Вестник Евразийской науки / The Eurasian Scientific Journal https://esj.today

2025, Том 17, № 4 / 2025, Vol. 17, Iss. 4 https://esj.today/issue-4-2025.html

URL статьи: https://esj.today/PDF/48SAVN425.pdf

2.1.2. Основания и фундаменты, подземные сооружения (технические науки)

Ссылка для цитирования этой статьи:
Носков, И. В. Применение георадарной съемки для определения мощности насыпных грунтов / И. В. Носков, Д. Н. Черепанов, Б. Ф. Азаров, М. А. Осипова // Вестник евразийской науки. — 2025. — Т. 17. — № 4. — URL: https://esj.today/PDF/48SAVN425.pdf.

For citation:
Noskov I.V., Cherepanov D.N., Azarov B.F., Osipova M.A. The USE of GPR imaging to determine the thickness of bulk soils. *The Eurasian Scientific Journal*. 2025;17(4): 48SAVN425. Available at: https://esj.today/PDF/48SAVN425.pdf. (In Russ., abstract in Eng.).

УДК 624.131.23

Носков Игорь Владиславович
ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет имени И.И. Ползунова», Барнаул, Россия
Заведующий кафедры «Основания, фундаменты, инженерная геология и геодезия»
Кандидат технических наук, доцент
E-mail: noskov.56@mail.ru

Черепанов Денис Николаевич
ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет имени И.И. Ползунова», Барнаул, Россия
E-mail: cherepanovden@mail.ru

Азаров Борис Федотович
ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет имени И.И. Ползунова», Барнаул, Россия
Заместитель заведующего кафедрой «Основания, фундаменты, инженерная геология и геодезия»
Кандидат технических наук, доцент
E-mail: barn_38_centr@mail.ru

Осипова Марина Александровна
ФГБОУ ВО «Алтайский государственный технический университет имени И.И. Ползунова», Барнаул, Россия
Доцент кафедры «Основания, фундаменты, инженерная геология и геодезия»
Кандидат геолого-минералогических наук
E-mail: kurator.stf@yandex.ru

Применение георадарной съемки для определения мощности насыпных грунтов

Аннотация. В статье дается описание развития георадарной съемки и задач, решение которых возможно с ее применением. История георадарной съемки прослеживается с начала XX века: метод «просвечивания» горных пород радиоволнами был предложен немецкими учеными Г. Лови и Г. Леймбах в 1910 году для поиска рудных тел и водоносных горизонтов. Созданию и совершенствованию наземных георадаров способствовало изучение Антарктики при картировании льдов с использованием самолетов, когда по отражению радиосигнала от подошвы льда определялась мощность льда на расстояниях в сотни метров. В середине XX века георадары активно использовались и совершенствовались в различных странах, применялись в инженерных изысканиях, геофизике, геологии и археологии. Одним из примеров использования георадиолокации служит съемка лунной поверхности с космического аппарата «Апполон-17» в 1972 году. Однако развитие георадарной съемки шло недостаточно быстро из-за ограничений существовавших технологий обработки получаемых данных. С развитием

цифровых технологий круг задач, решаемых с использованием георадиолокации стал существенно шире. В статье сформулирована цель исследований — обоснование использования георадарной съемки для определения мощности насыпных грунтов, описывается функциональная схема георадара и обосновываются технические характеристики блока управления и антенного блока георадара, представлена технология выполнения работ, результаты и выводы.

Ключевые слова: грунт; основание; сооружение; деформация; осадка; шурф; бурение; насыпной грунт; георадарная съемка; радарограмма; георадарограмма

Введение

В основе метода георадиолокации лежит излучение и прием отраженных электромагнитных волн от различных слоев горных пород, имеющих разную диэлектрическую проницаемость, связанную с физическими свойствами пород, слагающих геологический разрез.

Таким образом при движении (выполнении сканирования) георадара можно получить набор данных в виде радарограммы [1].

На рисунке 1 схематично представлен принцип работы георадара.

На сегодняшний день по результатам георадиолокации получают различные пространственные данные.

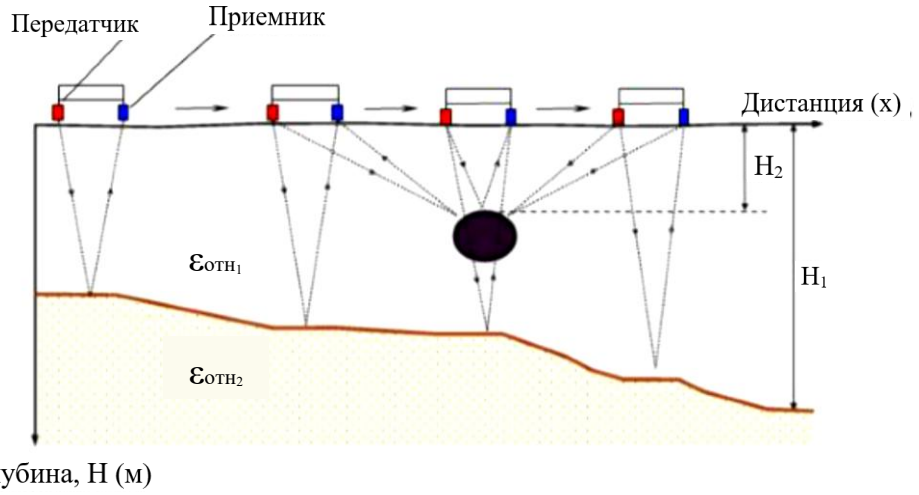


Рисунок 1. *Схема работы георадара (составлено авторами)*

Используя инструменты анализа данных, проводимого на базе геоинформационных систем (ГИС), возможно решение следующих задач в горнодобывающей, строительной отраслях, а также в области инженерной геологии и смежных с ними [2–9][1]:

- выявление изменений (неоднородности) геологической среды, опасных зон и процессов (карстовые пустоты, коллекторы подземных вод и т. д.);
- определение трещиноватости массива при ведении горных работ для безопасной разработки полезных ископаемых и выбора рациональных параметров взрывных работ;

[1] Копейкин, В.В. Распространение электромагнитных импульсов в подземной среде. Первичная обработка георадарных сигналов. Обратная задача георадиолокации [Электронный ресурс] / В.В. Копейкин. — URL: https://www.geo-radar.ru/articles/article5.php (28.09.2025).

- выделение на разрезе различных слоев по их диэлектрической проводимости;
- мониторинг снежного покрова и сбор данных о лавиноопасности склонов;
- обследование зданий, сооружений и их конструкций;
- поиск различных подземных объектов;
- контроль за конструкцией дорожной одежды и пр.

Цель и методы исследований

Исследования выполнялись на площадках одного из нефтяных месторождений Западно-Сибирского региона, верхним слоем которых является насыпной грунт (песок), привезенный из карьера. Основание площадок представлено торфом, суглинками и глинами, редко песком в различных сочетаниях.

Целью исследований является обоснование использования георадарной съемки для определения мощности насыпных грунтов, а именно:

- подтверждение достаточности точности метода георадиолокации, применяемого для определения мощности отсыпки в сравнении с шурфованием и контрольным бурением;
- возможность применения георадиолокационной съемки с использованием металлических маркеров без необходимости геологической проверки результатов прямыми методами.

Измерения выполнялись георадаром «ОКО-3», который является радиотехническим прибором подповерхностного зондирования.

Внешний вид георадара показан на рисунке 2.

Функциональная схема основных компонентов комплекта георадара представлена на рисунке 3.

В ходе исследований эмпирическим путем была подобрана оптимальная для съемки частота антенны 250 МГц, так как съемка с применением более высокой частоты — 700 МГц не позволяет проследить изменчивость геологического разреза.

Рисунок 2. *Георадар «ОКО-3» внешний вид (составлено авторами)*

Рисунок 3. *Функциональная схема георадара «ОКО-3»*[2]

Так же была опробована антенна с частотой 150 МГц, однако использование меньшей частоты не позволило выделить четкие границы и металлические маркеры. На рисунке 4 приведены радарограммы для антенн с разной частотой сигнала. Технические характеристики блока управления и антенного блока георадара выбирались в зависимости от планируемых условий эксплуатации и решаемых задач. Георадарная съемка проводилась в пешем варианте с равномерной (до 3 км/ч) скоростью передвижения. Вдоль профиля велась геодезическая привязка с помощью глобальной навигационной спутниковой системы (ГНСС). Полученные данные по каждому профилю записывались в отдельные файлы.

Предварительно, в соответствии с заводской инструкцией, проводилась запись тестового профиля (20 м), для уточнения параметров измерения и калибровки датчика перемещения. Техническое исполнение георадара и его антенны в виде тележки ограничивает перемещение прибора по неровной поверхности, при обработке профиля также следует исключить те участки, где съемка проходила по ямам и колеям.

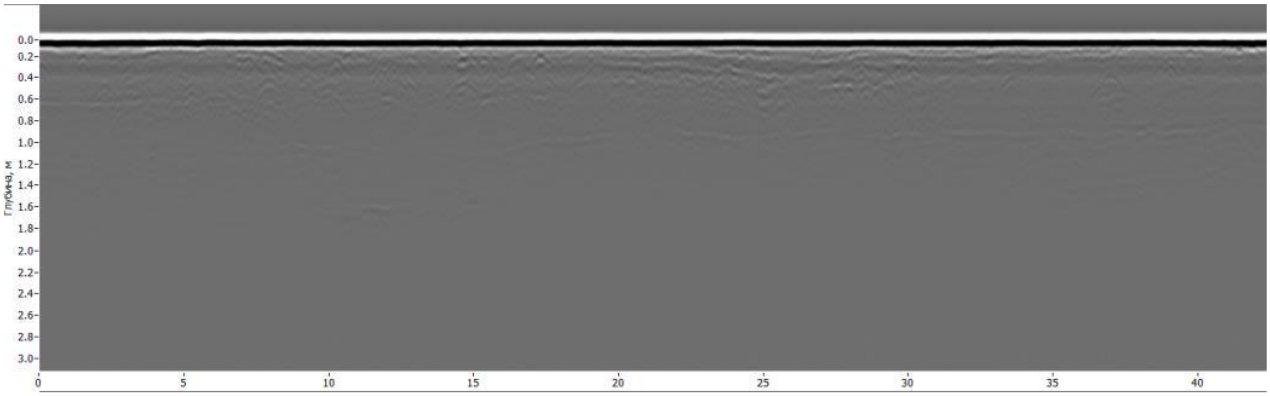
В обработке данных георадарной съемки подповерхностного пространства можно выделить два этапа.

Первый этап — это обработка и анализ радарограмм, расчленение разреза на георадарные слои, выделение локальных объектов и подсвечивание аномальных зон. Результатом данного этапа является временнóй разрез, в котором вертикальная шкала обычно задается в наносекундах.

