ГИАБ. Горный информационно-аналитический бюллетень /
MIAB. Mining Informational and Analytical Bulletin, 2021;(12–1):243–254
ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ / ORIGINAL PAPER

УДК 550.837.76:622.7 DOI: 10.25018/0236_1493_2021_121_0_243

ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТИ СТРОЕНИЯ ТЕХНОГЕННЫХ ОТВАЛОВ МЕТОДОМ ГЕОРАДИОЛОКАЦИИ

Л. Л. Федорова[2], Г. А. Куляндин[1], С. И. Поисеева[2]

[1] Институт горного дела Севера им. Н. В. Черского СО РАН, Якутск, Россия;
2 Северо-восточный федеральный университет им.М. К.Аммосова, Якутск, Россия

Аннотация: Любое производство связано с образованием отходов, негативно влияющих на экосистемы. Для их дальнейшей переработки, рекультивации или утилизации необходима достоверная информация об объеме и строении отвалов. Рассмотрены возможности георадиолокации для решения задач исследования техногенных образований. Представлены материалы георадиолокационных исследований техногенных отвалов на территории распространения многолетней мерзлоты. Геофизические работы по отвалам техногенного месторождения и свалке бытовых отходов проведены в зимнее время при полном их промерзании. В летний период с водной поверхности обследовались отвалы дражной отработки, скрытые под водой. На примере радарограмм, полученных на отвалах с россыпного месторождения золота, рассмотрены характеристики волновых полей. По ним выработаны интерпретационные признаки морфоструктурных неоднородностей в строении отвалов, позволяющие определять границы слоев различных отходов, наличие металлических включений, участков валунов и зон обводнений (повышенной влажности). При исследовании отвалов на дражном полигоне георадиолокацией выделяется галечный и эфельный материал, прослеживается граница коренных пород в основании техногенных образований. На свалке бытовых отходов определен волновой образ, соответствующий техногенно-загрязненным грунтам, по которому на радарограммах оконтурены зоны загрязнений и построена карта изолиний мощности их площадного распределения. В заключении сделаны выводы о возможности прослеживания границ слоев, составляющих отвал, отличающихся по каким-либо свойствам, и проведения более точного пространственного анализа форм отложений на основе классификации типов волновых картин.

Ключевые слова: георадиолокация, строение техногенных отвалов, гале-эфельные отвалы, отвалы бытовых отходов, техногенные загрязнения, участки повышенной влажности, радарограмма, интерпретационные признаки, волновой образ, волновая картина.

Для цитирования: *Федорова Л. Л., Куляндин Г. А., Поисеева С. И.* Исследование особенности строения техногенных отвалов методом георадиолокации // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2021. — № 12–1. — С. 243–254. DOI: 10.25018/0236_1493_2021_121_0_243.

Structural investigation of waste piles by radiolocation

L. L. Fedorova[2], G. A. Kulyandin[1], S. I. Poiseeva[2]

[1] Chersky Mining Institute of the North, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, Yakutsk, Russia;
[2] M. K. Ammosov North-Eastern Federal University, Yakutsk, Russia

© Л. Л. Федорова, Г. А. Куляндин, С. И. Поисеева. 2021

Abstract: Any industry produces waste which has adverse environmental effect. Processing, recycling or disposal of waste requires reliable information on volume and structure of waste piles. This article discusses capabilities of radiolocation in investigation of waste piles. The radiolocation studies of waste piles in the permafrost zone are presented. The geophysical surveys of mining waste piles and municipal waste dumps were performed in winter, after complete freezing of waste. In summer, submerged dredging waste was surveyed from water surface. The wave patterns were analyzed using radarograms of gold placer dumps. From the analysis, the interpretation signs of morphostructural heterogeneities in the dump structure were developed to detect interfaces of different waste layers, or identify pockets of metals, boulders and water invasion (higher moisture content). Radiolocation of dredging waste distinguished between the dredge and sluice tailings, and traced the boundary of parent rocks at the bottom of the tailings pond. At the municipal waste dump, the wave image of polluted soil was identified, the pollution zones on the radarograms were delineated, and the map of the contour lines was plotted to analyze their areal extent. To sum up, it is possible to detect interfaces of layers inside a waste pile based on certain properties and to perform high-accurate spatial analysis of waste based on classification of wave patterns.

Key words: radiolocation, waste pile structure, dredge and sluice tailings, municipal waste dumps, industrial pollution, higher moisture content areas, radarogram, interpretation signs, wave image, wave pattern.

For citation: Fedorova L. L., Kulyandin G. A., Poiseeva S. I. Structural investigation of waste piles by radiolocation. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2021;(12–1):243–254. [In Russ]. DOI: 10.25 018/0236_1493_2021_121_0_243.

При преобразовании естественных экосистем в процессе развития горнопромышленного производства сформировались так называемые техногенные ландшафты, которые отличаются от естественных ландшафтов структурой, рельефом, гидрологическим режимом, субстратом и др.

Основными видами нарушения экосистем в результате деятельности горнодобывающих предприятий являются наземные насыпи (промплощадки, отвалы, автодороги), земляные выемки (карьеры, нагорные и руслоотводные канавы и др.), обводнённые территории (отстойники, пруды–накопители) и линейные инженерные сооружения. Значительное воздействие на территорию оказывает размещение спецотвалов пустых пород от выработки основных площадок и отвалов вскрышных пород. Негативное воздействие человеческой деятельности в связи с разработкой богатейших месторождений полезных ископаемых на природную среду Республики Саха (Якутия) усиливается вследствие хрупкости северных экосистем, длительного срока восстановления, иногда потери способности к восстановлению. Кроме того, любое производство связано с отходами, оказывающими пагубное влияние на биогеоценоз.

