.eremin@rosdornii.ru](mailto:r.eremin@rosdornii.ru)

*Рассмотрен опыт применения георадиолокационных технологий при обследовании оползневых деформаций на откосах земляного полотна автомобильной дороги М-4 «Дон». Представлена методика обследований. Приведены радарограммы, полученные по результатам продольных и поперечных проходов георадара на оползневых участках. Даны рекомендации по предотвращению оползневых деформаций.*

**Ключевые слова:** автомобильная дорога, земляное полотно, откосы, оползни, деформация, грунты, георадар, радарограмма.

В процессе эксплуатации автомобильной дороги М-4 «Дон» наблюдаются частые оползневые деформации откосов земляного полотна на участках высоких насыпей и глубоких выемок.

Георадиолокационные работы были выполнены сотрудниками ФАУ «РОСДОРНИИ» на проблемных участках упомянутой автомобильной дороги в Тульской и Липецкой областях, где произошло сползание откосов насыпи и внешних откосов выемки. При этом на отдельных обследуемых участках уже были проведены ремонтные работы по обеспечению устойчивости откосов.

Цель исследований заключалась в определении причин образования оползней на откосах земляного полотна на различных участках автомобильной дороги М-4 «Дон» и назначении мероприятий по устранению оползневых деформаций.

Круг задач исследований охватывал следующее:

- усовершенствование методики обследования откосов земляного полотна георадиолокационными методами на оползневых участках (с учетом конструктивных особенностей земляного полотна, времени года при выполнении работ, объемов оползневого массива и т.д.);
- оценку возможности проведения работ в зимний период при наличии снежного покрова;

- отработку технологии выполнения георадиолокационных работ на откосах земляного полотна;
- оценку результатов георадиолокационных исследований на различных участках;
- разработку рекомендаций по предотвращению оползневых деформаций.

Исследованиям оползневых склонов (откосов) посвящены многочисленные работы Э.М. Доброва, М.Н. Гольдштейна, А.А. Бартоломея, А.Н. Богомолова, И.В. Федорова, Г.М. Шахунянца и др. Однако применение методов георадиолокации в этих работах не рассматривалось. На сегодняшний день имеется очень мало публикаций, касающихся исследований оползневых деформаций георадиолокационными методами.

Первые георадиолокационные работы по оценке устойчивости откосов земляного полотна были выполнены в 2000-2002 гг. сотрудниками Архангельского государственного технического университета (АГТУ)<sup>1</sup> на территории Архангельской, Мурманской и Вологодской областей [1].

В работе АГТУ [2] были определены особенности амплитудно-частотных характеристик сигнала на оползневых участках автомобильных дорог.

В приложении к ОДМ 218.2.030-2013 [3] описана методика георадиолокационных исследований оползневых массивов, однако уровень ее детализации, по нашему мнению, строится на результатах единичных работ, что явно недостаточно для ее практического применения.

Методику обследования откосов земляного полотна, позволяющую спрогнозировать их местоположение и размеры по данным георадарной съемки, удалось разработать Р.А. Еремину в рамках своего диссертационного исследования [4]. При этом была сформулирована рабочая гипотеза, основанная на анализе амплитудно-частотных и фазовых характеристик отраженного сигнала в зонах развития характерных элементов оползневого массива. Однако рекомендации были получены на основе обследования откосов высокой насыпи только на одном участке автомобильной дороги М-5 «Урал» в Пензенской области в летний период.

С учетом изложенного выше пришли к выводу о целесообразности анализа результатов исследований, проведенных ФАУ «РОСДОРНИИ» в течение последних 15 лет на разных участках

---

<sup>1</sup> 8 июня 2010 г. официально зарегистрирован Северный (Арктический) федеральный университет, созданный на базе АГТУ.

насыпей и выемок на федеральной автомобильной дороге М-4 «Дон» (Тульской и Липецкой областях), в разное время года, при различных грунтово-гидрогеологических условиях.

Георадиолокационные исследования были проведены в течение четырех периодов времени, начиная с 2004 по 2017 гг. на четырех объектах (участках) автомобильной дороги М-4 «Дон» с помощью георадара «ОКО-2».

**Первый период исследований** (декабрь 2004 г. – январь и март 2005 г.) – участок автомобильной дороги М-4 «Дон» (км 273 – км 287 с ПК 55+00 до ПК 59+50) в Тульской области.

Объектом изучения были внешние откосы выемки по правой стороне. Длина участка составила 450 м. Температура воздуха – от  $-20^{\circ}\text{C}$  до  $-6^{\circ}\text{C}$ . Обследование выполнялось с использованием антенного блока АБ-90 путем непрерывных продольных проходов по внешней и внутренней бровкам земляного полотна, по полке и по основанию откоса, а также поперечных проходов через 50 м (протягивание антенного блока снизу вверх).

**Второй период исследования** (весна 2011 г., апрель) – проблемные участки автомобильной дороги М-4 «Дон» (км 330 – км 355, ПК 231-ПК 232) в Липецкой области.

Объектом обследования был откос насыпи высотой 6,44 м. Температура воздуха составила выше  $0^{\circ}\text{C}$ . В ходе работ был использован антенный блок АБ-150 путем продольного прохода по правой остановочной полосе на обочине земляного полотна.

На указанных участках автомобильная дорога проходит в насыпи высотой до 6,5 м. Земляное полотно возведено из суглинистых грунтов. В качестве подстилающих грунтов были выявлены глина и суглинок тяжелый пылеватый на глубину до 4,0 м.

**Третий период исследования** (осень 2015 г., ноябрь) – проблемные участки автомобильной дороги М-4 «Дон» (км 348 – км 349) в Липецкой области.

Объектом изучения были внешние откосы выемки глубиной от 7,0 до 8,5 м. Длина участка составила 1000 м. Температура воздуха – от  $-3^{\circ}\text{C}$  до  $+5^{\circ}\text{C}$ . Непрерывные продольные проходы по внешней бровке земляного полотна и по основанию откоса осуществлялись с помощью антенных блоков АБ-150, поперечные проходы – через 100 м протягиванием снизу вверх антенных блоков АБ-400.

**Четвертый период исследования** (осень 2017 г., октябрь) – проблемные участки автомобильной дороги М-4 «Дон» (км 372) в Липецкой области. В ходе работ использовались антенные блоки АБ-150 и АБ-400. Георадиолокационные работы выполнялись совместно с воздушным лазерным сканированием.

