

ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ ГЕОРАДАРОВ ПРИ ИНЖЕНЕРНО- ГЕОЛОГИЧЕСКИХ ИЗЫСКАНИЯХ БУДУЩИХ АВТОДОРОГ

Практика дорожного строительства последних лет убедительно свидетельствует о несомненных преимуществах применения современных технологий при инженерно-геологических изысканиях новых автодорог. Высокопроизводительный, экономичный и экологически чистый геофизический метод с использованием георадаров позволяет получить непрерывные грунтово-гидрогеологические разрезы в широкой полосе варьирования трассы.

Согласно Градостроительному кодексу на первом этапе проектных работ разрабатываются схемы территориального планирования. На них отображаются территориальные границы субъектов Российской Федерации, закрытых административно-территориальных образований, особых экономических зон, муниципальных образований, земель лесного фонда, особо охраняемых природных территорий федерального значения, земель обороны и безопасности, объектов культурного наследия, зон с особыми условиями использования территорий, территорий подверженных риску возникновения чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера и, наконец, земельных участков, предоставленных для размещения объектов капитального строительства федерального значения.

Если рассмотреть поочередную значимость вышеперечисленных территорий, то можно увидеть, что для земель, отведенных под капитальное строительство транспортных сооружений, предусмотрено место в конце списка, так как многие из вышеупомянутых территорий автомобильные дороги должны обходить. Вместе с тем, в Градостроительном кодексе не прописана процедура приоритетов при прокладке трасс по новым направлениям.

Не следует забывать, что прокладка дорог по неблагоприятным грунтово-гидрогеологическим условиям (слабые и сильнопучинистые грунты в основа-

нии, высокий уровень грунтовых вод или временно застаивающиеся поверхностные воды), как правило, приводит к большим эксплуатационным расходам. Последние за жизненный цикл автомобильной дороги в несколько раз перекрывают строительные затраты. Прокладка автомобильных дорог по неблагоприятным грунтово-гидрогеологическим условиям, т.е. самым непригодным землям, которым в последние годы отводится именно такая участь, особенно во второй дорожно-климатической зоне (избыточного увлажнения грунтов), – это путь к неэффективному использованию капиталовложений.

В ранее выполненных работах автора (в том числе диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук «Комплексное проектирование автомобильных дорог на основе пространственного моделирования», Архангельск, 1998 г.) на основе технико-экономического анализа было доказано, что прокладка трасс автомобильных дорог по благоприятным грунтово-гидрогеологическим условиям эффективна даже при удлинении трассы на 13,5%.

Совершенно очевидно, что грунтово-гидрогеологические условия определяют строительную стоимость дорожного сооружения и во многом влияют на работоспособность и затраты в процессе эксплуатации автомобильной дороги. Так, при уровне грунтовых вод, достигающем поверхности земли, проектиру-

ются высокие насыпи, а трудозатраты на выполнение работ определяются мощностью слабого грунта, залегающего под телом будущей насыпи. При этом, как показала практика, дорогостоящие и частые ремонты выполняются на участках автомобильных дорог, проложенных по пылеватым подстилающим и слабым грунтам, а также на землях, характеризующихся высоким уровнем грунтовых вод или наличием поверхностных вод.

При существующей технологии проектно-изыскательских работ вариант трассы выбирается по топографической карте, космическим съемкам, материалам аэрофотосъемки или, в лучшем случае, по цифровой модели рельефа. При этом, безусловно, удается вписать трассу в окружающий ландшафт, обойти заметные неблагоприятные участки по грунтово-гидрогеологическим условиям, например, глубокие болота. В то же время сориентироваться при прокладке трассы в типе подстилающих грунтов или положении уровня грунтовых вод практически невозможно. Это можно осуществить лишь по косвенным признакам: растительности или заболоченности.

При выносе трассы в природу и реконструкции инженером-геологом, могут быть скорректированы только направления трассы на маленьких локальных территориях, так как принципиально изменить прохождение будущей дороги в полевых условиях очень сложно и, как правило, это не делается. Поэтому трасса выбирается далеко не оптимальная, что заранее обуславливает несколько завышенные последующие затраты на содержание и эксплуатацию автодороги.