Согласно сведениям, представленным Управлением Росприроднадзора по РС(Я), на территории республики за 2019 год было образовано 529,0 млн тонн отходов (123,8% от уровня 2018 г.). Более 99% образовавшихся отходов представлены отходами 5 класса опасности, которые образуются в результате деятельности добывающей промышленности. Основную массу отходов составляют вскрышные породы, хвосты флотации и цианирования руд, отходы породы при обогащении угольного сырья, отходы промывки песков при золотодобыче и алмазодобыче, отвалы и золошлаки. Так, подразделениями АК «АЛРОСА» (ПАО) в 2019 году образовано отходов 81,8 млн тонн [1].

Загрязнение экосистем промышленными и бытовыми отходами влечет за собой ухудшение качества жизнедеятельности человека. Загрязнители, попав в атмосферный воздух, почву, водоемы, включаются в биогеохимический круговорот веществ биосферы. Загрязнители мигрируют из загрязненных почв в поверхностные и грунтовые воды, затем из грунтовых вод попадают в ткани растений и по пищевой цепи, через жвачных животных и птиц, — в мясомолочную продукцию, которой питается человек. По пищевой цепи загрязнители могут попадать в организм, накапливаться и вызывать тяжелые заболевания, в том числе онкологические.

В связи с этим наибольшую актуальность приобретают методы современного зондирования экосистем. Применение метода георадиолокации — одно из эффективных современных направлений исследований техногенных загрязнений. Универсальность метода георадиолокации позволяет использовать его в самых различных прикладных областях науки [2—7]. С экологической точки зрения возможности применения метода георадиолокации достаточно широки — можно проследить, насколько глубоко загрязнены почвенно-гидрологические горизонты различными промышленными и бытовыми отходами, тем самым оптимизировать рекультивационные работы на загрязненных территориях. Местами формирование отвалов происходит заполнением естественных и специально подготовленных углублений на земной поверхности (оврагов, рвов, котлованов). В дальнейшем оценка накоплений отходов на таких объектах затруднена, т. к. часть их скрыта в углублениях рельефа.

В данной статье возможности метода георадиолокации для решения задач изучения строения техногенных отвалов представлены на примерах исследования отходов дражной отработки на россыпном месторождении золота и свалки бытовых отходов, планируемой к утилизации.

Оборудование и методы

Полевые георадиолокационные исследования техногенных отвалов проведены на территории Республики Саха (Якутия) в условиях распространения многолетней мерзлоты. В работе применялся георадар «ОКО-2М» с антенным блоком АБ250М (центральная частота 250 МГц), позволяющий изучать грунты до глубины 8 м [8]. Данные георадиолокации записаны по методике непрерывного профилирования [9]. Их географическая привязка местоположения осуществлялась с помощью системы глобального позиционирования (GPS приёмник Garmin eTrex20).

Геофизические работы по отвалам проведены в зимнее время при полном их промерзании (рис. 1). Отвалы, скрытые под водой, обследовались в летний период с поверхности водоема, на участке, отработанном драгой. Для мерзлых песков различного гранулометрического состава значения диэлектрической проницаемости ($\varepsilon_{\text{›}}$) находятся в диапазоне 3,5—6,5 [10]. По полевым данным с обследуемых участков техногенных отвалов методическим способом определена средняя диэлектрическая проницаемость $\varepsilon_{\text{›}}$ = 4, используемая для глубинного масштабирования георадиолокационных разрезов.

Результаты и обсуждение

В качестве примера георадиолокационного обследования отвалов дражной отработки россыпного месторождения золота представлена радарограмма протяженностью более

Рис. 1. Георадиолокационные исследования отвалов дражной отработки на месторождении россыпного золота
Fig. 1. Georadiolocation studies of dredge mining dumps at the placer gold deposit

35 м (рис. 2). На ней выделена кровля коренных пород на глубине 5—7 м и слой дражных отвалов. При этом по волновым полям прослеживается сортировка песков по гранулометрическому составу в процессе дражной переработки. Галечный слой на радарограмме отличается от эфельного наличием большого количества гипербол, возникающих при дифракции электромагнитных волн на крупной гальке и валунах. Хаотичное распределение гипербол формирует своеобразную волновую картину, которая существенно отличается от волнового образа песков [11—13]. Таким образом, по данным георадиолокации в перемытых песках можно выделить две основные составляющие: галечный и эфельный материал, а при площадных исследованиях еще и оценить их объем.

Георадиолокационные исследования между дражными ходами позволили обнаружить отвалы, скрытые под водой (рис. 3). На представленной радарограмме можно проследить геометрию отвалов и границу коренных пород до глубин более 5 м. По описанным выше характеристикам волнового поля установлено, что данные отвалы представлены в основном галечным материалом с включением крупных валунов, проявляющихся на радарограмме как отдельные гиперболы.

Представленные материалы с техногенных россыпей показывают возможность оценки методом георадиолокации мощности отвалов, расчленение их по гранулометрическому составу и локализации зон крупноглыбовых отложений.