Объект обследования представлял собой локальный участок оползневых деформаций на откосе высокой насыпи и укрепленного конуса моста. Отмечались просадка высокой насыпи на 1,5 м и разрушение укрепленного конуса моста. Непрерывные продольные проходы по лотку разделительной полосы, правой обочине производили с помощью антенных блоков АБ-150 и АБ-400, а по основанию насыпи, основанию конуса насыпи и поперечный проход по откосу насыпи с помощью антенного блока АБ-150. Воздушное лазерное сканирование выполняли беспилотным летательным аппаратом по обеим сторонам земляного полотна автомобильной дороги пролетами в продольном направлении на высоте 40 м.

### *Оценка возможности проведения работ в зимний период при наличии снежного покрова*

Поставленная задача решалась в ходе работ на первом объекте в Тульской области. Первое георадарное обследование выполнялось антенным блоком АБ-90 продольными проходами в декабре 2004 г. при температуре воздуха  $-20^{\circ}\text{C}$  при толщине рыхлого снега 25-30 см на полке и внешней бровке выемки, что не позволило получить ожидаемых результатов. В слое рыхлого снега выделение переувлажненных зон и разуплотненных грунтов осуществить не удалось. Всего было записано 7 файлов при различной развертке.

Повторные измерения выполнялись через месяц в январе 2005 г., при температуре воздуха от  $-6^{\circ}\text{C}$  до  $-10^{\circ}\text{C}$ , когда снег был уже плотным, и толщина его слоя составляла не более 15-20 см, что позволило получить удовлетворительные результаты антенным блоком АБ-90 при развертке 200 и 400.

В третий раз георадарные работы тем же антенным блоком выполнялись поперечными проходами по откосам уже весной в начале марта 2005 г. при развертке 200 и 400, что позволило получить геологический разрез на разных глубинах. При этом откосы были очищены от снега (до очистки высота снежного покрова на отдельных откосах достигала 1 м).

Установлено, что георадарные работы в зимний период контактными антенными блоками АБ-90 могут быть выполнены как по очищенной поверхности от снега, так и при наличии уплотненного снежного покрова толщиной до 20 см.

На третьем объекте в 2015 г. работы производились по слою свежего мокрого снега толщиной не более 15 см. Было установлено, что при прилипанию снега к колесу датчика перемещения для обеспечения

вращения требуется его периодическая очистка. Однако при этом могут искажаться результаты измерений пройденного пути.

### *Отработка технологии выполнения георадиолокационных работ на откосах земляного полотна*

Отработку технологии осуществляли на всех четырех объектах исследования. Если с продольными проходами по основанию откоса, берме (при ее наличии) и верхней бровке земляного полотна не возникало вопросов, то выполнение поперечных проходов значительно затруднялось. В зонах обрушения и сползания грунта с откоса георадарные работы в поперечном направлении можно выполнить только на отдельных ненарушенных оползнем участках.

Коэффициенты заложения оползневых откосов земляного полотна на участках высоких насыпей и внешних откосах выемок составляют от 1:1 до 1:1,5. Высота насыпи и глубина выемки на таких участках, как правило, превышает 6 м и достигает иногда до 20 м. При этом сопровождение оператором антенного блока пешеходным буксированием при поперечных проходах становится практически невозможным.

Георадарную съемку в поперечном направлении целесообразно выполнять в летний период. Однако протягивание георадара в поперечном направлении достаточно сложный процесс. Самоспуск прибора сверху вниз, как правило, осуществляется очень быстро, но тогда возникает пропуск реализаций. Также возможно постоянное торможение антенного блока при его зацеплении за неровности поверхности. В этом случае оператор вынужден сдвигать антенный блок вниз, часто возвращаясь на откос. При этом рекомендуется использовать антенные блоки не на лыжах, а на колесной основе. При спуске чаще всего затруднено перемещение тяжелых антенных блоков (АБ-90, АБ-150), а легкие даже на лыжах (АБ-250, АБ-400) перемещаются вниз практически в один прием.

Целесообразным решением является перемещение антенного блока снизу вверх, что осуществляется находящимся на верхней бровке откоса оператором с помощью каната (веревки). Даже в этом случае оператору приходится передвигаться по откосу, отцепляя антенный блок на лыжах от выступов или сдвигая его в сторону от неровностей. При этом эффективнее использовать моноблоки на колесах, чем многокомпонентные георадары с антенным блоком на лыжах. Существенным фактором является размер колеса, чем оно больше, тем проще перемещать прибор. При протягивании снизу вверх возникают сложности при использовании тяжелых антенных блоков (АБ-90,

АБ-150), более предпочтительны легкие антенные блоки (АБ-250, АБ-400). При выполнении работ зимой рекомендуется применять антенные блоки на лыжах, так как при такой модификации упрощается протягивание снизу вверх.

Количество поперечных проходов георадара зависит от объема оползневого массива. При малой протяженности оползневого участка (до 50 м) поперечные проходы целесообразно выполнять через 5 м для получения детализированных пространственных данных и построения пространственной геологической модели. При большой протяженности оползневого участка (от 50 до 1000 м) поперечные проходы можно выполнять через 10-50 м пропорционально длине участка.

### *Оценка результатов георадарных работ на различных участках*

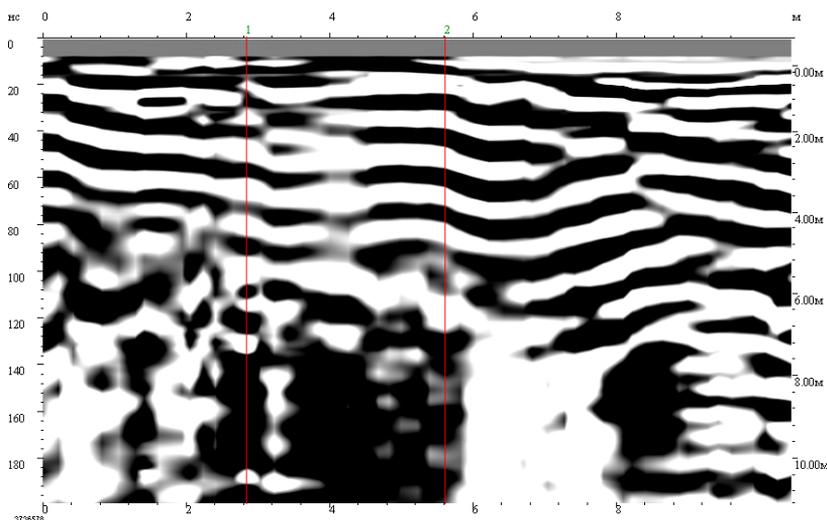
*Первый период исследования.* Согласно результатам продольных проходов георадара по основанию, бровке и полке выявлено неполное совпадение на радарограммах ослабленных зон по длине профиля. Полки устраивались примерно на середине откоса насыпи и располагались по длине участка на высоте от 3 до 5 м от подошвы внешнего откоса выемки.