О целесообразности и эффективности сравнения вариантов в широкой полосе

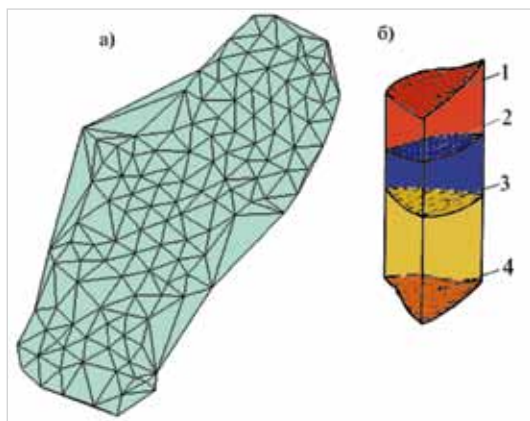


Рис. 1. Интегрированная пространственная модель рельефа, геологии и гидрогеологии местности:
а) фрагмент триангуляции Делоне в плане в пределах полосы варьирования трассы;
б) элемент пространственной триангуляции: 1 – земная поверхность, 2 – поверхность УГВ; 3, 4 – подошвы первого и второго слоев грунта соответственно

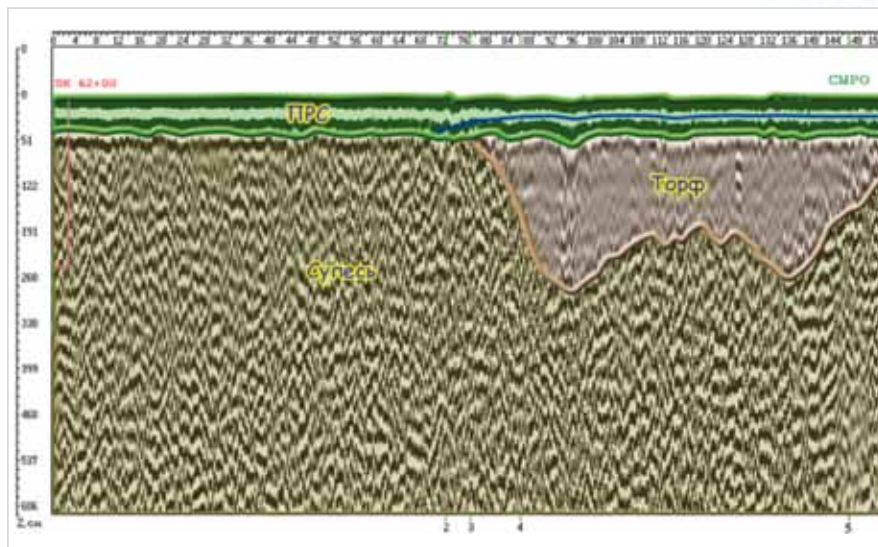


Рис. 2. Интерпретированная радарограмма продольного разреза

варьирования трассы давно говорит в России проф. Г.А. Федотов. То же подтверждает и положительный международный опыт (США, Канада). Автором данной статьи в ранее выполненных работах дано аналитическое обоснование границ полосы варьирования. По обобщенному коэффициенту целесообразности прокладки трассы выбирается транспортный коридор в полосе шириной равной не менее 1/3 длины трассы. При выборе транспортного коридора используются такие количественные показатели, как стоимость земель, коэффициент развития трассы, продольные уклоны, грунтово-гидрогеологические и гидрологические условия местности, ситуационные препятствия (в том числе и земли, по которым дорога не должна проходить) и т.д.

Для аналитического обоснования границ полосы варьирования и выбора транспортного коридора необходимо знать пространственное положение кровли и подошвы подстилающих грунтов, а также положение расчетного уровня грунтовых и поверхностных вод. Решение этой задачи найдено путем создания интегрированной пространственной модели (рис. 1) рельефа, геологии и гидрогеологии местности (Кулижников А.М., Юфряков А.В., Уемлянин А.В. Новая технология проектно-изыскательских работ на основе использования пространственной модели рельефа, элементов геологии и гидрогеологии местности // Информационный бюллетень. ГИС Ассоциация. 1999. № 2 (19)).

Однако для выполнения работ по вышеуказанной методике необходима исходная информация: знание отметок рельефа, ситуации, типа грунтов, положения подошвы геологических слоев, уровня поверхностных и грунтовых вод в широкой полосе варьирования трассы. Самое сложное – это определить грунтово-гидрогеологические условия. Традиционными методами выполнить эту работу очень трудно, поэтому ни одна проектная организация за это просто сегодня не возьмется.

