

### Выводы

Комплексные исследования, проведенные на территориях, прилегающих к санаторию «Беломорье», указывают на необходимость более детального исследования параметров, определяющих экологическое равновесие осваиваемой территории, в первую очередь, на стадии проектно-изыскательских работ. В целях предотвращения накопления аммиака рекомендовано прекратить дальнейшую эксплуатацию осушителей вдоль береговой линии озера, для чего создать грунтовые перемычки на выходе.

Поступила 15 июля 1996 г.

УДК 625.726 : 519.863 : [624.131.1 + 556] : 625.7(470.11)

*А. М. КУЛИЖНИКОВ, Т. А. МЕТЛА, Е. Г. КАРЗИН*

Архангельский государственный технический университет  
С.-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет



Кулижников Александр Михайлович родился в 1955 г., окончил в 1977 г. Архангельский лесотехнический институт, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой автомобильных дорог Архангельского государственного технического университета. Имеет более 90 печатных работ в области регулирования водно-теплового режима грунтов земляного полотна, исследования местных материалов в дорожном строительстве, пространственного моделирования рельефа, геологии и гидрогеологии местности.



Метла Татьяна Александровна родилась в 1967 г., окончила в 1990 г. Архангельский лесотехнический институт, аспирант С.-Петербургского государственного архитектурно-строительного университета. Имеет одну печатную работу в области моделирования поверхности рельефа.



Карзин Евгений Георгиевич родился в 1953 г., окончил в 1975 г. Архангельский лесотехнический институт, кандидат технических наук, доцент кафедры автомобильных дорог Архангельского государственного технического университета. Имеет более 20 печатных трудов в области изучения дорожно-строительных и строительных материалов.

## **МЕТОДЫ И ПРИБОРЫ ДЛЯ ИЗЫСКАНИЙ ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ НА ПОЛОСЕ ВАРЬИРОВАНИЯ ТРАССЫ В ЗАЛЕСЕННОЙ МЕСТНОСТИ**

Рассмотрены основные геофизические методы определения грунтово-гидрогеологических условий местности, области их применения в дорожном строительстве.

The principal geophysical methods of determining the soil hydrologic conditions of a terrain, their uses in road-building have been considered.

Для выбора оптимальных решений при системном автоматизированном проектировании автомобильных и магистральных лесовозных дорог в залесенной местности Европейского Севера России необходима информация о грунтово-гидрогеологических условиях в широкой полосе варьирования, достигающей 1/3 длины трассы. Она позволяет снизить объемы земляных работ на 20...60 %, обеспечивая требуемую надежность и работоспособность дорог [2].

Целью данной работы является анализ существующих геофизических методов изысканий грунтово-гидрогеологических условий местности и разработка рекомендаций по выбору методики и приборов для решения различных задач дорожного строительства.

При выполнении грунтово-гидрогеологических изысканий преимущество отдают производительным экспресс-методам с использованием геофизических приборов. В настоящее время применяют следующие экспресс-методы определения грунтово-гидрогеологических условий местности: космическая и аэрофотосъемка, сейсмоакустический, радиолокационный, электроразведка.

Космические методы и аэрофотосъемка позволяют получить достаточную информацию о строении грунтов и гидрогеологии местности. Однако они дорогостоящи и могут быть использованы при проложении многокилометровых трасс, проходящих, как правило, в отдалении от больших населенных пунктов и имеющих принципиальные направления. Поскольку автомобильные и лесовозные дороги большой протяженности в основном уже проложены, проектируют чаще всего их небольшие участки между населенными пунктами и местами лесозаготовок. В этом случае целесообразно использовать наземные геофизические методы.

Сейсмоакустический метод основан на различии в скорости распространения упругих волн в разных грунтах. Он нашел применение в дорожном строительстве, при поиске месторождений полезных ископаемых, определении глубины коренных пород и уровня грунтовых вод, обнаружении карстовых полостей, оползней и границ мерзлых грунтов. Однако применение данного метода для изысканий гидрогеологических условий трасс неэффективно из-за низкой производительности.

сти, в то время как для небольших участков местности площадью 1...2 км<sup>2</sup> (карьеры, карстовые и оползневые участки и т.д.) сейсмоакустический метод является незаменимым.

Суть радиолокационного метода (чаще всего применяют его разновидность – подповерхностную радиолокацию) заключается в том, что радиолокационное устройство (георадары) при помощи антенны излучает электромагнитные волны, которые, распространяясь в грунте, отражаются от многочисленных границ пород с различными электрофизическими свойствами. Определенная часть энергии электромагнитной волны отражается, остальная, преломляясь, распространяется глубже до следующего горизонта, где вновь отражается и преломляется. Через некоторые промежутки времени начинают приходить сигналы, отраженные от границ геологических слоев. По скорости распространения сигнала устанавливают тип грунтов и глубину заложения слоев.