Радарограммы в поперечном направлении записывались при следующих условиях: диэлектрическая проницаемость – 7, накопление – 16 и развертка – 200 и 400. При развертке 200 были получены менее информативные радарограммы по амплитудно-частотным характеристикам, а при развертке 400 – большие информативность и глубина разреза.

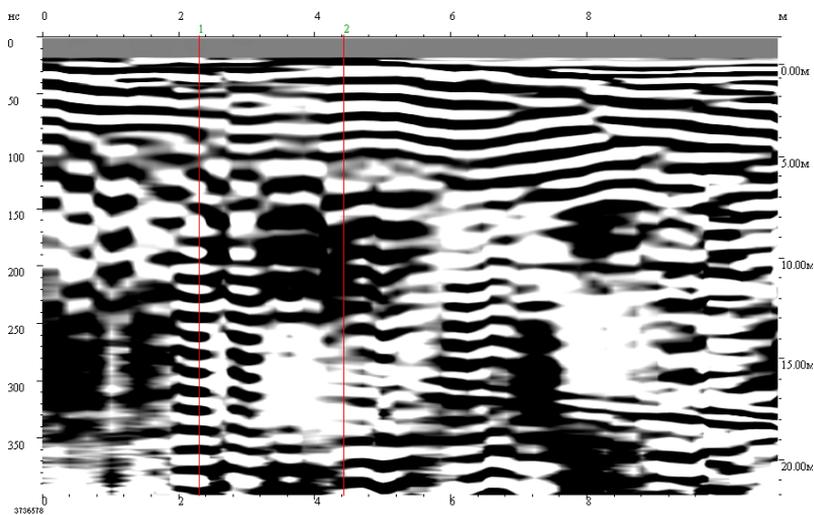
Пример радарограмм поперечных проходов при разной развертке приведен на **рис. 1, 2**. Следует отметить, что при продольных проходах на этом участке не были выделены ослабленные зоны.

По результатам георадарных съемок четко выявляется граница верхнего слоя грунта, на 8-метровой отметке профиля которого отмечаются разрывы и сдвиги линий синфазности, что может свидетельствовать о возможности отрыва антенны от поверхности контакта с грунтом откоса. Ниже верхнего слоя грунта по анализу частотных характеристик просматриваются ослабленные зоны грунта, чередующиеся с грунтом, находящимся в устойчивом состоянии. Выделить границу грунтовых вод не представляется возможным.

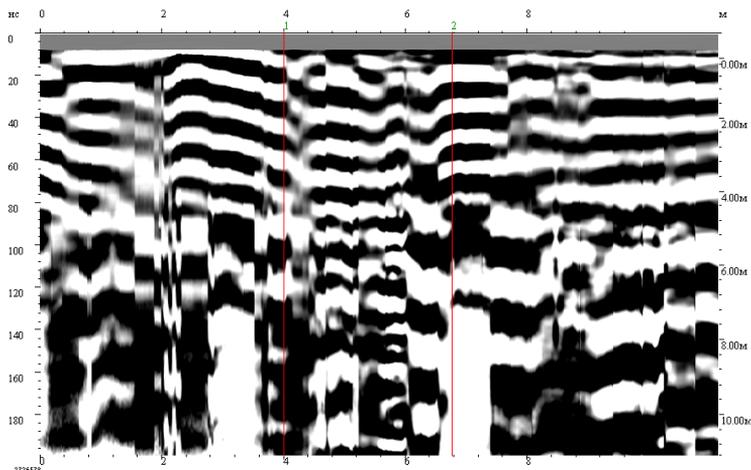
Пример других радарограмм поперечных проходов также при разной развертке приведен на **рис. 3, 4**. Следует отметить, что при продольных проходах по полке на этом участке были выделены ослабленные зоны.



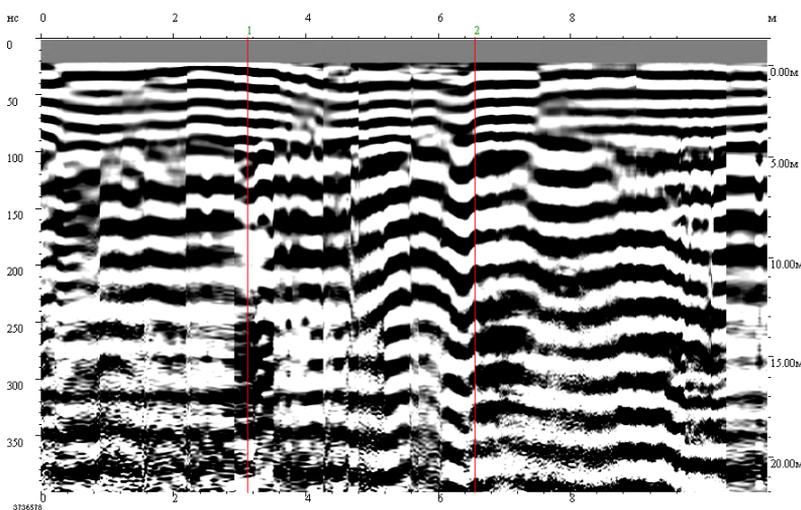
*Рис. 1. Радарограмма поперечного прохода по откосу снизу вверх на ПК 58+00 (развертка 200)  
 Метки (линии красного цвета):  
 1 – начало полки; 2 – конец полки*



*Рис. 2. Радарограмма поперечного прохода по откосу снизу вверх на ПК 58+00 (развертка 400)  
 Метки (линии красного цвета):  
 1 – начало полки; 2 – конец полки*