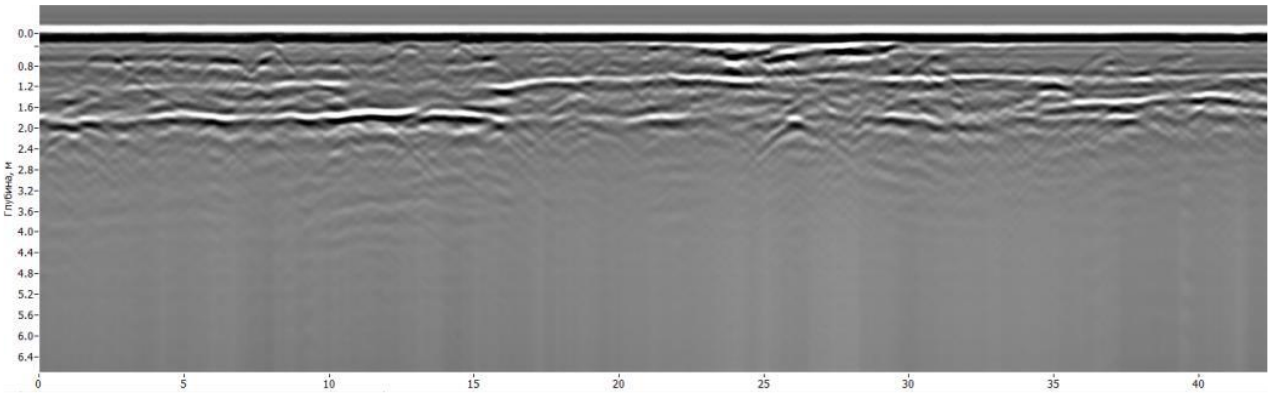
На втором этапе осуществляется переход от временнóго разреза к глубинному для того чтобы иметь возможность корректного отображения выделенных границ и объектов по глубине.

С этой целью проводилась калибровка георадара путем внесения априорной информации о физических характеристиках изучаемой среды (скорости распространения электромагнитных волн, диэлектрической проницаемости). Основным способом обработки пространственной информации, получаемой с использованием георадара, является оценка скорости по годографам дифрагированных волн.

[2] http://old.logsys.ru/georadar-oko-3-bazovyj-komplekt/?utm_medium=organic&utm_source=yandexsmartcamera.



а)



б)

Рисунок 4. *Радарограммы для антенн:*
а — с частотой 700 МГц; б — с частотой 250 МГц (составлено авторами)

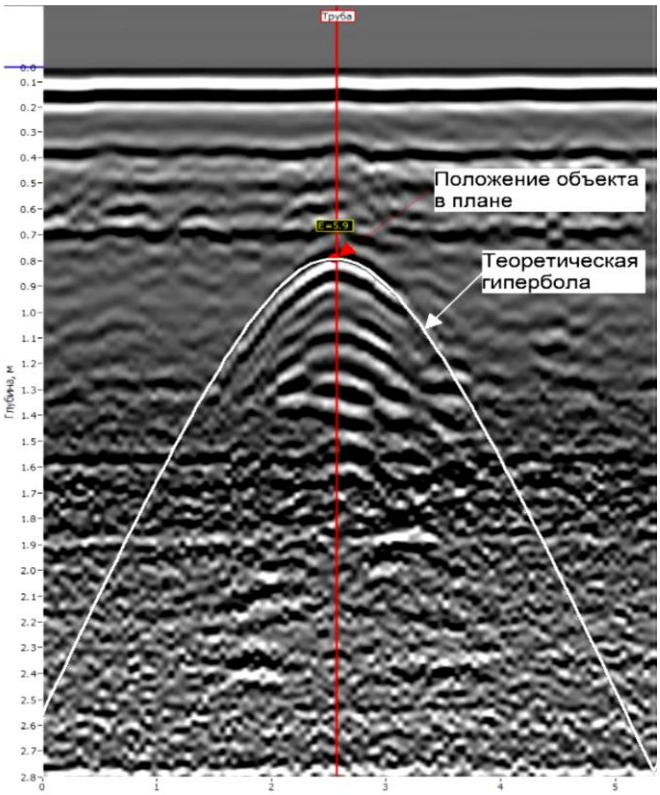


Рисунок 5. *Оценка скорости по годографу дифрагированной волны (составлено авторами)*

На рисунке 5 показан принцип работы при калибровке, когда пользователь задает гиперболу и подбирает параметры максимального совмещения дифрагированной волны на радиограмме с заданной гиперболой.

На точность данного способа оценки пространственной информации существенное влияние оказывает уверенное выделение дифрагированных волн, точность измерения длины профиля и уровень квалификации интерпретатора.

При оценке скорости электромагнитных волн необходимо учитывать, что георадар не является средством измерения. А получаемая скорость используется только для обработки конкретного набора данных.

При переходе к другой кустовой площадке рекомендуется определять скорость электромагнитных волн относительно геологической ситуации на ней.

Для фиксации траектории движения георадара необходимо выполнить привязку георадилокационных данных к местности. Для этого при проведении съемки антенный блок сопровождает геодезист с вешкой, на которой установлен приемник сигналов ГНСС.