Далее приводятся результаты георадиолокационного картирования и определения морфоструктурного строения отвалов на примере свалки бытовых отходов. В момент обследования они находились в мерзлом состоянии, т. к. температура окружающего воздуха длительное время была ниже –45°С. На территории несанкционированной свалки исследования проведены на площади более 90 тыс. кв. м. Обследование грунтов и отвалов на участках выполнено по тринадцати профилям (рис. 4).

В результате изучения особенностей георадиолокационных сигналов, полученных при зондировании грунтов на территории свалки, было установлено, что волновой образ техногенно-загрязненных грунтов характеризуется прерывистыми (хаотичными) осями синфазности, которые сформированы волнами дифракции от локальных объектов и структурных неоднородностей грунта (рис. 5 *а, г*) [14—17]. Загрязненные участки с включением металла имеют схожий волновой образ, однако их особенностью является так называемый «звон» [18—20]. Он образуется в результате многократных отражений электромагнитных волн от металлической поверхности — например от металлических труб (рис. 5 *б, г*). Таким образом, на радарограмме наблюдается последовательность повторяющихся отраженных сигналов во всем временном диапазоне реги-

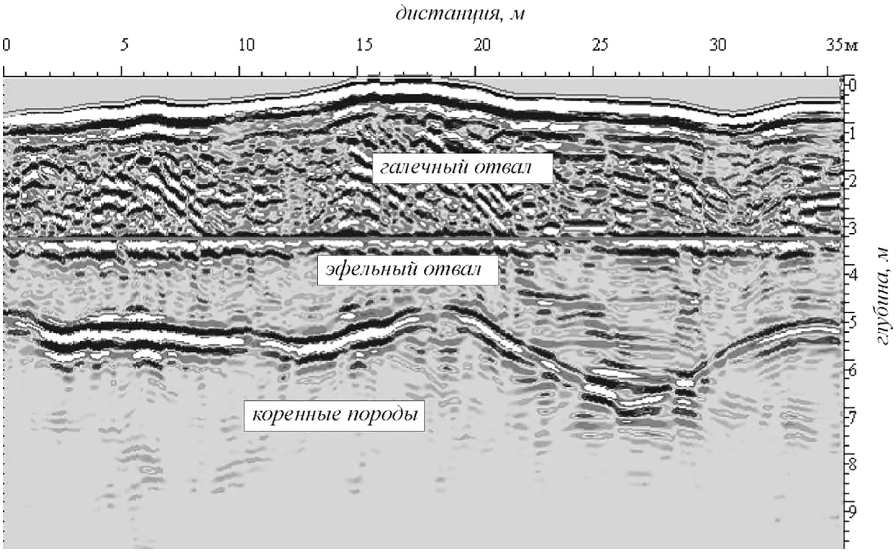


Рис. 2. Георадиолокационный разрез отвалов дражной отработки на месторождении россыпного золота
Fig. 2. Georadiolocation section of dredge mining dumps at the placer gold deposit

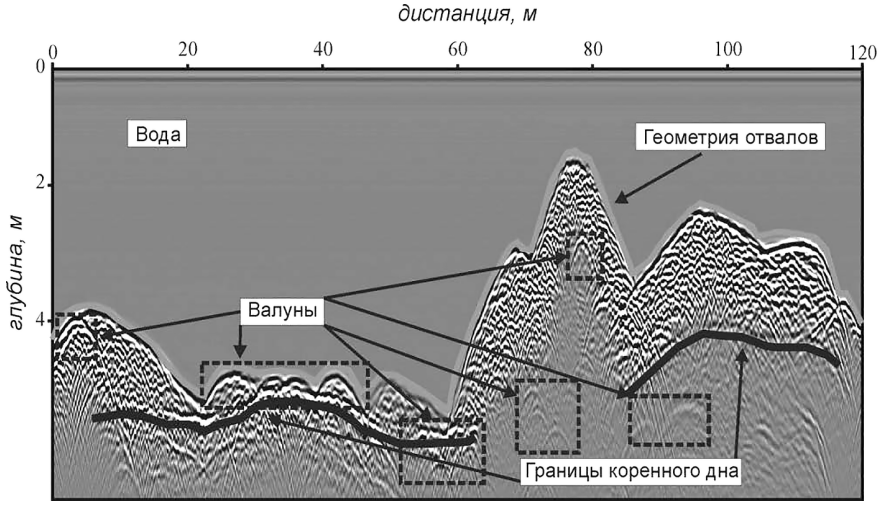
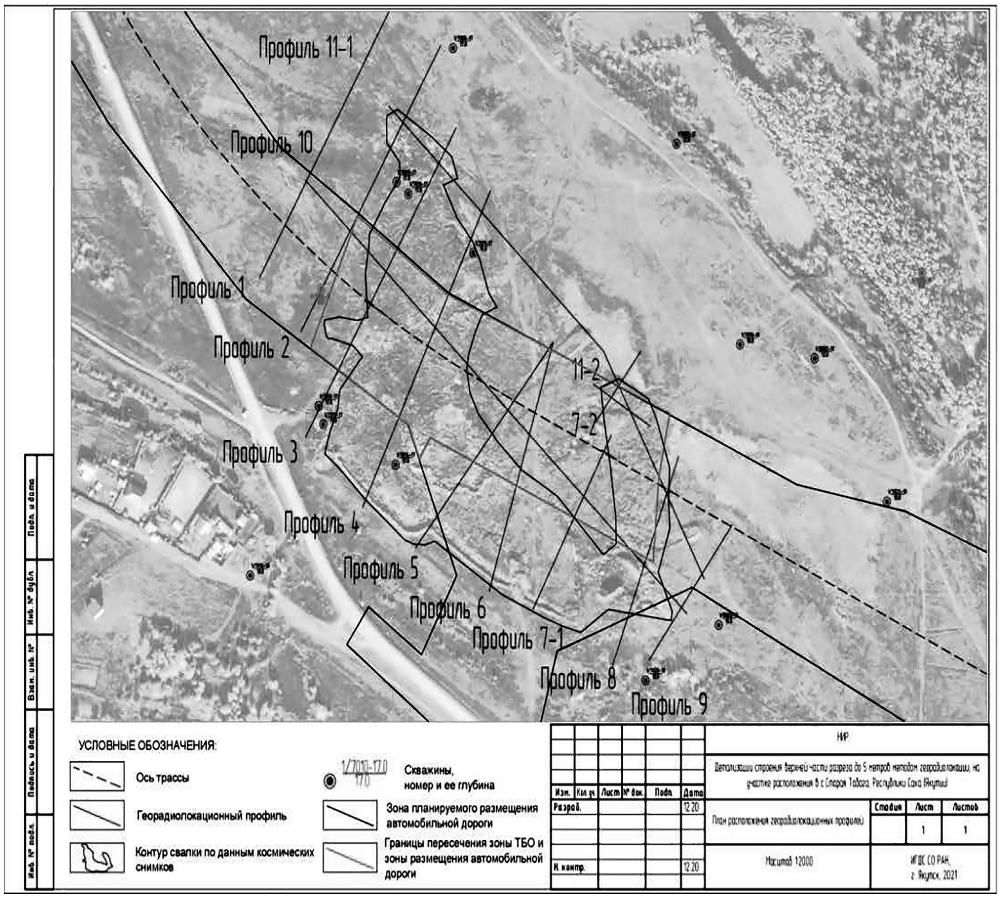