**Рис. 3. Радарограмма поперечного прохода по откосу снизу вверх на ПК 59+00 (развертка 200)**  
 Метки (линии красного цвета):  
 1 – начало полки; 2 – конец полки



**Рис. 4. Радарограмма поперечного прохода по откосу снизу вверх на ПК 59+00 (развертка 400)**  
 Метки (линии красного цвета):  
 1 – начало полки; 2 – конец полки

На полученных в ходе георадарных съемок радарограммах четко просматривается граница верхнего слоя грунта. При этом наблюдаются разрывы и сдвиги линий синфазности (особенно на полке между

метками 1-2), что может свидетельствовать как о возможности сдвига грунта, так и отрыве антенны от поверхности грунта. Ниже верхнего слоя грунта по анализу частотных характеристик просматриваются ослабленные зоны грунта (особенно при развертке 200). Возможная зона отрыва грунта наблюдается на стыке границы полки и нижней точки верхней части откоса. Выделить границу грунтовых вод не представляется возможным.

К причинам сползания откосов выемки можно отнести:

- большую крутизну откосов;
- свободную миграцию поверхностных и подземных вод в тело оползня;
- наличие неустойчивых к сдвигу переувлажненных грунтов в откосах выемки.

Устранение одной из причин сползания откосов с целью обеспечения их устойчивости может быть достигнуто путем реализации следующих мер:

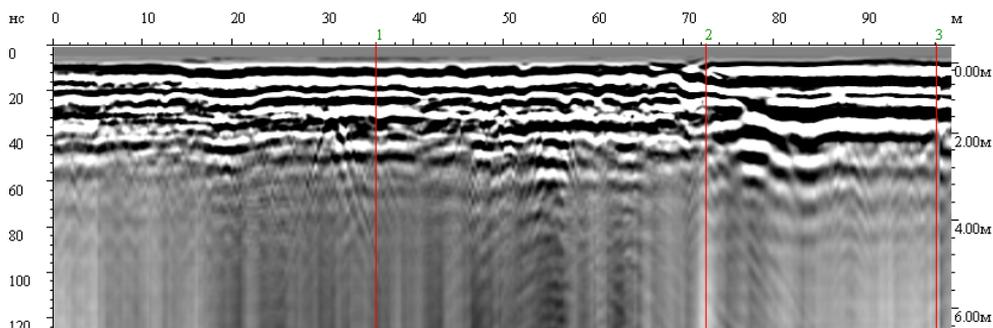
- уположивание откосов выемки до 1:1,75 (1:2) или устройство широкой бермы;
- предупреждение увлажнения поверхностными водами (укрепление откосов и дна нагорной канавы) и перехват дренажами глубоко заложения и отвод подземных вод;
- замена грунтов откосов или проведение укрепительных работ против сдвига грунта.

***Второй период исследования.*** Георадиолокационные работы на участке автомобильной дороги М-4 «Дон» в обход села Яркино (ПК 231-ПК 232). На данном участке произошло выпирание грунта земляного полотна и обрушение правой откосной части насыпи.

На радарограмме (**рис. 5**) на ПК 231+68...ПК 231+74 можно отметить разрыв и смещение линии синфазности в слоях дорожной одежды, с последующим существенным увеличением амплитуды и снижении частоты электромагнитного сигнала, что свидетельствует об ослаблении грунта (его сдвигах). Сдвиги грунта привели к сползанию правой откосной части насыпи.

Локальные разрывы и смещения линий синфазности (характеризующие сдвиг грунтов) отмечаются в земляном полотне по продольному профилю от ПК 231+00 до ПК 231+76, что свидетельствует о низком качестве дорожно-строительных работ или о необеспеченном водоотводе при строительстве.

На основе переотражения линий синфазности на участках ПК 231+46...231+50, ПК 231+54...231+58 и на ПК 231+62-231+65 выявлены ослабленные зоны грунта из-за инфильтрации подземных вод.

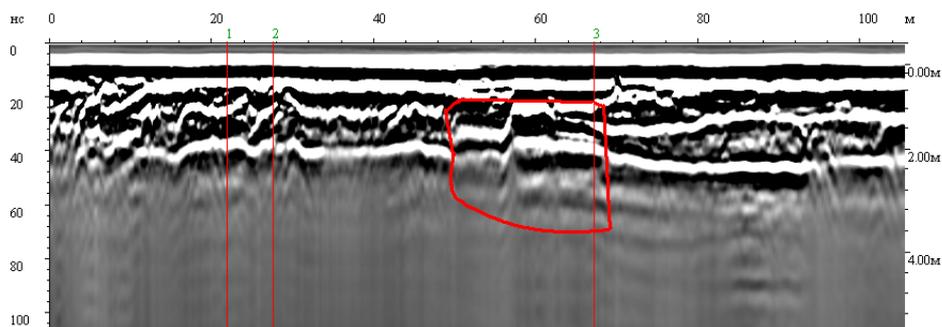


**Рис. 5. Радарограмма продольного прохода георадара по правой остановочной полосе с ПК 231 по ПК 232**

*Метки (линии красного цвета):*

*1 – лоток; 2 – лоток; 3 – конец фрезерования*

Георадарное обследование на участке автомобильной дороги М-4 «Дон» в обход г. Елец (ПК 25-ПК 27). На данном участке произошло сползание грунта правого откоса насыпи. На радарограмме (рис. 6) по ее основной протяженности с ПК 25+00 по ПК 26+00 можно отметить сплошную ослабленную зону грунта в насыпи.



**Рис. 6. Радарограмма прохода георадара по правой остановочной полосе**

*Метки (вертикальные линии красного цвета):*

*1 – километровый столб; 2 – лоток; 3 – лоток;  
контур красного цвета – ослабленная зона грунта*

На участке наблюдается разрыв линии синфазности в верхних слоях дорожной одежды и грунтах земляного полотна, что может быть

вызвано отсутствием строгой послойной отсыпки и уплотнения грунтов насыпи, а также сдвиговыми деформациями в основании насыпи.