Преимуществами данного метода являются:

а) возможность применения в зимнее и летнее время при любых погодных-климатических условиях;

б) большая маневренность и высокая производительность работ в залесенной местности при использовании георадаров с вездеходами или автомобилями. В труднопроходимых местах, заросших лесом, замеры могут быть выполнены при ручной транспортировке георадара и регистрирующего оборудования; на заболоченных участках – в зимний период на снегоходах типа «Буран»;

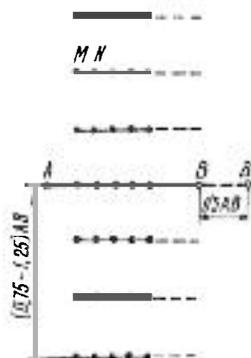
в) малая погрешность при выполнении измерений (не более 3 %);

г) большой опыт использования георадаров в условиях Севера Европы (Финляндия, георадары фирмы FinnRA).

Метод подповерхностной радиолокации наиболее приемлем для геологической и гидрогеологической разведки трасс автомобильных и магистральных лесовозных дорог протяженностью более 3...4 км. В то же время он может быть использован и на небольших территориях для обследования точечных объектов.

Суть метода электроразведки заключается в том, что в геологической среде с помощью питающих электродов возбуждают постоянное или низкочастотное переменное поле, а затем измеряют разность потенциалов в грунтовой среде между приемными электродами. По разности потенциалов и току вычисляют сопротивление грунта, по которому судят и о его типе. Как правило, удельное сопротивление различных типов грунтов различается на порядок. В зависимости от схемы размещения питающих и приемных электродов различают электропрофилирование (геологический разрез по длине) или электротондирование (геологический разрез по глубине) грунтов. Из всех рассмотренных схем электроразведки с заземленными установками (электропрофилирование комбинированное, дипольное, методом срединного градиента, симметричное и т.д.) наиболее производительным и эффективным для изыскания гидрогеологических условий трасс автомобильных дорог является метод срединного градиента, который позволяет охватывать при измерениях

Рис. 1. Схема измерения по методу срединного градиента:  $AB$ ,  $AB'$  – начальный и максимальный разнос питающих электродов;  $MN$  – разнос приемных электродов



большие площади без переноса питающих электродов (рис.1) [1]. Этот метод может быть рационально использован для определения грунтово-гидрологических условий на участках местности небольшой площади (1...2 км<sup>2</sup>) при изысканиях карьеров дорожно-строительных материалов и болотистых участков.

При выполнении изыскательских работ в зимний период возникают сложности с забивкой электродов. В этом случае целесообразно применить методику бесконтактного измерения электрического поля с незаземленной полупетлей или прямоугольной петлей [1]. Область применения бесконтактного метода такая же, как и у контактного метода срединного градиента.

Важно правильно подобрать измерительные приборы. Изыскания сейсмоакустическим методом проводят с помощью сейсмических станций, состоящих из сейсмических каналов (сейсмоприемник, усилитель и регистрирующее устройство). Рекомендуемой аппаратурой для регистрации грунтово-гидрогеологических условий может служить полностью автоматизированная 96-канальная сейсмическая станция «Горизонт».

Таблица 1

Модель георадара	Частота измерения, МГц	Размер, см	Масса, кг	Глубина измерения, м	Разрешающая способность, см
3112	80	38×132×84	64	40	46
3207	100	26×96×55	-	30	37
3110	120	31×97×55	19	30	31
3020	120	25×97×127	54	-	31
3105	300	19×64×77	31	15	12
3102	500	15×31×36	4	6	8
3101D	900	8×18×33	2,3	2	4
3100	1000	4×10×17	8,8	1	-
ЕСНО-80	80	17×125×105	27	40	46

При изысканиях радиолокационными методами целесообразно пользоваться оборудованием, положительно себя зарекомендовавшим и дающим точные результаты измерений, например георадарами фирмы FinnRA (табл. 1) [3] и отечественными (табл. 2).

В табл. 3 даны рекомендации по применению финских георадаров в различных условиях местности [3].

Для изысканий грунтово-гидрологических условий полосы варьирования автомобильных и магистральных лесовозных дорог нами предложена следующая технология выполнения работ (рис. 2).