Рис. 3. Данные георадиолокации отвалов с водной поверхности дражного полигона
Fig. 3. Georadiolocation data of dumps from the water surface of the draining landfill

страции данных. Соседние георадиолокационные трассы имеют более ровные по времени задержки и равномерные по амплитудам сигналы и соотносятся с незагрязненными грунтами. Кроме описанных волновых картин на радарограммах присутствуют сигналы от геологических границ, связанных с участками повышенной влажности — дренажем минерализованных грунтовых вод [21—23]. Они характеризуются непрерывными осями синфазности, образованными высокоамплитудными отраженными сигналами (рис. 5, *в*). Местами техногенные жидкости замерзают в толще грунтов и потом обнару-



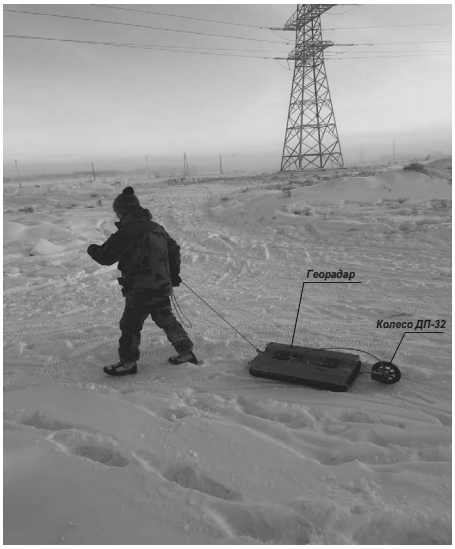
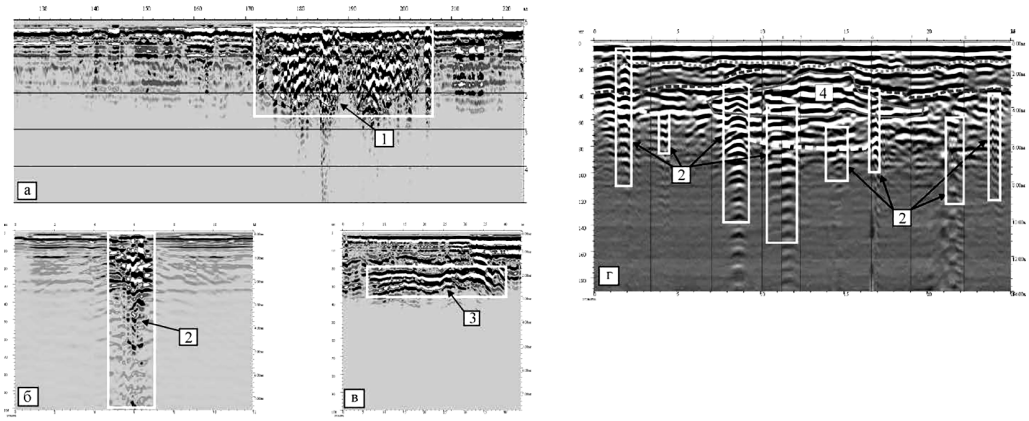


Рис. 4. План георадиолокационных профилей и участок проведения исследований
Fig. 4. The plan of geo-radar profiles and the research site



Условные обозначения:

1 - волновой образ техногенно-загрязненных грунтов;

2 - волновой образ техногенно-загрязненных грунтов с включениями металла;

3 - волновой образ границ с повышенной влажностью;

4 - волновой образ линзы льда техногенного происхождения.