Участок в худшем состоянии можно выделить на ПК 25+49...25+67, где зафиксирована ослабленная зона грунта (**рис. 6**, выделено красным цветом). В этой зоне отмечалась обильная инфильтрация подземных вод. Влияние активного источника подземных вод (ключа) наиболее четко заметно именно на этом участке (от ПК 25+56...25+62), где и произошло сползание откоса грунта, что также подтверждается характерными наклонами линий синфазности (ПК 25+62...25+90).

Переотражения линий синфазности, свидетельствующие о высокой влажности грунтов, были зафиксированы на ПК 25+68...ПК 25+92 м.

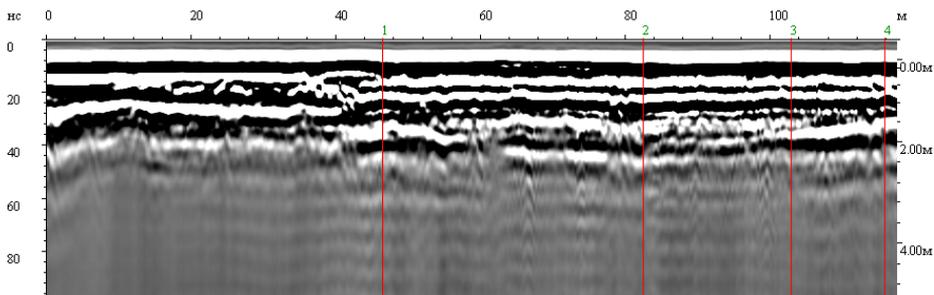
Согласно результатам георадарных работ, выпирание грунта на участке ПК 25+56...25+92 обусловлено избыточным увлажнением грунтов земляного полотна вследствие накопления подземных вод при продольной их инфильтрации. Сползание откоса, очевидно, произошло на участке откоса из-за некачественного уплотнения грунта земляного полотна или необеспеченном водоотводе при строительстве.

Кроме того, на участке ПК 26 – ПК 27 на дорожном покрытии произошло образование продольной трещины и обрушение правой откосной части насыпи. Первоначально предположили, что, возможно, это обусловлено действием источника подземных вод.

В целом основание насыпи избыточно увлажнено, так как характеризуется значительным переотражением волн практически на всем протяжении участка (**рис. 7**).

Разрывы линий синфазности, характеризующие сдвиги грунта земляного полотна, зафиксированы на ПК 26+40, ПК 26+62 (**рис. 7**). С ПК 26+62 по ПК 27+05 выявлена незначительная продольная просадка, из-за которой произошло сползание грунта правой откосной части. Продольная трещина на покрытии образовалась в результате сдвига грунта в поперечном направлении. Непосредственно под створом прохода георадара источник подземных вод (ключ) не был обнаружен.

По результатам выполненных работ пришли к заключению, что продольных проходов по верхней части земляного полотна недостаточно, так как не представляется возможным определить направления фильтрации подземных вод, вызывающих оползневые деформации откосов насыпей.



**Рис. 7. Радарограмма прохода георадара по правой остановочной полосе.**

*Метки (линии красного цвета):*

*1 – лоток; 2 – конец продольной трещины; 3 – ПК 27, 4 – лоток*

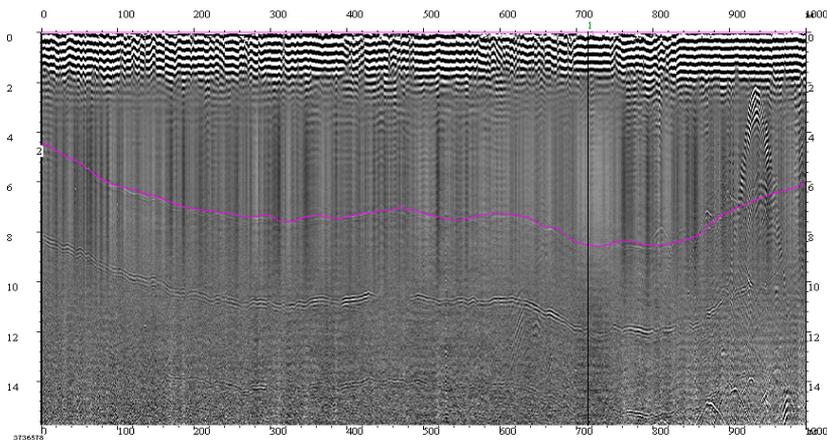
Для подтверждения выводов наряду с продольными проходами георадара целесообразно было выполнить и поперечные проходы по характерным створам, дополнительно осуществляя заверочное бурение для уточнения глубин заложения грунтов, отбор проб грунта ненарушенной структуры, а также определяя в лабораторных условиях виды грунтов, их физико-механические свойства (в том числе влажность и плотность). На многих из обследуемых участков требуется проведение мониторинговых работ (зондирование летом и осенью) во избежание нарушения устойчивости земляного полотна в процессе эксплуатации.

В качестве рекомендаций было предложено следующее

- перед устройством высоких насыпей или глубоких выемок проведение работ по инженерно-геологическому обеспечению, включающему детальное обследование грунтов основания (в том числе георадарами);
- выполнение контроля послойной отсыпки и уплотнения грунтов земляного полотна;
- более широкое применение технологии стадийного возведения высоких насыпей с консолидацией грунтов земляного полотна;
- устройство перехватывающих и осушительных дренажей.

**Третий период исследования.** Работы на автомобильной дороге М-4 «Дон» (км 348 – км 349), как и на первом этапе, проводились на внешних откосах выемки. При этом, несмотря на неоднократное укрепление откосов, на данном участке предупредить сползание грунтов не удалось. Радарограмма продольного прохода по бровке внешнего откоса выемки четко показывает уровень грунтовых вод на георадиолокационном разрезе с верхней стороны прямого направления

(правая сторона) (рис. 8). Это свидетельствует о том, что подземные воды оказывают влияние на оползнеобразование на внешних откосах выемки: просачиваясь по прослойкам, обладающим дренирующими свойствами, они питают по пленкам и капиллярам водой грунты, склонные к водонасыщению (глины и суглинки). Наличие грунтовых вод подтверждается и радарограммами поперечных проходоов по правой стороне (рис. 9).