Таблица 2

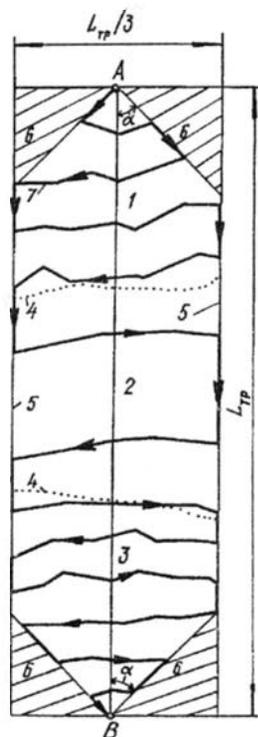
Характеристика приборов	Георадары		Георадиолокатор ЛОКАС-2
	ОКО	ГРОТ	
Глубина зондирования, м	3	10	≥120
Диапазон частот, МГц	-	25...150	30...250
Диапазон температур, град	-30...+50	-10...+40	-
Напряжение, В	-	12	≥ 35
Мощность, Вт	8	4...30	8000
Масса, кг	9	<10	-
Область применения	Определение УГВ, степени уплотнения грунта, карстовых полостей и подземных коммуникаций		Определение УГВ, типов грунтов, степени уплотнения грунта, карстовых полостей и подземных коммуникаций
Фирма-изготовитель	« Логические системы НИИ приборостроения », г. Жуковский	НПО « Инфиз-прибор », г. Троицк	-

Примечание. Информация об отечественных георадарах предоставлена консалтинговой фирмой «GIC».

Таблица 3

Условия изысканий	Необходимая техника		Штат, чел.	Производительность работ	
	летом	зимой		км/ч	км/см.
Трудные	Ручная транспортировка	-	3	0,3...1,0	1...3
Нормальные Легкие	Вездеход	-	2	1...3	3...10
	Автомобиль	Вездеход, снегоход	1-2	3...9	10...30

Рис. 2. Схема движения вездехода:  $AB$  – воздушная линия между начальной  $A$  и конечной  $B$  точками трассы;  $L_{тр}$  – длина трассы по воздушной линии, равная длине полосы варьирования;  $L_{тр}/3$  – ширина полосы варьирования трассы; 1, 2, 3 – участки местности с различными грунтово-гидрогеологическими условиями, разделенные границами (4); 5 – граница полосы варьирования; 6 – участки местности, через которые нецелесообразно прокладывать трассу; 7 – маршрут движения вездехода с георадаром



Сначала в камеральных условиях по топографической карте в зависимости от рельефа местности и ситуации определяют границы полосы варьирования трассы, координаты которых с помощью сканера заносят в память ПЭВМ. Полосу варьирования разбивают на зоны с различными грунтово-гидрогеологическими условиями (например участки болотистые, оползневые, карстовые, просадочные, с обеспеченными и необеспеченными поверхностными стоками и т.д.). Координаты границ зон с различными грунтово-гидрогеологическими условиями, определенными по растительным признакам, заносят в память ПЭВМ по точкам путем сканирования. В каждой зоне устанавливают расстояние между маршрутами движения вездехода. Из рассмотрения и последующих изысканий отбрасывают участки местности, прилегающие к начальной и конечной точкам трассы и образующиеся границей полосы варьирования и прямыми, направленными под углами  $35...55^\circ$  к воздушной линии. Задают начальное направление движения вездехода в зависимости от рельефа и ситуации, например под углом  $\alpha = 45^\circ$  вправо к направлению воздушной линии между начальной и конечной точками трассы.

При проведении работ вездеход с георадаром фирмы FinnRA движется от начального положения к правой границе полосы варьирования трассы, обходя встречающиеся деревья и другие препятствия.

По маршруту движения на экране дисплея просматривают и записывают на магнитные носители геологический разрез местности, на котором фиксируется положение уровня грунтовых вод. При движении вездехода его положение в декартовой системе координат определяют и записывают на магнитные носители с помощью спутниковой системы GPS по установленному на вездеходе Р-кодovому приемнику ASHTECH P-12, который определяет геодезические координаты с точностью выше 5 мм и обладает значительной устойчивостью к помехам. Потребляемая приемником мощность менее 12 Вт, питание осуществляют от сети постоянного тока при напряжении 10...36 В.

При достижении правой границы полосы варьирования трассы вездеход проходит параллельно воздушной линии, связывающей начальный и конечный пункты трассы.

Далее маршрут движения вездехода идет в обход деревьев к левой границе полосы варьирования трассы с учетом принятого расстояния между грунтово-гидрогеологическими разрезами. Вездеход может двигаться по интересующим участкам местности с возможностью маневрирования. При этом ПЭВМ по программе контролирует переход из одной зоны грунтово-гидрогеологических условий в другую. Достигнув левой границы полосы варьирования, вездеход движется параллельно воздушной линии и вновь направляется к правой границе и так далее до выхода в конечную точку трассы.