Рис. 5. Георадиолокационные разрезы с выделением участков загрязненных грунтов по волновым образам
Fig. 5. Geo-radar sections with the allocation of contaminated soil areas by wave images

живаются в виде линз льда (рис. 5, *г*) [18, 24].

Таким образом, полученные интерпретационные признаки морфоструктурных неоднородностей в строении отвалов позволили связать волновые образы на радарограммах с присутствием различных включений и обводнений (рис. 6). Разрезы приведены без учета рельефа местности, поэтому стоит отметить, что на отдельных участках высокие значения мощности техногенно-загрязненных грунтов связаны с отвалами и буграми на поверхности исследований.

Выделенными на радарограммах интервалами зон техногенных отходов формируется массив данных, содержащий полученные значения мощности загрязнений — Z в точке с географическими координатами X, Y — основной результат обработки данных георадиолокации. Затем этот массив используется для построения карты (рис. 7) (ПО Golden Software Surfer) геостатистическим методом пространственной интерполяции «Kriging», подходящим для большинства задач картирования с последующим подсчетом объема выявленных техногенных отходов [25].

Заключение

Результаты работ показали, что метод георадиолокации может найти широкое применение при решении задач изучения морфоструктурных особенностей техногенных отвалов. Особенно в районах развития многолетней мерзлоты, где часто встречаются недоработки плотика при дражной отработке. Натурные данные георадиолокации показали, что имеется возможность прослеживания границ слоев, составляющих отвал пород, отличающихся по каким-либо свойствам, и проведения более точного пространственного анализа форм отложений на основе классификации типов волновых картин: криогенные структуры, валунистость, инородные включения (металлические объекты — останки фундаментов или коммуникаций).

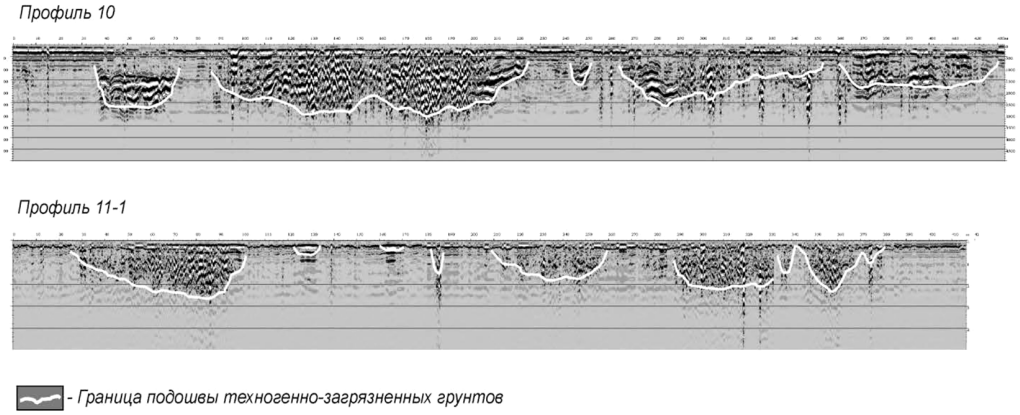


Рис. 6. Георадиолокационные разрезы с выделенными зонами техногенных отходов
Fig. 6. Geo-radar sections with selected zones of technogenic waste

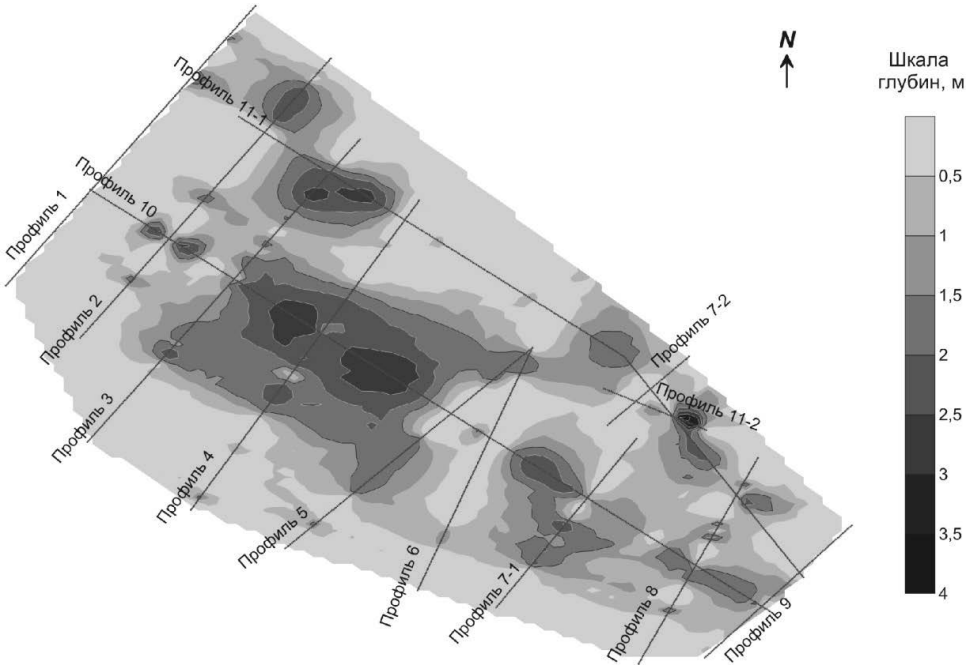


Рис. 7. Карта изолиний мощности техногенных отходов
Fig. 7. Map of isolines of technogenic waste capacity

Вклад авторов

Федорова Лариса Лукинична: идея статьи, постановка задач исследования, написание текста статьи, подготовка данных и эскизов рисунков, анализ результатов и заключение.