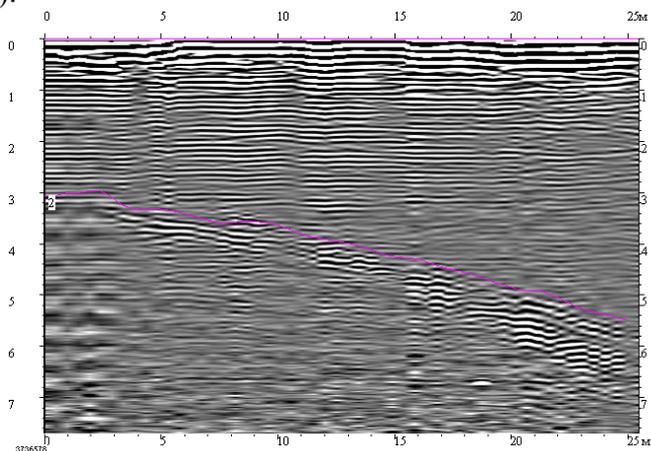


*Рис. 8. Радарограмма продольного прохода по правой бровке внешнего откоса выемки (линия фиолетового цвета – граница уровня грунтовых вод)*

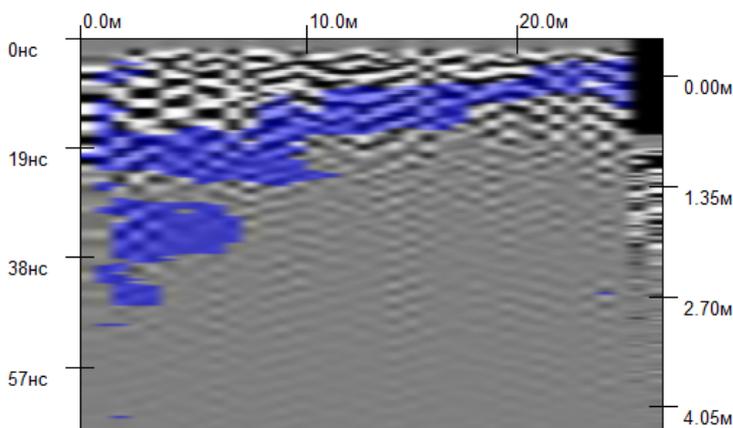
Как по продольным, так и по поперечным георадиолокационным разрезам удалось выявить ослабленные зоны (рис. 10), что показывает склонность внешних откосов выемок к образованию оползневых процессов. Обработка результатов георадиолокационного зондирования производилась при помощи программы «AnalyzeII», обеспечивающей выделение ослабленных зон, для которых характерно отклонение амплитуды и частоты электромагнитных колебаний сигнала от средних значений. При этом местоположение разуплотненных и переувлажненных грунтов характеризуется ослабленными зонами.

Наиболее опасной в отношении оползнеобразования является правая сторона автомобильной дороги, что обусловлено рельефом местности, направлением стока поверхностных и подземных вод, пространственной ориентацией относительно положения солнца. По правой стороне наряду с наблюдаемым оползнем на участке км 348+680 – км 348+750 можно выделить несколько отрезков в

неудовлетворительном состоянии ( км 348+200 – 348+270; км 348+800 – км 348+920).



**Рис. 9. Радарограмма поперечного прохода, км 348+900 по правому откосу**  
(линия фиолетового цвета – граница уровня грунтовых вод)



**Рис. 10. Радарограмма поперечного прохода на участке км 348+200 по правому откосу**  
(синим цветом – ослабленные зоны грунта)

Установлено, что основной причиной сползания внешних откосов выемки в прямом и обратном направлении являются подземные воды, оказывающие влияние на оползнеобразование на внешних откосах выемки за счет просачивания подземных вод в слагающие откосы и склонные к водонасыщению глины и суглинки.

Дополнительными факторами, вызывающими оползневое перемещение откосов, также являются:

- наличие грунтов в основании земляного полотна, склонных к влагонакоплению;
- нерегулируемый сток поверхностных вод с большой площади водосбора и миграция подземных вод, сбору которой способствует наличие пахотных земель и траншеи кабельной канализации АСУДД<sup>2</sup>;
- отсутствие перехватывающего дренажа, понижающего уровень подземных вод;
- большая высота внешнего откоса выемки, достигающая по правой стороне 10-12 м выполнена без устройства полок (берм);
- пространственная ориентация откоса относительно сторон света, вследствие чего в весенний период на правом внешнем откосе под естественным теплоизолятором (белый снег) верхняя часть откоса находится в замерзшем состоянии; одновременно средняя и нижняя часть откоса, состоящая из переувлажненного грунта, оттаивает и сползает из-за невозможности удерживать верхний промерзший слой грунта с массивом весеннего тяжелого снега.

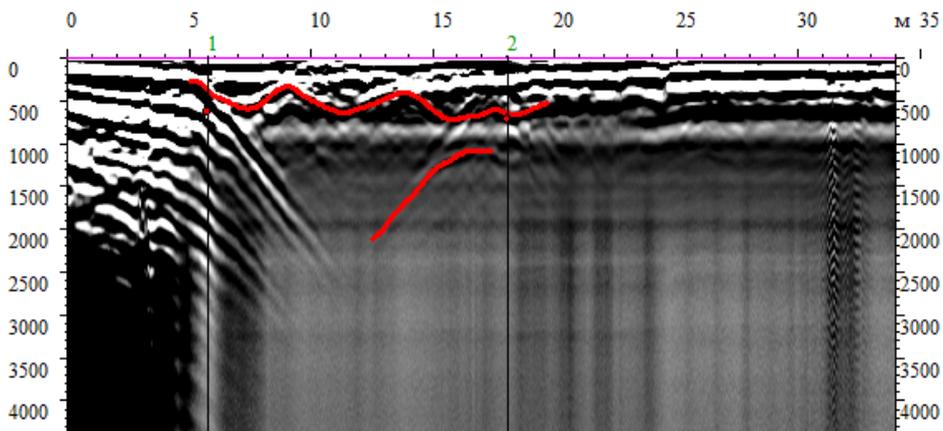
**Четвертый период исследования.** Полученные при помощи антенных блоков АБ-150 и АБ-400 радарограммы обочины (по ее части с асфальтобетонным покрытием) от деформационного шва по ходу пикетажа (**рис. 11**) показали проседание отражающих границ на фрагменте профиля.