При определении гидрогеологических условий местности контактными методами электроразведки мы рекомендуем аппаратуру низкой частоты АНЧ-3, которая, по данным Новодвинской геолого-геофизической экспедиции, малочувствительна к колебаниям влажности и температуры в условиях Севера. Аппаратура АНЧ-3 состоит из стационарного и переносного генераторов, а также избирательного микровольтметра. Для бесконтактных методов электроразведки целесообразно использовать аппаратуру ЭРА-625.

Из зарубежных аналогов вертикальное электроразведочное зондирование может быть выполнено с помощью резистометра SYSCAL R1 французской фирмы IRIS Instruments. Французский резистометр позволяет хранить сведения непосредственно в памяти прибора, а с помощью встроенной в него подзаряжающейся аккумуляторной батареи можно на протяжении нескольких дней произвести 1000 считываний по 10 с каждое.

Технические характеристики перечисленного электроразведочного оборудования приведены в табл.4.

Анализ возможностей применения при изысканиях методов электроразведки показывает, что он эффективен при выполнении работ на небольших участках (карьеры дорожно-строительных материалов, болота, площадки под производственные базы и т.д.). При этом сначала методом электропрофилирования определяют либо границы полезной толщи в карьерах, либо границы смены подстилающих грунтов; затем методом электроразведочного зондирования устанавливают геологическое сечение в интересующих точках и разрезах.

Таблица 4

Техническая характеристика прибора	АНЧ-3	SYSCAL R1
Рабочая частота, Гц	4,88	-
Максимальная мощность генератора, Вт:		
стационарного	300	-
переносного	30	50
Максимальный ток генератора, А:		
стационарного	2	-
переносного	0,1	1
Максимальное напряжение генератора, В:		
стационарного	350	-
переносного	250	200...400
Нестабильность фиксированных значений тока, %	1	1
Измеряемое микровольтметром напряжение (разрешающая способность), мкВ	10...30 000	1000
Погрешность измерения напряжения, %	3	1
Масса генератора, кг:		
стационарного	10	-
переносного	6	9,5
Масса микровольтметра, кг	3,5	-

При электропрофилировании методом срединного градиента (рис. 1) рекомендуется принимать разнос питающих электродов  $AB = 50...100$  м, а приемных  $MN = 1...3$  м, что позволяет фиксировать удельное сопротивление грунта до глубины  $5...10$  м; при электроразведывании разнос питающих электродов также не должен превышать  $100$  м.

По производительности получения информации электроразведка значительно уступает методам подповерхностной радиолокации, поэтому ее не следует рекомендовать для получения сведений в широкой полосе варьирования трассы автомобильных и магистральных лесовозных дорог.

На основании изложенного можно сделать следующие выводы.

1. В настоящее время может быть осуществлен переход на методы автоматизированного проектирования автомобильных дорог и сооружений на них по математическим моделям рельефа, геологии и гидрогеологии местности, так как существующие геофизические методы и аппаратура позволяют получить исходную информацию для достоверного моделирования. Использование современных геофизических приборов позволяет сократить трудозатраты на гидрогеологические изыскания участка автомобильных и магистральных лесовозных дорог протяженностью  $10$  км до  $100$  чел.-см., получив при этом цифровую модель грунтово-гидрогеологических условий в широкой полосе варьирования трассы.

2. Для выполнения грунтово-гидрогеологических изысканий автомобильных и магистральных лесовозных дорог могут применяться все известные геофизические методы (сейсмоакустика, радиолокация, электроразведка), дополняющие друг друга в тех или иных условиях.

3. Наиболее целесообразно использовать приведенную технологию выполнения работ с георадарами финской фирмы FinnRA модификаций 3102 или 3105, в основу работы которых заложен метод подповерхностной радиолокации.

4. Для грунтово-гидрогеологических изысканий карьеров, строительных площадок, искусственных сооружений и болот могут быть применены сейсмическая станция «Горизонт» и аппаратура низкой частоты АНЧ-3, обеспечивающие достаточную точность измерений.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1]. Инструкция по электроразведке: Наземная электроразведка, скважинная электроразведка, шахтно-рудничная электроразведка, аэроэлектроразведка, морская электроразведка / М-во геологии СССР. - Л.: Недра, 1984. - 352 с. [2]. Кулижников А.М., Турабов М.А., Волков А.А. Пространственное проектирование автомобильных дорог // Актуальные проблемы рационального использования природных и энергетических ресурсов Европейского Севера: Сб. науч. тр. - Архангельск: РИО АЛТИ, 1994. - С. 142 - 145. [3]. Ground penetrating radar / The Finnish Geotechnical Society. - The Finnish Building Centre Ltd (Rakennustieto Oy), 1992. - 65 p.

---

Поступила 14 апреля 1996 г.