Куляндин Гаврил Александрович: получение данных, анализ и обработка данных, написание текста статьи, подготовка данных и рисунков.

Поисеева Саргылана Иннокентьевна: анализ данных, написание текста статьи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Отчет публичного акционерного общества АК «АЛРОСА» (АК «АЛРОСА» (ПАО), АЛРОСА, Компания, Общество) за 2019 г. URL: http://www.alrosa.ru/wp-content/uploads/2020/06/АЛРОСА-Годовой-отчет-2019.pdf.
2. *Harry M. J.* Ground penetrating radar: theory and applications, Elsevier, 2009. 524 p.
3. *Финкельштейн М. И., Кутев В. А.*, *Золотарёв В. П.* Применение радиолокационного подповерхностного зондирования в инженерной геологии // Недра. — 1986. — 128 с.
4. *Kl. Dimitriadis, V. Perez-Gracia* Applications of GPR in association with other non-destructive testing methods in building assessment and in geological/geotechnical tasks // Civil Engineering Applications of Ground Penetrating Radar (Proceedings First Action's General Meeting Rome) COST ACTION TU1208. Rome, 2013, pp.183–190.
5. *Borella J, Quigley C.*, *Riley M.*, *Trutner S.*, *Jol H.*, *Borella M.*, *Hampton S.*, *Gravley D.* Influence of anthropogenic landscape modifications and infrastructure on the geological characteristics of liquefaction // Anthropocene — 2020, V.29, 16 p.
6. *Судакова М.С*, *Садуртдинов М. Р.*, *Царёв А. М.*, *Скворцов А. Г.*, *Малкова Г. В.* Опыт использования георадиолокации при геокриологических исследованиях // Геоевразия 2018. современные методы изучения и освоения недр Евразии, 2018 — С. 680–684.
7. *Судакова М. С.*, *Владов М. Л.* Современные направления георадиолокации // Вестник Московского университета. Серия 4: Геология — 2018. –– №2– С.3–12.
8. *Семейкин Н. П.*, *Помозов В. В.*, *Эквист Б. В.*, *Монахов В. В.* Геофизические приборы нового поколения // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2008. — № 12. — С. 203–211.
9. *Владов М. Л.*, *Золотарев В. П.*, *Старовойтов А. В.* Методическое руководство по проведению георадиолокационных исследований. — М., 1997. — 75 с.
10. *Омельяненко А. В.*, *Федорова Л. Л.* Георадиолокационные исследования многолетнемерзлых пород. — Якутск: ЯНЦ СО РАН, 2006. — 136 с.
11. *Lejzerowicz A.*, *Kowalczyk S.*, *Wysocka A.* Application of ground penetrating radar method combined with sedimentological analyses in studies of glaciogenic sediments in central Poland // Studia Quaternaria, 2018, vol. 35, no. 2, 103–119.
12. *Родионов А. И.*, *Рязанцев П. А.* Оценка параметров георадарного сигнала в условиях физического моделирования песчано-гравийной смеси // Геофизика — 2017 — № 6 — С. 57– 64.
13. *Лаломов Д. А.*, *Глазунов В. В.* Определение электрофизических параметров песчано-глинистого разреза при комплексном использовании георадиолокации и электротомографии // Инженерные изыскания — 2015 — № 5—6 — С. 58—69.
14. *Федорова Л. Л.*, *Саввин Д. В.*, *Федоров М. П.*, *Куляндин Г. А.*, *Стручков С. А.* Георадиолокационный мониторинг состояния грунтов дорожных конструкций, эксплуатируемых в условиях криолитозоны // Дороги и мосты. — 2017. — Вып. 38/2 — С. 189—206
15. *Брякин И. В.* Системы подповерхностного зондирования для малоглубинной геофизики // Проблемы автоматики и управления. – 2015. — 1(28) — С. 83—93,
16. *Фоменко Н. Е.*, *Капустин В. В.*, *Гапонов Д. А.*, *Фоменко Л. Н.* Исследование техногенно-закрепленных грунтов основания фундаментов радиолокационным и сейсмическими методами в условиях длительно эксплуатируемого объекта культурного наследия // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов — 2018 — Т. 329 (8) — С. 16—29
17. *Кулик К. Н.*, *Семененко С. Я.*, *Марченко С. С.*, *Арьков Д. П.*, *Кошелев А. В.*, *Морозова Н. В.* Возможности георадарного обследования состояния несанкционированного полигона бытовых отходов // Экология и строительство — 2019 — №4. — С.4—13

18. *Куляндин Г. А.* Выявление техногенного загрязнения грунтовой среды методом георадиолокации (на примере участка строительной площадки) // «Геология и минерально-сырьевые ресурсы Северо-Востока России»: материалы VIII Всероссийской научно-практической конференции, г. Якутск, 18—20 апр. 2018 г. — Якутск, 2018. — Т. 2. — С. 224—227.