Для решения данной задачи была разработана специальная технология грунтово-гидрогеологических изысканий (Патент 2109872 (Российская Федерация)). Способ инженерных грунтово-гидрогеологических изысканий автомобильных дорог. Авторы – А.М. Кулижников, Т.А. Метла). Одной из основ этого способа стало применение георадарных технологий при определении грунтово-гидрогеологических условий местности. В патенте предложен высокопроизводительный, экологически чистый геофизический метод, позволяющий получить непрерывные грунтово-гидрогеологические разрезы в широкой полосе варьирования трассы.

Вся полоса варьирования в камеральных условиях разбивается на зоны с различными грунтово-гидрогеологическими условиями. В каждой зоне назначаются опорные точки. Задается начальное направление движения вездехода в зависимости от рельефа и ситуации. Вездеход

с георадаром движется, пересекая по возможности самые высокие и низкие места рельефа, обходя встречающиеся деревья и другие ситуационные препятствия. По маршруту движения вездехода на экране дисплея просматриваются и записываются на магнитные носители радарограммы для последующего определения в камеральных условиях геологического разреза местности и положения уровня грунтовых вод. При движении вездехода его местонахождение определяется и заносится на магнитные носители с помощью спутниковой системы позиционирования. В камеральных условиях по полученным радарограммам назначается местонахождение контрольных скважин. В полном объеме такая технология еще не внедрена, однако основные ее элементы прошли опытно-экспериментальную проверку.

Опробование георадарных технологий при изысканиях трасс по новому направлению было проведено на участках ряда автодорог, о которых будет рассказано ниже.

Первые работы были выполнены в 2001 г. в Мурманской области (фото 1), условия которой являются одними из идеальных для применения георадаров, так как характеризуются залегающими в подстилающих слоях пористыми крупнообломочными и гравелистыми грунтами. Из-за отсутствия подъездных путей на проектируемый участок было невозможно направить буровую, а бурение ручным буром, как показала практика, очень часто не приносило успеха из-за

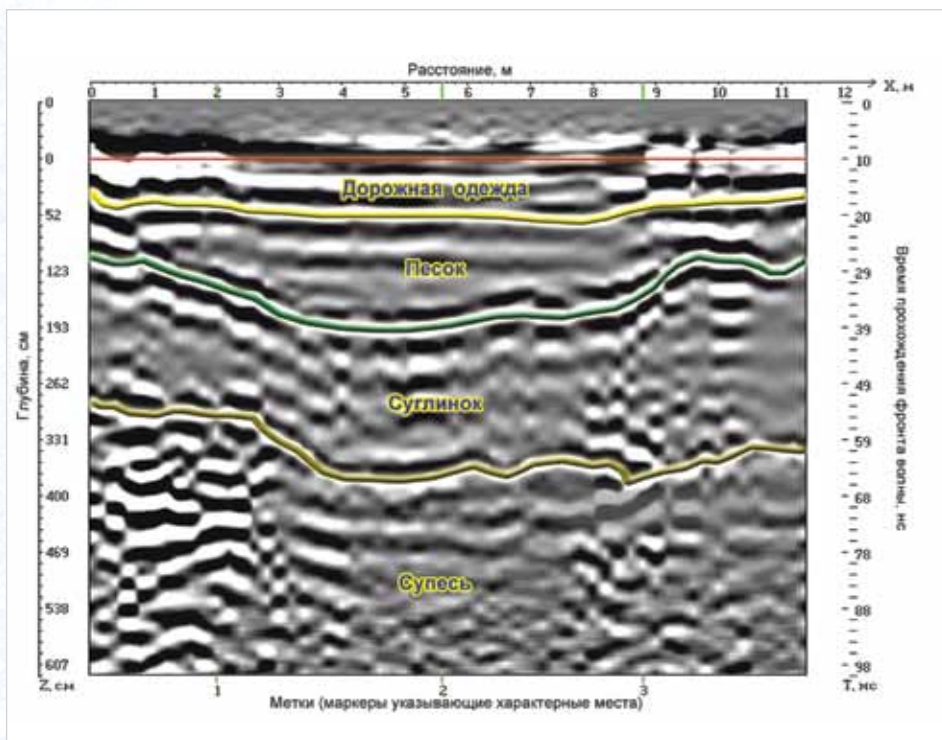


Рис. 3. Интерпретированная радарограмма поперечного разреза с выделенными конструктивными слоями дорожной одежды

включений в моренные грунты больших валунов.