По радарограммам по разделительной полосе по ходу пикетажа (**рис. 12**) удалось зафиксировать некоторое проседание отражающих границ (первый отрезок длиной 15 м), на фрагменте профиля от 6 до 7 м просматривается «звон», вызванный миграцией поверхностных вод, проникающих через трещины в слое асфальтобетона. На расстоянии 16-18 м от начала профиля по линиям синфазности отмечается пустота в зоне дождеприемного колодца ливневой канализации на разделительной полосе.

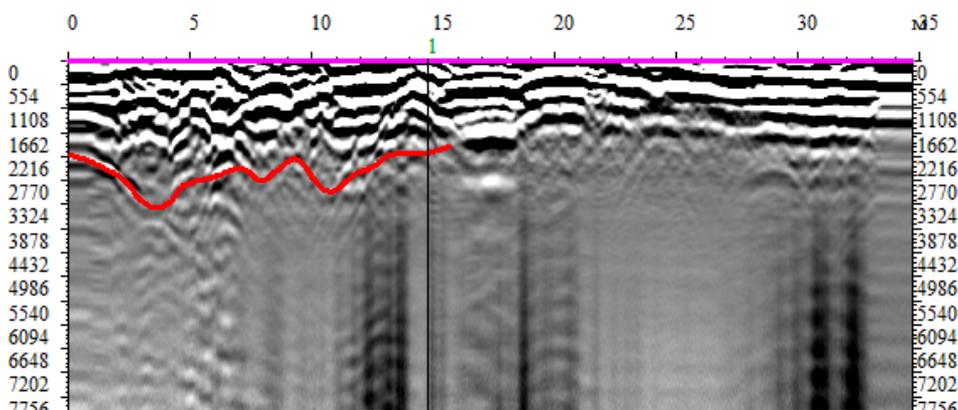
По радарограммам, зафиксированным проходами по бровке земляного полотна при частотах антенных блоков АБ-150 и АБ-400, из-за высокой влажности грунта земляного полотна в осенний период, не удалось получить достаточно информативных данных.

---

<sup>2</sup> АСУДД – Автоматизированная система управления дорожным движением.

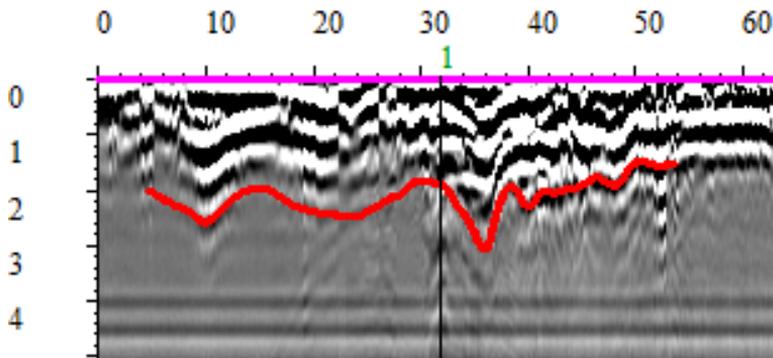


*Рис. 11. Радарограмма по части обочины с асфальтобетонным покрытием, правая сторона по ходу километража от деформационного шва (линии красного цвета – участки проседания отражающих границ)*



*Рис. 12. Радарограмма по разделительной полосе, прямое направление по ходу километража (линии красного цвета – участки проседания отражающих границ)*

Радарограмма по основанию насыпи вдоль подошвы укрепленного конуса с правой стороны по ходу километража к левой стороне (рис. 13) показала просадку отражающих границ на первых 50 м, что позволило интерпретировать границы оползня у подошвы насыпи.



*Рис. 13. Радарограмма по основанию насыпи с правой стороны насыпи в левую сторону (линии красного цвета – участки проседания отражающих границ)*

На радарограмме вдоль водоотводного лотка по ходу километража также зафиксированы проседания отражающих границ. На радарограмме по откосу от основания насыпи к бровке земляного полотна, где сигнал направлен перпендикулярно к наклонной плоскости откоса, опять-таки установлены проседающие границы. Но в данной зоне они могут характеризовать в большей степени не просадку насыпи, а области, связанные с отсыпкой земляного полотна и откосов разными грунтами.

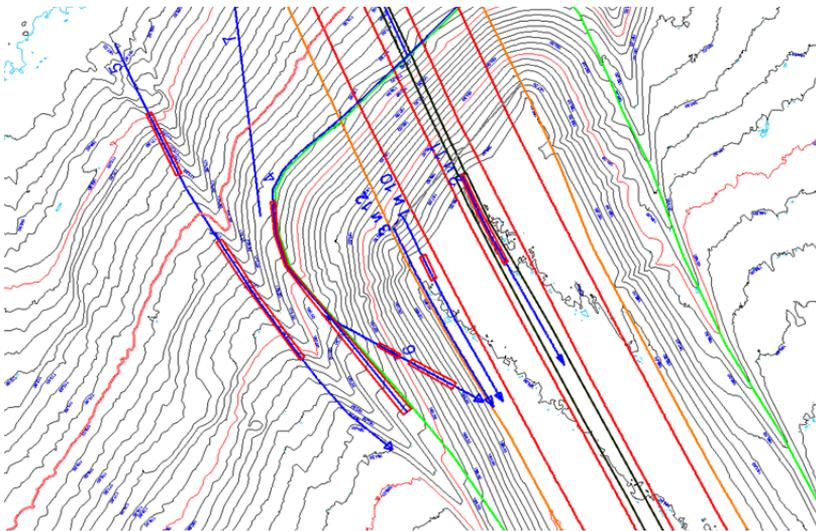
На план (рис. 14), отражающий результаты лазерного сканирования (горизонталь) [5], была нанесена схема створов георадиолокационных проходов, а затем проанализированы особенности распространения участков структурных изменений.

Нанесение на план просадочных участков по радарограммам с привязкой к изменениям рельефа подтвердило предположение о направлении оползневых деформаций.