19. *Набатов В. В.*, *Гайсин Р. М.* Георадиолокационное выявление параметров армирования строительных конструкций и тоннелей метрополитенов. спектр задач и помеховых факторов // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2014. — № 12. — С. 168–175.

20. *Stadler S.*, *Igel J.*. A numerical study on using guided GPR waves along metallic cylinders in boreholes for permittivity sounding // 2018 17th International Conference on Ground Penetrating Radar (GPR), 2018, pp.543—548.

21. *Klewe T.*, *Strangfeld C.*, *Kruschwitz S.* Review of moisture measurements in civil engineering with ground penetrating radar — Applied methods and signal features // Construction and Building Materials. Volume 278.2021. 9 p.

22. *Igel J.*, *Anschütz H.*, *Schmalholz J.*, *Wilhelm H.*, *Breh W.*, *Hötzl H.*, *Hübner C.* Methods for Determining Soil Moisture with Ground Penetrating Radar (GPR) // Field Screening Europe– 2001, pp. 303—308.

23. *Бричёва С. С.*, *Матасов В. М.*, *Шилов П. М.* Георадар в геоэкологических исследованиях при искусственном обводнении торфяников // Геоэкология. инженерная геология, гидрогеология, геокриология — 2017 — № 3 — С.76 –83

24. *Бричева С. С.*, *Станиловская Ю. В.* Изучение «скрытых» повторно-жильных льдов в Чарской котловине (Забайкальский край, Россия) // EAGE Conference & Exhibition, Инженерная геофизика — 2017—4 с.

25. *Sahoo H.*, *Gandre D.*, *Das P.*, *Karim M.*, *Bhuyan G.* Geochemical mapping of heavy metals around Sukinda–Bhuban area in Jajpur and Dhenkanal districts of Odisha, India. Environmental Earth Sciences, 2018, № 34, 17 p. DOI: 10.1007/s12665-017-7208-2 ГИАБ

REFERENCES

1. *Otchet publichnogo akcionernogo obshchestva AK «ALROSA» (AK «ALROSA» (PAO), ALROSA, Kompaniya, Obshchestvo) za 2019 g.* [Report of Public Joint Stock Company PJSC ALROSA (PJSC ALROSA, ALROSA, Company, Company) for 2019]. URL: http://www.alrosa.ru/wp-content/uploads/2020/06/АЛРОСА-Годовой-отчет-2019.pdf [In Russ]

2. Harry M. J. Ground penetrating radar: theory and applications, Elsevier. 2009, 524 p.

3. Finkel'shtein, M. I., Kutev V. A., Zolotarev V. P. *Primenenie radiolokacionnogo podpoverhnostnogo zondirovaniya v inzhenernoj geologii* [Applications of subsurface radar in geology]. Moscow, Nedra. 1986, 128 p. [In Russ]

4. Kl. Dimitriadis, V. Perez-Gracia Applications of GPR in association with other non-destructive testing methods in building assessment and in geological/geotechnical tasks. Civil Engineering Applications of Ground Penetrating Radar (Proceedings First Action's General Meeting Rome) COST ACTION TU1208. Rome, 2013. pp.183—190.

5. Borella J, Quigley C., Riley M., Trutner S., Jol H., Borella M., Hampton S., Gravley D. Influence of anthropogenic landscape modifications and infrastructure on the geological characteristics of liquefaction. Anthropocene, 2020, V.29, 16 p.

6. Sudakova M.S, Sadurtdinov M. R., Tsarov A. M., Skvortsov A. G., Malkova G. V. Opyt ispol'zovaniya georadiolokatsii pri geokriologicheskikh issledovaniyakh. Geoyevraziya 2018. Sovremennyye metody izucheniya i osvoyeniya nedr Yevrazii, 2018 , pp. 680—684 [In Russ]

7. Sudakova M. S., Vladov M. L. Modern directions of ground-penetrating radar. *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 4: Geologiya,* 2018. no.2, pp.3—12. [In Russ]

8. Semejkin N. P., Pomozov V. V., Ekvist B. V., Monahov V. V. Geophysical instruments. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2008. no. 12. pp.203–211. [In Russ]

9. Vladov M. L., Zolotarev V. P., Starovojtov A. V. *Metodicheskoe rukovodstvo po provedeniyu georadiolokacionnyh issledovanij* [Methodological guide for conducting georadar research]. M., 1997. P. 75. [In Russ]

10. Omel'yanenko A. V., Fedorova L. L. *Georadiolokacionnye issledovaniya mnogoletnemerzlyh porod* [GPR studies of permafrost]. Yakutsk: *YANC SO RAN*, 2006. 136 p. [In Russ]

11. Lejzerowicz A., Kowalczyk S., Wysocka A. Application of ground penetrating radar method combined with sedimentological analyses in studies of glaciogenic sediments in central Poland. Studia Quaternaria, 2018, vol. 35, no. 2, pp. 103–119.