В ходе исследований геодезическая привязка профилей производилась в режиме реального времени (RTK) относительно закреплённых на местности геодезических пунктов. Координаты точек профиля записывались в режиме RTK через постоянный интервал, равный 20 м — на рядовых профилях и 1 м — в пределах профилей по шурфам. Спутниковые наблюдения выполнялись двухчастотными мультисистемными ГНСС приемниками.

Для проведения исследований были выбраны три площадки.

Результаты работ

Площадка № 1. Площадка расположена на суходоле, осадка грунта на слабом основании отсутствует.

Рисунок 6. *Контрольный шурф (составлено авторами)*

Площадка выбрана для оценки точности георадарной съемки на однородном грунте. В основание насыпного слоя кустовой площадки при отсыпке были заложены 4 металлические пластины (маркера) размерами 1,5×1,5 метра.

В виду того, что георадиолокация не является прямым методом измерения мощности насыпного слоя, после выполнения георадиолокационных работ было проведено контрольное шурфование для определения фактического положения пластин и границы отсыпки. Шурфование проводилось в 18 точках.

Шурфы использовались для определения значения диэлектрической проницаемости по величине мощности слоя песка. Для определения реального значения диэлектрической проницаемости в точках заложения шурфов на георадарограммах вводилось истинное значение мощности песка.

Общая протяженность профилей составила 1 600 метров.

На рисунке 6 показан контрольный шурф для определения фактического положения пластины-маркера.

Данные по диэлектрической проницаемости сведены в таблице 1.

Таблица 1

Определение значения диэлектрической проницаемости

Шурф	Эпсилон расчетный	Эпсилон реальный	Разница
1	18	9,22	8,78
2	18	45,71	27,71
3	18	19,37	1,37
4	18	15,63	2,37
5	18	27,74	9,74
6	18	27,38	9,38
7	18	26,75	8,75
8	18	23,92	5,92
9	18	23,68	5,68
10	18	33,31	15,31
11	18	15,94	2,06
12	18	35,9	17,9
13	18	24,32	6,32
14	18	25,38	7,38
15	18	24,02	6,02
17	18	16,23	1,77
18	18	21,53	3,53
16 (1пр)	18	42,11	24,11
16 (2пр)	18	23,42	5,42
Среднее значение	18	26,92	8,92

Составлено/разработано авторами

Анализ данной таблицы показывает, что диэлектрическая проницаемость на разных участках имеет неоднородный характер.

Высокое значение диэлектрической проницаемости говорит о повышенной влажности участка, низкое значение — наоборот, о более сухом участке.

Для повторной обработки использовалось среднее значение диэлектрической проницаемости равное 26,92, которое было определено по 18 значениям.

Для дальнейшей обработки полученных георадиолокационных данных использовалась программа «CartScan» (ООО «Геотех», г. Москва), на рисунке 7 показан обработанный профиль с границами отсыпки.

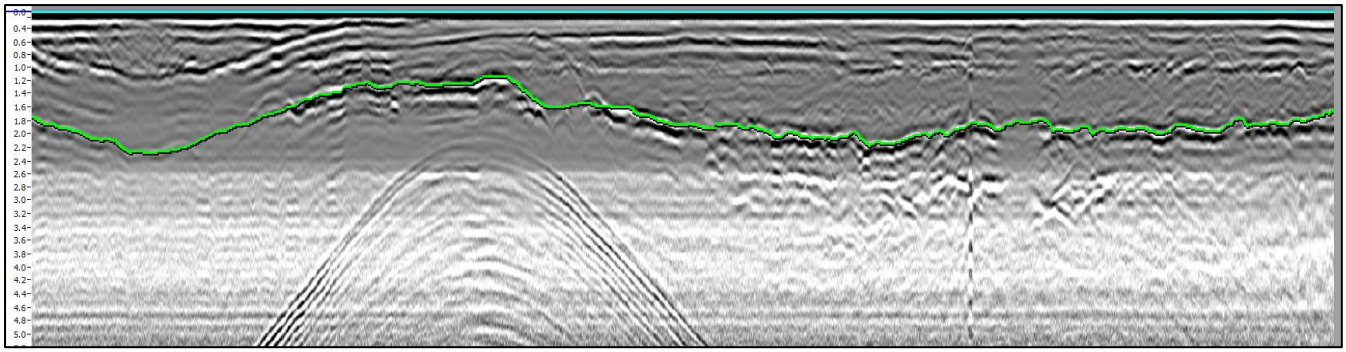


Рисунок 7. *Контрастная граница, соответствующая границе отсыпки песком и естественному основанию (составлено авторами)*

В ходе обработки была выделена контрастная граница, соответствующая границе песчаной отсыпки и естественному основанию.

Данные по определению мощности слоев по результатам георадиолокации и контрольному шурфованию приведены в таблице 2.