К причинам образования оползня на рассмотренных участках дороги можно отнести следующее:

- перемещение оползневых масс склона в сторону балки параллельно оси трассы по естественному склону рельефа с учетом насыщения подземными водами суглинистых грунтов, а также стоком поверхностных вод;
- перемещение тела насыпи (прямое направление) по склону при продольном уклоне основания насыпи 69-118 ‰, а также сползание склона, пригруженного телом насыпи высотой от 3,64 до 7,74 м, обусловленное:

- склоновыми деформациями;
- миграцией подземных вод в теле насыпи из-за движения в продольном профиле по песчаному слою в связи с устройством выемки под дорожную одежду непосредственно перед мостом и насыщением водой суглинистых грунтов насыпи;
- воздействием вибродинамических нагрузок от автомобильного транспорта, в том числе большегрузных транспортных средств;
- дополнительным увлажнением грунтов земляного полотна (под конус насыпи) из-за неорганизованного стока поверхностных вод с лотка разделительной полосы, возникшего в результате просадки;
- нарушением работы системы дренажа и ливневой канализации в процессе эксплуатации.



**Рис. 14. Фрагмент плана в горизонталях по результатам воздушного лазерного сканирования (синие линии – створы проходов георадара, красные утолщения в створах проходов – участки с зафиксированными просадками)**

## ВЫВОДЫ

1. Георадарные работы на откосах земляного полотна целесообразно выполнять при низких частотах антенных блоков, большом накоплении сигналов и максимальной развертке.
2. Георадарные работы по оценке состояния грунтов на откосах можно проводить как в летний, так и в зимний периоды. Такие работы в зимний период контактными антенными блоками АБ-90 могут быть выполнены по очищенной поверхности от снега или при наличии уплотненного снежного покрова толщиной до 20 см.
3. Продольные проходы георадара по верхней бровке и основанию откоса, а при наличии полки и по ее поверхности не дают полной информации, необходимы поперечные проходы непосредственно по откосам.
4. Поперечные проходы георадара по откосам целесообразно выполнять снизу вверх, протягивая на веревке георадар с контактными антенными блоками летом на колесной основе, а зимой на лыжах.
5. Ослабленные зоны в грунтах на откосах следует оценивать по амплитудно-частотным характеристикам (высокая амплитуда сигнала и низкая частота) и смене фазы.
6. Эффективность обследований откосов (склонов) георадиолокационными методами повышается при совместном выполнении работ с лазерным сканированием [5], что позволяет определять сток поверхностных вод, а также оценивать по модели поверхности как старые, так и новые оползневые деформации.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Кулижников А.М. *Обследование оползневых массивов на откосах автомобильных дорог методом георадиолокации* / А.М. Кулижников, Р.А. Еремин // *Дороги и мосты*. – 2012. – Вып. 27/1. – С. 54-64.
2. Белозеров А.А. *Применение георадаров для обследования оползневых участков автомобильных дорог* / А.А. Белозеров,

- А.М. Кулижников / Георадары, дороги – 2002: материалы Международной научно-практической конференции (под ред. А.М. Кулижникова). – Архангельск: Изд-во АГТУ, 2002. – С. 67-73.*
3. *ОДМ 218.2.030-2013. Методические рекомендации по оценке оползневой опасности на автомобильных дорогах. – Изд. на основании распоряжения ФДА от 05.03.2013 № 252-р.– Электрон. данные. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200098295> (дата обращения 25.05.2018).*
  4. *Еремин Р.А. Прогнозирование размеров оползневых деформаций на откосах земляного полотна автомобильных дорог методом георадиолокации: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.23.11 / Еремин Роман Александрович; Волгогр. гос. архитектурно-строит. ун-т. – Волгоград, 2012. – 22 с.*
  5. *Кулижников А.М. Комплексное обследование оползней / А.М. Кулижников, Р.А. Еремин, М.Ю. Баборыкин // Автомобильные дороги. – 2018. – № 2. – С. 106-113.*

## **L I T E R A T U R A**

1. *Kulizhnikov A.M. Obsledovanie opolznevyyh massivov na otkosah avtomobil'nyh dorog metodom georadiolokacii / A.M. Kulizhnikov, R.A. Eremin // Dorogi i mosty. – 2012. – Vyp. 27/1. – S. 54-64.*
2. *Belozеров А.А. Primenenie georadarov dlja obsledovanija opolznevyyh uchastkov avtomobil'nyh dorog / А.А. Belozеров, А.М. Kulizhnikov / Georadary, dorogi – 2002: materialy Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii (pod red. А.М. Kulizhnikova). – Arhangel'sk: Izd-vo AGTU, 2002. – S. 67-73.*
3. *ОДМ 218.2.030-2013. Metodicheskie rekomendacii po ocenke opolznevoj opasnosti na avtomobil'nyh dorogah. – Izd. na osnovanii rasporyazhenija FDA ot 05.03.2013 # 252-r.– Jelektron. dannye. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200098295> (data obrashhenija 25.05.2018).*
4. *Eremin R.A. Prognozirovanie razmerov opolznevyyh deformacij na otkosah zemljanogo polotna avtomobil'nyh dorog metodom georadiolokacii: avtoref. dis. ... kand. tehn. nauk: 05.23.11 / Eremin Roman Aleksandrovich; Volgogr. gos. arhitekturno-stroit. un-t. – Volgograd, 2012. – 22 s.*

5. Kulizhnikov A.M. Kompleksnoe obsledovanie opolznej / A.M. Kulizhnikov, R.A. Eremin, M.Ju. Baborykin // Avtomobil'nye dorogi. – 2018. – # 2. – S. 106-113.

---

**GEORADAR INVESTIGATIONS OF LOCAL LANDSLIDE  
DEFORMATIONS ON SUBGRADE SLOPES  
OF THE ROAD M-4 «DON»**

*Doctor of Engineering, Professor A.M. Kulizhnikov,  
Ph. D. (Tech.) R.A. Yeremin  
(FAI «ROSDORNII»)*

*Contact information: kulizhnikov@rosdornii.ru;  
r.eremin@rosdornii.ru*

*The experience of application of ground penetrating radar technologies while investigating the landslide deformations on subgrade slopes of the Road M-4 «Don» has been considered. The methodology of survey is presented. Radarograms obtained from the results of longitudinal and transversal passes of the ground penetrating radar on landslide sections are done. Some recommendations for preventing landslide deformations are given.*

**Key words:** *road, subgrade, slopes, landslides, ground penetrating radar, radarogram, deformation, soils.*

---

Рецензент: канд. техн. наук Н.А. Лушников (ФАУ «РОСДОРНИИ»).

Статья поступила в редакцию: 02.04.2018 г.