12. Rodionov A. I., Ryazancev P. A. Estimation of parameters of GPR signal in conditions of physical modeling of sand and gravel mixture. *Geofizika*, 2017. no. 6, pp.57–64. [In Russ]

13. Lalomov D. A., Glazunov V. V. Determination of electrophysical parameters of a sandy-clay section with the integrated use of ground penetrating radar and electrotomography. *Inzhenernyye izyskaniya*, 2015, no. 5 — 6, pp. 58–69 [In Russ]

14. Fedorova L. L., Savvin D. V., Fedorov M. P., Kulyandin G. A., Struchkov S. A. GPR monitoring of the state of soils of road structures operated in permafrost conditions. *Dorogi i mosty*, 2017. 38/2 , pp. 189–206. [In Russ]

15. Bryakin I. V. Subsurface sounding systems for shallow geophysics. *Problemy avtomatiki i upravleniya*, 2015. 1(28). pp. 83 — 93. [In Russ]

16. Fomenko N. E., Kapustin V. V., Gaponov D. A., Fomenko L. N. Investigation of technogenically fixed soils of the foundations by radar and seismic methods in the conditions of a long-term exploited cultural heritage site. *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesursov*, 2018, V. 329 (8), pp. 16 — 29. [In Russ]

17. Kulik K. N., Semenenko S. YA., Marchenko S. S., Ar'kov D. P., Koshelev A. V., Morozova N. V. Possibilities of GPR inspection of the state of an unauthorized household waste landfill. *Ekologiya i stroitel'stvo*, 2019 no. 4. pp. 4 — 13 [In Russ]

18. Kulyandin, G. A. *Vyyavlenie tekhnogennogo zagryazneniya gruntovoj sredy metodom georadiolokacii (na primere uchastka stroitel'noj ploshchadki)* [Identification of technogenic pollution of the soil environment by GPR (on the example of a construction site)] «*Geologiya i mineral'no-syr'evye resursy Severo-Vostoka Rossii*» : *materialy VIII Vserossijskoj nauchno-prakticheskoj konferencii, g. YAkutsk, 18 — 20 apr. 2018 g.*Yakutsk, 2018. 2. pp. 224–227. [In Russ]

19. Nabatov V. V., Gajsin R. *M.* GPR detection of parameters of reinforcement of building structures and subway tunnels. range of tasks and interference factors. *MIAB. Mining Inf. Anal. Bull.* 2014, no. 12, pp. 168–175. [In Russ]

20. Stadler S., Igel J. A numerical study on using guided GPR waves along metallic cylinders in boreholes for permittivity sounding. 2018 17th International Conference on Ground Penetrating Radar (GPR), 2018. pp. 543 — 548.

21. Klewe T., Strangfeld C., Kruschwitz S. Review of moisture measurements in civil engineering with ground penetrating radar Applied methods and signal features. *Construction and Building Materials.* Volume 278.2021. 9 p.

22. Igel J., Anschütz H., Schmalholz J., Wilhelm H., Breh W., Hötzl H., Hübner C. Methods for Determining Soil Moisture with Ground Penetrating Radar (GPR). Field Screening Europe– 2001. 303 — 308 pp.

23. Brichova S. S., Matasov V. M., Shilov P. M. Georadar in geoecological studies during artificial watering of peatlands. *Geoekologiya. inzhenernaya geologiya, gidrogeologiya, geokriologiya*, 2017, no. 3, pp. 76 –83[In Russ]

24. Bricheva S. S., Stanilovskaya Yu.V. *Izuchenie «skrytyh» povtorno-zhil'nyh l'dov v CHarskoj kotlovine (Zabajkal'skij kraj, Rossiya)* [Study of "hidden" ice wedges

in the Charskaya depression (Trans-Baikal Territory, Russia)]. *EAGE Conference & ExhibitionInzhenernaya geofizika*, 2017. 4 p. [In Russ]

25. Sahoo H., Gandre D., Das P., Karim M., Bhuyan G. Geochemical mapping of heavy metals around Sukinda–Bhuban area in Jajpur and Dhenkanal districts of Odisha, India. Environmental Earth Sciences. no. 34. 17 p. DOI: 10.1007/s12665-017-7208-2.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Федорова Лариса Лукинична[2] — канд. техн. наук, доцент, вед. науч. сотр., lar-fed-90@rambler.ru;
Куляндин Гаврил Александрович[1] — науч. сотр., kgavrilu@yandex.ru;
Поисеева Саргылана Иннокентьевна[2] — канд. биол. наук, доцент, poisargy@mail.ru;
[1] Институт горного дела Севера им. Н. В. Черского Сибирского отделения Российской академии наук — обособленное подразделение Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Якутский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук», 677980, г. Якутск, пр. Ленина, 43;
[2] Северо-восточный федеральный университет им.М. К.Аммосова, 677000, Республика Саха (Якутия), г. Якутск, ул. Белинского, 58, Россия.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Fedorova L. L.[2], Cand. Sci. (Eng.), associate professor, leading researcher, lar-fed-90@rambler.ru;
Kulyandin G. A.[1], Researcher of the Laboratory, kgavrilu@yandex.ru;
Poiseeva S. I.[2], Cand. Sci. (Biol.), associate professor, poisargy@mail.ru;
[1] Chersky Mining Institute of the North, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, Yakutsk, Republic of Sakha (Yakutia), Russia, e-mail: igds@igds.ysn.ru;
[2] M. K. Ammosov North-Eastern Federal University, Yakutsk, Republic of Sakha (Yakutia), Russia.

Получена редакцией 18.07.2021; получена после рецензии 19.10.2021; принята к печати 10.11.2021.
Received by the editors 18.07.2021; received after the review 19.10.2021; accepted for printing 10.11.2021.