Таблица 2

Определение значения диэлектрической проницаемости и мощности насыпного грунта на площадке № 1

Номер точки на схеме	Номер точки (на радарограмме)	Мощность слоя песка (м)			Разница мощности слоев (м) шурфование — георадар	
		Шурфование	Георадар ($E_{расч}$ = 18)	Георадар ($E_{средн.}$ = 26,92)	Георадар ($E_{расч}$ = 18)	Георадар ($E_{средн}$ = 26,92)
1	1 658	1,09	0,79	0,67	0,30	0,42
2	102	0,67	0,96	0,80	0,29	0,13
3	119	1,16	1,19	1,00	0,03	0,16
4	1 419	0,87	0,83	0,70	0,30	0,42
5	603	0,88	1,05	0,89	-0,29	-0,13
6	144	0,89	1,10	0,86	-0,03	0,16
7	1 656	0,65	0,76	0,64	0,04	0,17
8	101	0,9	0,99	0,83	-0,17	-0,01
9	1 304	0,8	0,90	0,76	-0,21	0,03
10	1 412	0,97	1,26	1,05	-0,11	0,01
11	1 209	0,93	0,87	0,74	-0,09	0,07
12	1 114	0,73	0,98	0,82	-0,10	0,04
13	914	0,87	0,99	0,83	-0,29	-0,08
14	422	0,97	1,14	0,93	0,06	0,19
15	415	0,73	0,80	0,67	-0,25	-0,09
16	143	0,79	1,11	0,93	-0,12	0,04
16	205	0,79	0,99	0,83	-0,17	0,04
17	316	0,64	0,61	0,52	-0,07	0,06
18	139	0,67	0,70	0,59	-0,32	-0,14
				Среднее значение	0,11	0,05

Составлено/разработано авторами

Площадка № 2. Так же, как и площадка № 1, расположена на суходоле, в процессе строительства заложены маркеры другого типа — в виде металлических труб (рис. 8, 9).

Съемка проводилась по линейным профилям.

Сетка профилей была спроектирована таким образом, чтобы получить отклик от среды в местах, где нет маркеров, а также от самих искомых объектов. Всего на площадке № 2 было отработано 19 профилей общей протяженностью 3 740 м.

Рисунок 8. *Маркер в виде металлической трубы (составлено авторами)*

Значение диэлектрической проницаемости было принято равным 4,5, что соответствует установленному значению для мерзлого песка, слагающего насыпной слой.

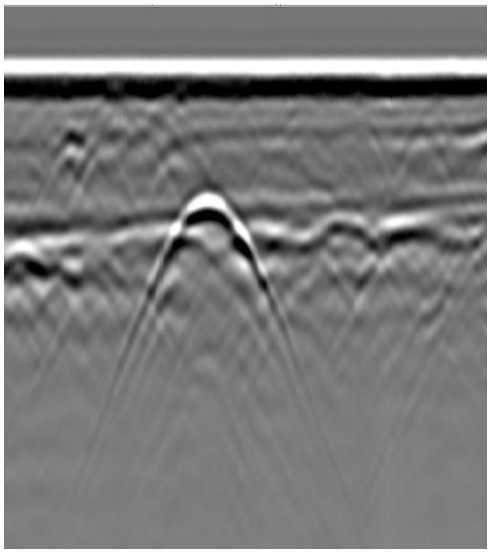


Рисунок 9. *Проявление маркера (металлическая труба) на георадарограмме (составлено авторами)*

Помимо труб, в качестве маркера на площадке № 2 была заложена одна металлическая пластина толщиной 10 мм. На георадарограмме пластина отобразилась значительно хуже по сравнению с трубами: закономерно отсутствуют какие-либо гиперболы, а лишь более контрастной становится граница между песчаной толщей и черновыми подстилающими породами (рис. 10). В связи с этим, при использовании технологии георадиолокации для определения мощности насыпного слоя стоит отдать предпочтение маркерам в виде труб или полутруб.

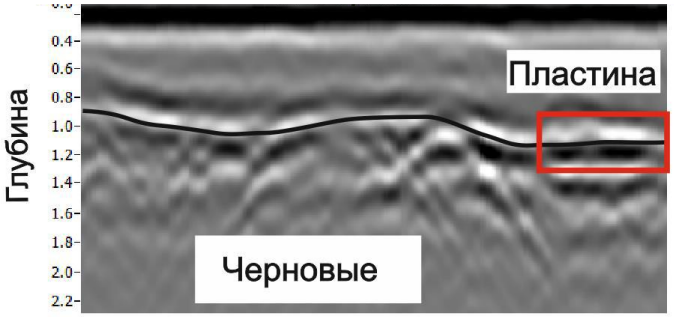


Рисунок 10. *Отображение маркера в виде металлической пластины на георадарограмме (составлено авторами)*

По результатам обработки и интерпретации данных, полученным по проходящим через маркеры профилям площадки № 2, была составлена таблица 3, отражающая погрешности определения мощности отсыпки.

Площадка № 3 относится к типу кустовых площадок с наблюдаемой осадкой грунта и мощностью насыпного слоя, что делает задачу по корректному определению мощности песчаной насыпи еще более актуальной.

Таблица 3

Определение значения мощности насыпного грунта на площадке № 2

Маркер	Отметка при заложении, м	Отметка при георадарной съемке (на поверхности), м	Разности (3)-(2), м	Глубина маркера по радарограмме, м	Разности (5)-(4), м
1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**
5 труба 189 мм	59,57	60,68	1,11	1,00	-0,11
6 труба 189 мм	59,08	60,41	1,33	1,20	-0,13
4 полутруба шириной 100 м	59,63	60,67	1,04	0,90	-0,13
2 труба 189 мм	60,08	60,75	0,67	0,72	0,05
1 труба 189 мм	60,12	60,87	0,75	0,80	0,05
3 пластина 10мм	59,65	60,76	1,11	1,20	0,09
				Среднее значение	-0,03

Составлено/разработано авторами

На площадке № 3 при выполнении насыпного слоя металлические маркеры в толщу грунта заранее установлены не были.

В основание песчаной толщи была уложена композитная георешетка с геотекстилем РД/М-40/300-50×50.