Заказчиком ставилась задача получить грунтово-гидрогеологический разрез в продольном направлении по оси трассы и в поперечном направлении на трудных по грунтово-гидрогеологическим условиям участках на всю ширину придорожной полосы. При выполнении инженерно-геологических изысканий использовались георадары «ОКО-2» с контактными антенными блоками АБ-150 и АБ-400. Георадар с антенным блоком АБ-150 из-за своих больших габаритов оказался в условиях лесной и заболоченной местности маломобильным при его ручной транспортировке, поэтому работы выполнялись в основном

георадаром с антенным блоком АБ-400. Радарограммы в продольном направлении записывались по оси трассы (рис. 2), а в поперечном направлении – протяженностью до 50 м направо и налево от оси. Некоторые небольшие по длине участки по оси трассы были обойдены стороной из-за большой косогорности местности в поперечном направлении, наличия поверхностных вод, а также присутствия больших камней с неровной поверхностью (фото 2). Суммарная длина таких участков не превысила 3% от общей протяженности трассы. Осуществлялась привязка полученных радарограмм к прорытым шурфам и ранее пробуренным скважинам. При обработке радарограмм осуществлялась послойная корректировка

диэлектрической проницаемости с привязкой к известным разрезам.

Анализ полученных радарограмм показал следующее.

1. Определены непрерывные глубины заложения кровли и подошвы геологических слоев и выявлено положение уровня грунтовых вод.
2. Глубина зондирования составила 5,8–6,2 м с разрешающей способностью 15 см, достаточной для построения геологического разреза.
3. При исследовании радарограмм в продольном направлении обнаружены глубокие участки болот, не выявленные при традиционных изысканиях, так как в ряде случаев зондировочные скважины были выполнены не в самых глубоких местах.
4. При анализе радарограмм в поперечном направлении предложено проектировщикам на ряде участков сместить ось трассы. Причиной послужили зафиксированные участки на болотах с большой косогорностью минерального дна, а также определение на некотором расстоянии от оси мест благоприятного проложения трассы по лучшим грунтово-гидрогеологическим условиям.
5. Рассмотрение радарограмм в поперечном направлении на участках, которые совпали в начале трассы с существующей автомобильной дорогой, показало, что основание земляного полотна из суглинистого грунта под действием автомобильной нагрузки приняло очертания корыта (см. рис. 3), в котором скапливаются грунтовые воды. И именно на таких участках зафиксированы трещины на поверхности битумо-минерального покрытия дорожной одежды.
6. На склоновых участках были определены параметры кривой скольжения при длине проходов до 300 м (здесь из-за по-



Фото 1. Ось изыскиваемой автомобильной дороги в Мурманской области



Фото 2. Неровная поверхность с большими камнями

требности в больших глубинах зондирования прочищался широкий коридор и использовался антенный блок АБ-150), по которым оценивалась устойчивость оползневого участка (см. рис. 4).

7. На необработанных радарограммах болотистых участков, проявлялись сильно искаженные картины глубины заложения слабых грунтов, так как диэлектрическая проницаемость торфа была зафиксирована в 10–20 раз выше, чем у грунтов.

К сожалению, изыскания были проведены согласно заданию заказчика практически по традиционной технологии, отличающейся только применением сканирования грунтово-геологических условий георадарами. Но даже такая технология помогла устранить допущенные ошибки в прокладке трассы. Этих ошибок могло быть гораздо меньше. Для этого грунтово-геологические изыскания должны быть выполнены по вышеизложенной методике: в широкой полосе варьирования трассы построена интегрированная пространственная модель рельефа, геологии и гидрогеологии местности с аналитическим обоснованием эффективных транспортных коридоров для последующего многовариантного проектирования.

В 2003 г. при проектировании рабочего проекта мостового перехода через реку Проню на автомобильной дороге Калуга – Тула – Михайлов – Рязань в Рязанской области проходы георадара выполнялись на участках подхода к реке. Использовался георадар «ОКО-2» с контактным антенным блоком АБ-250. Были получены геологические разрезы суглинистых грунтов по результатам продольных проходов георадара по оси дороги на подходах к мосту.