Строение такого рода решетки и материалы, из которых она изготовлена, усложняют задачу по ее идентификации на радарограммах.

Диэлектрическая проницаемость георешетки существенно не отличается от средней по изучаемому разрезу, а особенности ее строения позволяют предположить, что на разрезе она будет проявляться в виде небольших гипербол малой амплитуды. В таких условиях значимую информацию приносят контактные методы наблюдения.

Для определения погрешностей при определении мощности насыпного слоя по георадарограммам на площадке № 3 было выполнено шурфование с целью определения глубины заложения георешетки.

Координаты шурфов и отметки их дна были определены в ходе геодезической съемки в RTK режиме и взяты в обработку. В связи с ограниченностью светового дня и продолжительности работ, отдельные шурфы не были покрыты съемкой.

Однако, полученная информация позволяет статистически обоснованно подходить к формированию выводов по результатам работ.

Отметим, что в процессе шурфования было обнаружено, что верхняя часть геологического разреза (глубины до 1,2–1,5 м) представляет собой мерзлый песок (рис. 11).

Аналогичные условия имели место на площадке № 2.

Однако, в нижней части разреза представлен влажный или увлажненный песок, который не был охвачен съемкой на площадке № 2.

Наличие двух слоев с разной диэлектрической проницаемостью (мерзлый песок — 4,5; влажный песок — 11,0) создало дополнительные сложности в процессе обработки данных.

Георадарная съемка на участках № 3 и № 2 проводилась по одной и той же методике. Конфигурация профилей на данных участках существенно не отличалась, за исключением того, что на площадке № 3 для детализации данных дополнительно были пройдены профили через шурфы. На георадарограммах площадки № 2 отчетливо выделяется граница на глубине 1,0–1,35 м. Граница высокоамплитудная, латерально выдержанная и присутствует на всех профилях (рис. 12).

Рисунок 11. *Шурф на площадке № 3 (составлено авторами)*

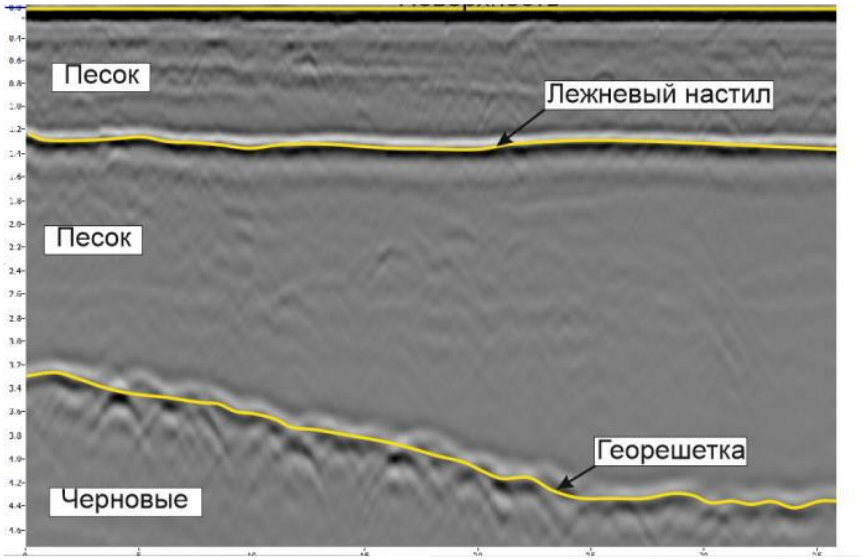


Рисунок 12. *Георадарограмма площадки № 2 с границами лежневого настила и георешетки (составлено авторами)*

По характеру проявления на разрезе и выдержанности по площади (наблюдается в основном в юго-западной части участка), можно предположить, что данная граница представляет собой лежневый настил.

Однако, стоит отметить, что эта приповерхностная граница также отмечается и в северо-восточной части участка. Здесь она становится не такой выдержанной и менее отчетливой. Нередко граница прерывается или разделяется. Отмечается корреляция положения этой границы и области перехода от мерзлого песка к влажному, выделенного примерно на такой же глубине. Таким образом, использование георадиолокации дает возможность определить границу между мерзлым и увлажненным слоем грунта. Для точного определения природы наблюдаемых границ рекомендуется проведение дополнительных исследований. Идентификация на разрезах георешетки была облегчена за счет подбора нескольких фильтраций и корректного профиля усиления для всего разреза. Преимущественно на всех профилях георешетка проявлялась по небольшим гиперболам дифрагированных волн, как показано на рисунке 13. Небольшая контрастность по диэлектрической проницаемости георешетки в условиях однообразного (песок мерзлый, песок влажный) разреза позволяет трассировать границу «насыпной грунт — черновые породы», однако это требует включения дополнительных процедур в этап обработки данных и увеличивает время получения результата работ.

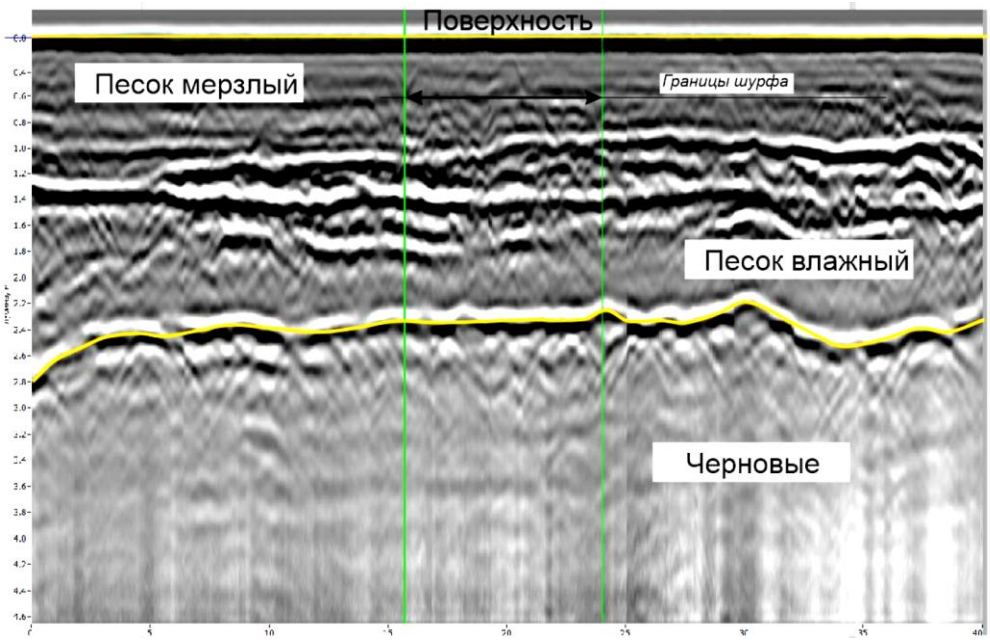


Рисунок 13. *Георадарограмма площадки № 3*
(промерзший и влажный песок в шурфе) (составлено авторами)

Наибольший интерес представляли данные, полученные по результатам георадарной съемки по шурфам, для которых глубина положения георешетки была определена прямым методом. Для пяти шурфов по результатам обработки и интерпретации георадарограмм была определена глубина положения георешетки (рис. 14). Было рассчитано, что глубина положения георешетки, вычисленная по георадарограммам в среднем отличается от глубины, определенной контактным методом, на 39 см (табл. 4). Однако стоит учесть, что глубину положения георешетки, определенную шурфованием, нельзя рассматривать как «истинную», так как имеют место погрешности при вскрытии шурфа ковшом экскаватора. Таким образом, результат в 39 см выглядит относительно точным. Помимо этого, трассировка границы «насыпной грунт — черновые породы» между шурфами позволяет определить морфологию подошвы песка и количественно измерить степень осадки куста в разных его частях.

Таблица 4

Определение значения мощности насыпного грунта на площадке № 3

№ скважины	Отметка поверхности, м	Глубина по шурфованию, м	Профили	Отметка по георадарограммам, м	Разница, м
15	61,12	3,1	Скв15	2,42	0,68
17	61,12	3,5	Скв17	3,22	0,28
54	61,03	2,66	Скв54	2,42	0,24
61	60,92	2,75	Скв61_001	2,12	0,63
76	58,02	2,25	Скв76_001	2,14	0,11
				Среднее значение	0,39

Составлено/разработано авторами

На площадке № 3, для подтверждения объемов выполненных работ по устройству насыпного слоя, было проведено контрольное бурение шнеком, установленным на экскаватор. Точность шнекового бурения составляет 0,5–0,75 метра (при условии рейсового бурения), что является одним из его серьезных недостатков.

Точность колонкового бурения выше шнекового и составляет 0,25 метра, но произвести колонковое бурение в насыпной грунт оказались невозможными.

Для оценки фактической точности шнекового бурения выборочно проведено шурфование площадки в местах бурения скважин. Характеристики контрольного бурения и шурфования приведена в таблице 5.

Таблица 5

Значения мощности насыпного грунта по данным бурения и шурфования

№ скважины	Мощность по бурению, м	Мощность по шурфованию, м	Разница, м
4	4,60	4,30	0,30
5	3,85	3,60	0,25
15	3,45	3,10	0,35
17	3,70	3,50	0,20
28	3,53	3,30	0,23
47	2,00	1,89	0,11
54	3,10	2,66	0,44
61	3,00	2,75	0,25
70	2,50	2,10	0,40
76	2,70	2,25	0,45

Составлено/разработано авторами

Так же, как указывалось ранее, шурфование не дает «истинного» значения мощности отсыпки. В шурфах глубиной свыше 1,5 метров определение нижний границы становится затруднительным из-за проблем обрушения стенок шурфа (рис. 14) и возможного избыточного заглубления шурфа ковшом экскаватора.

Выводы и рекомендации

В результате проведенных исследований можно сформулировать следующие выводы:

1. Точность результатов определения границ насыпного слоя грунта, полученных по данным георадиолокационной съемки, выше по сравнению с точностью контрольного бурения.
2. В условиях сухой площадки размещение в основании отсыпки нескольких маркеров в виде металлической трубы диаметром не менее 189 мм является минимально достаточным условием для уверенной (с погрешностью до 15–20 см) идентификации границы «насыпной грунт — черновые породы».

3. Сочетание маркеров (трубы диаметром 189 мм и георешетки) позволяет однозначно устанавливать границу «насыпной грунт — черновые породы» и следить за уровнем осадки грунта в условиях болотистой или обводненной площадки.
4. Вне зависимости от выбора маркеров и наличия или отсутствия осадки для эффективного применения технологии георадарной съемки требуется выполнить не менее 2 шурфов для верификации диэлектрической проницаемости по разрезу.
5. Маркеры должны быть равномерно распределены по площади насыпного слоя. Минимальное (достаточное) количество маркеров для достижения точности порядка 15–20 см от 6 до 10 штук на кустовую площадку. В условиях наличия осадки грунта рекомендуется увеличить количество маркеров до 12–15 штук на площадку.