В апреле 2004 г. на участке северного обхода Рязани (заливные луга, избыточно увлажненные грунты) георадарное сканирование выполняли при протягивании георадара с контактными антенными блоками АБ-90 и АБ-150 по поверхности земли в продольном направлении по оси трассы, а также по поперечникам через 50 м протяженностью 50–100 м в зависимости от ситуации. На участке трассы протяженностью 600 м по всем проходам георадара были получены геологические разрезы. В основном были зафиксированы из-

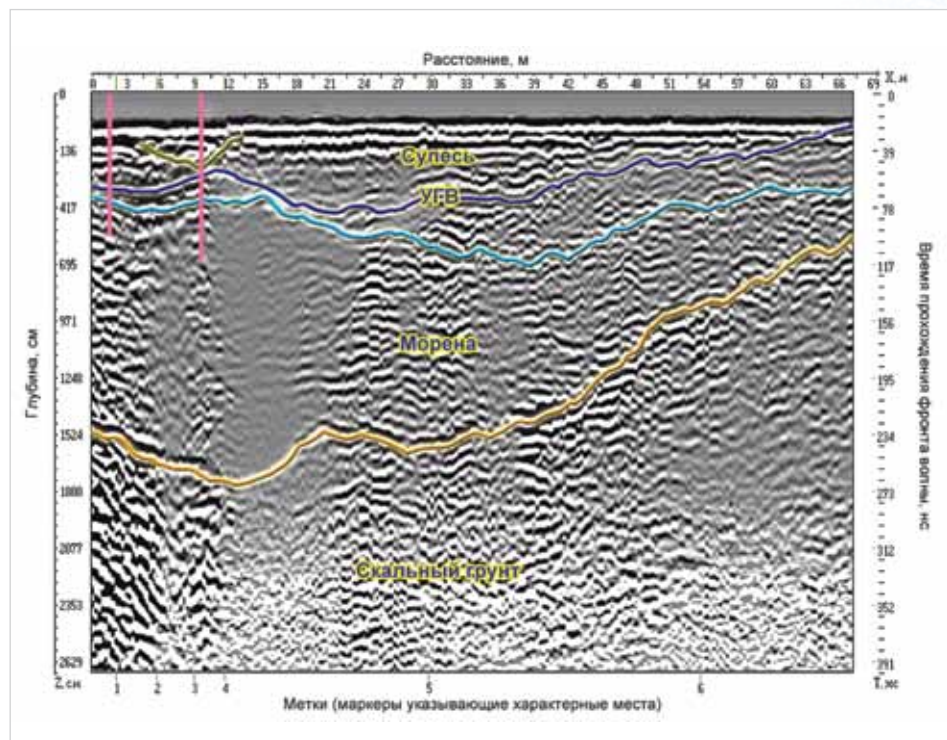


Рис. 4. Интерпретированная радарограмма с выделенными геологическими слоями (синяя линия УГВ определяет кривую скольжения)

быточно увлажненные суглинистые и глинистые грунты с незначительными по толщине прослойками супесчаных грунтов. Из-за высокой влажности грунтов глубина зондирования в этот период времени не превысила 5 м. На одном из поперечных разрезов были зафиксированы две пустоты шириной 1,5–2,0 м, по всей видимости, бывшие погреба или подвалы. Результаты георадарного сканирования показали, что изменять направление трассы северного обхода в пределах обследуемой полосы местности нецелесообразно, так как по всей ширине обследуемой местности были зафиксированы одинаковые грунтово-геологические условия.

При проложении дюкера в 2004 г. на участке перехода через реку Клязьму в Московской области были выполнены 8 параллельных продольных проходов георадара на различных расстояниях от планируемой оси проложения дюкера и 9 поперечных проходов. Длина продольных проходов достигала 40 м, поперечных – 30 м. Работы выполнялись как по суше, так и по воде. При этом при продольных и поперечных проходах по воде работы выполнялись путем протягивания георадара в резиновой лодке по поверхности речной воды и притопленного на 30 см георадара в воде в пригруженной водонепроницаемой камере. Использо-

вались георадары «ОКО-2» с контактными антенными блоками АБ-250 (на суше) и АБ-400 (на воде). Для корректировки георадарной съемки на подходах к реке было прорыто 3 шурфа глубиной до 2 м.

По результатам работ было установлено:

- на подходах к реке, помимо геологического строения по каждому проходу, месторасположение в плане и глубина заложения пустотелых коллекторов и труб;
- глубина водного потока, толщина слоя ила как по закрепленным веревками створам, так и по оси реки;
- максимальная глубина водного потока зафиксирована 2,5 м, по каждому проходу установлена толщина слоя ила, местами достигающая 1,5–2,0 м;
- при большой толщине слоя ила (более 1,5 м) просматривалось только очертание дна реки, при малой толщине ила выделялись слои, слагающие дно реки.

По итогам выполненных георадарных работ были даны рекомендации по устройству дюкера.