Рисунок 14. *Выполнение шурфования экскаватором. Обрушение стенок шурфа (составлено авторами)*

ЛИТЕРАТУРА

1. Сухобок, Ю.А. Обработка георадарных записей с целью поиска локальных неоднородностей / Ю.А. Сухобок, М.В. Абанин, А.С. Трещалова // Научно-техническое и экономическое сотрудничество стран АТР в XXI веке: труды Всероссийской молодежной научно-практической конференции с международным участием, 20–22 апреля 2011 г. В 5 т. / под ред. А.Ф. Серенко. — Хабаровск: Изд-во ДВГУПС, 2011. — Т.2. — С. 186–190.

2. Логинов Д.С. ГИС-проект как единое пространство для работы с геолого-геофизическими данными // Интерэкспо Гео-Сибирь. — 2021. — Т. 3. — №. 2. — С. 259–266.

3. Рагулина Г.А., Мелвольд Х., Русин И.Н., Салоранта Т.М. Георадарное исследование снежного покрова на горном плато Хардангервидда, Норвегия, в 2008–2011 годах // Вестник СПбГУ. 2013. Сер. 7. Вып. 2. С. 108–118.

4. Шевченко, И.Н. Определение координат точечной цели при подповерхностном зондировании / И.Н. Шевченко // Journal of Siberian Federal University. Engineering & Technologies 1. —2011. — № 4. С. 25–34.

5. Пупатенко, В.В. Определение влажности песчаных грунтов по данным георадиолокации / В.В. Пупатенко, Ю.А. Сухобок // Применение геоматериалов при строительстве и реконструкции транспортных объектов: материалы Ш международной научно-технической конференции, Санкт-Петербург, 15–16 мая 2013 года. — СПб.: Петербургский государственный университет путей сообщения, 2013. — с. 60–63.

6. Григорьева С.Д., Киньябаева Э.Р., Кузнецова М.Р. Программа комплексного мониторинга опасных природных объектов района станции Прогресс: основные результаты работ 2017–2021 годов // Российские полярные исследования. — 2021в. — Т. 45. — №3. — С. 13–15.

7. Jackson L.E. A catastrophic glacial outburst flood (jökulhlaup) mechanism for debris flow generation at the Spiral Tunnels, Kicking Horse River basin, British Columbia // Can. Geotech, J. — 1979. — Т. 16. — С. 806–813.

8. Kallay N., Cop A., Chibowski R., Holysz L. Reversible charging of the ice-water interface. II. Estimation of equilibrium parameters // Journal of Colloid and Interface Science. — 2003. — Т 259. — С. 89–96.

9. Kulessa B., Chandler D., Revil A., Essery R. Theory and numerical modeling of selfpotential signatures of unsaturated flow in melting snow // Water Resourses Research. — 2012. — Т. 48, № 9 — С. W09511. — https://elibrary.ru/item.asp?id=20650340.

10. Дутчина, А.И. Автоматическое детектирование локальных неоднородностей на георадарных профилях / А.И. Дутчина, Ю.А. Сухобок, А.В. Рудь // Научно-техническое и экономическое сотрудничество стран АТР в XXI веке. — 2021. — Т. 2. — С. 246–249. — EDN KUWYDW.

Noskov Igor Vladislavovich
Polzunov Altai State Technical University, Barnaul, Russia
E-mail: noskov.56@mail.ru

Cherepanov Denis Nikolaevich
Polzunov Altai State Technical University, Barnaul, Russia
E-mail: cherepanovden@mail.ru

Azarov Boris Fedotovich
Polzunov Altai State Technical University, Barnaul, Russia
E-mail: barn_38_centr@mail.ru

Osipova Marina Alexandrovna
Polzunov Altai State Technical University, Barnaul, Russia
E-mail: kurator.stf@yandex.ru

The USE of GPR imaging to determine the thickness of bulk soils

Abstract. The article describes the development of GPR photography and the tasks that can be solved with its application. The history of GPR can be traced back to the beginning of the 20th century: the method of «screening» rocks with radio waves was proposed by German scientists G. Lovi and G. Leimbach in 1910 to search for ore bodies and aquifers. The creation and improvement of ground-based GPR was facilitated by the study of Antarctica when mapping ice using aircraft, when the reflection of a radio signal from the bottom of the ice determined the thickness of the ice at distances of hundreds of meters. In the middle of the 20th century, ground-penetrating radars were actively used and improved in various countries, used in engineering, geophysics, geology and archeology. One example of the use of georadiolocation is the survey of the lunar surface from the Apollo 17 spacecraft in 1972. However, the development of GPR was not fast enough due to the limitations of existing data processing technologies. With the development of digital technologies, the range of tasks solved using geolocation has become much wider. The article formulates the purpose of the research — substantiating the use of ground-penetrating radar to determine the power of bulk soils, describes the functional scheme of the ground-penetrating radar and substantiates the technical characteristics of the control unit and the antenna unit of the ground-penetrating radar, presents the technology of work, results and conclusions.

Keywords: soil; foundation; structure; deformation; sediment; pit; drilling; bulk soil; georadar survey; radarogram; georadarogram