В 2005 г. были выполнены инженерно-геологические изыскания с применением георадаров для локализации оползневых участков на автомобильной дороге М-4 «Дон» (км 274 – км 288) в Тульской области. Особенностью этих работ явилось применение георадаров



Фото 3. Выполнение инженерно-геологических изысканий в зимний период (Финляндия)

при отрицательной температуре воздуха и наличии снежного покрова. Выполнение работ георадаром «ОКО-2» с контактным антенным блоком АБ-90 при отрицательной температуре до -10°C не повлияло на результаты георадарного сканирования. В январе при толщине рыхлого снега, равной 25–30 см, не были получены качественные радарограммы. Электромагнитные колебания в слое рыхлого снега попали в резонанс, и на радарограммах эффект с выделением переувлажненных зон и разуплотненных грунтов практически не просматривался. Качественные радарограммы были записаны только при протягивании георадара по расчищенной от снега поверхности. Повторные измерения выполнялись также при отрицательной температуре воздуха в марте после некоторого оттаивания, когда снег был плотным и его толщина составляла не более 15–20 см, что позволило получить удовлетворительные результаты.

Таким образом, опыт проведения инженерно-геологических изысканий по новым направлениям автомобильных дорог с использованием георадаров показал:

- 1) в результате обработки и интерпретации радарограмм по проходкам на всех объектах получены геологические разрезы, обнаружены пустоты, разуплотненные и переувлажненные зоны; определена косогорность минерального дна на болотах;
- 2) при выполнении работ для получения требуемой глубины зондирования

необходимо обдуманно подходить к времени года выполнения работ; так, например, в период избыточно увлажненных грунтов (весна, осень) глубина зондирования в суглинистых грунтах существенно снижается;

- 3) проведение георадарных работ возможно по поверхности водного потока или непосредственно в водном потоке, что позволяет получить очертание дна водотока и при определенных условиях (малый слой ила) – геологическое строение дна реки;

- 4) георадарные работы могут выполняться в зимний период, при условии расчистки створа прохода от снега или при уплотнении снежного покрова.

Все возможности применения георадаров при инженерно-геологических изысканиях трасс автомобильных дорог на сегодняшний день еще не раскрыты.

Например, большие перспективы перед георадарными методами открываются для выполнения изыскательских работ в тундре, где передвижение техники для сохранения почвенно-растительного слоя разрешено только в зимний период. При возможности выполнения георадарных работ при температуре окружающей среды до -40°C , период выполнения изысканий может быть существенно продлен. Однако при этом необходимо предусмотреть расчистку снега в створе прохода георадара, так как имеющийся опыт работ показывает, что при рыхлом снеге толщиной более 20–25 см сигнал

не возвращается к приемной антенне даже при контактных антенных блоках АБ-90 и АБ-150. Необходима разработка малогабаритного вездехода (с отвалом для расчистки снега), к которому прицепляется антенный блок. Такие конструкции применяются в Финляндии (фото 3).

Другой пример. Выполнение георадарных работ путем протягивания георадара вездеходом, безусловно, является одним из эффективных методов инженерно-геологических изысканий. Однако производительность работ существенно повышается, если георадар с узконаправленным антенным блоком закреплять к летательному аппарату (например, вертолету), курсирующему на небольшой высоте по заранее разработанному маршруту. В то же время указанные работы требуют опытно-экспериментальной проверки сконструированного под решаемую задачу антенного блока, а также на предмет определения глубины зондирования от поверхности земли и разрешающей способности воздушной георадарной съемки.

При изыскательских работах с детальным георадарным изучением геологического строения на стадии проектно-изыскательских работ потребуются дополнительные затраты, которые повысят стоимость проектно-изыскательских работ максимум на 10–15% (не учитывается стоимость воздушных полетов, так как технология съемки с воздуха требует детальной проработки). Если учесть, что стоимость проектно-изыскательских работ достигает не более 3% от стоимости строительно-монтажных работ, то это увеличение будет незначительным. А вот эксплуатационные расходы на участках автомобильных дорог (достигающие при одиночных ремонтных работах до 50% от стоимости СМР), проложенных по благоприятным геологическим условиям, будут меньше как минимум на 20%, что за жизненный цикл автомобильной дороги в несколько сотен раз окупит дополнительные затраты на изыскательские работы.

А.М. Кулижников,
заместитель генерального директора
ФГУП «РОСДОРНИИ»,
д-р техн. наук, профессор