

# ФИЗИЧЕСКАЯ ГЕОГРАФИЯ И БИОГЕОГРАФИЯ, ГЕОГРАФИЯ ПОЧВ И ГЕОХИМИЯ ЛАНДШАФТОВ

УДК 550.372; 550.379; 551.345

<https://doi.org/10.25587/2587-8751-2026-1-49-62>

Научная оригинальная статья

## ГЕОРАДАРНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СУБАЭРАЛЬНЫХ ТАЛИКОВ ВДОЛЬ ФЕДЕРАЛЬНЫХ АВТОДОРОГ «ЛЕНА» И «ВИЛЮЙ» В КРИОЛИТОЗОНЕ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЯКУТИИ

*К. П. Данилов<sup>1</sup>, И. И. Христофоров<sup>1\*</sup>, Л. С. Лебедева<sup>1</sup>, И. В. Горохов<sup>2</sup>*<sup>1</sup>Институт мерзлотоведения им. П.И. Мельникова Сибирского Отделения Российской Академии Наук,  
г. Якутск, Российская Федерация<sup>2</sup>Якутский научный центр Сибирского Отделения Российской Академии Наук,  
г. Якутск, Российская Федерация

\*zodik@mail.ru

### Аннотация

В работе представлены результаты георадиолокационных исследований, выполненных на ключевых участках Центральной Якутии, расположенных вдоль федеральных автодорог «Виллой» и «Лена». Основной целью исследований являлось выявление надмерзлотных субаэральные таликов, которые характеризуются сложной структурой и высокой сезонной и годовой изменчивостью их геометрических и физических параметров. Исследования проводились с использованием георадаров ОКО-3 с частотами 150 МГц, 250 МГц и 400 МГц методом георадарного профилирования. Глубина исследований составила более 25 метров в песчаных отложениях криолитозоны. Полученные данные показали, что основным диагностическим признаком таликов является наличие границы «талое-мерзлое», расположенной ниже сезонно-талого слоя. Эта граница, обусловленная разницей в коэффициентах диэлектрической проницаемости, четко фиксируется на радарограммах в виде контрастного отражения. На 22 из 76 георадарных профилей (28 %) были обнаружены надмерзлотные субаэральные талики мощностью от 5 до 20 метров. При этом глубина сезонно-талого слоя варьировалась от 2,3 до 4,0 метров. Разработанная в ходе исследований таликов бассейна реки Шестаковка георадарная методика позволяет эффективно выявлять таликовые зоны на территории Центральной Якутии. В рамках данной методики для поиска надмерзлотных субаэральные таликов в песчаных отложениях региона были определены оптимальные частотные диапазоны георадиолокационных исследований. Наиболее эффективными для решения поставленных задач оказались частоты в диапазоне 75÷225 МГц, который соответствует частотному диапазону по энергетическому уровню спектра сигнала антенного блока с центральной частотой 150 МГц.

**Ключевые слова:** георадиолокация, георадар, сплошная криолитозона, субаэральный талик, надмерзлотный талик, водоносный талик, Центральная Якутия, автомобильные дороги, термосуффозионные процессы

**Для цитирования:** Данилов К.П., Христофоров И.И., Лебедева Л.С., Горохов И.В. Георадарные исследования субаэральные таликов вдоль федеральных автодорог «Лена» и «Виллой» в криолитозоне Центральной Якутии. *Вестник СВФУ.* 2026;(1):49-62. DOI: 10.25587/2587-8751-2026-1-49-62

## GPR RESEARCH OF SUBAERIAL TALIKS ALONG THE FEDERAL HIGHWAYS “LENA” AND “VILYUY” IN THE PERMAFROST OF CENTRAL YAKUTIA

*Kencheeri P. Danilov<sup>1</sup>, Ivan I. Khristoforov<sup>1\*</sup>, Lyudmila S. Lebedeva<sup>1</sup>, Ivan V. Gorokhov<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Melnikov Permafrost Institute, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Yakutsk, Russian Federation

<sup>2</sup>Yakutsk Science Centre, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Yakutsk, Russian Federation

\*zodik@mail.ru

### Abstract

The paper presents the results of GPR sounding of key areas in Central Yakutia along the federal highways “Vilyuy” and “Lena” to search for suprapermafrost subaerial taliks. Suprapermafrost taliks are characterized by complex structures and dynamic seasonal and annual variations in geometric and physical parameters. The measurements were carried out using 150 MHz, 250 MHz, and 400 MHz OKO-3 GPRs with the GPR profiling technique. The survey depth exceeded 25 meters in sandy frozen rocks. The data show that the main indicator of taliks is the presence of a thaw-frozen boundary below the seasonally thawed layer. This boundary is clearly visible on radarograms due to the contrast in dielectric permittivity coefficients. Suprapermafrost subaerial taliks with thicknesses ranging between 5 and 20 meters were detected in 28 % of the GPR profiles. The depth of the seasonally thawed layer varied from 2.3 to 4.0 meters. The GPR technique for detecting and mapping talik zones, tested in the Shestakovka River basin, proved effective for identifying taliks in Central Yakutia. The most effective frequencies for solving the assigned tasks turned out to be in the range of 75–225 MHz, which corresponds to the frequency range of the energy level of the signal spectrum of the antenna unit with a central frequency of 150 MHz.

**Keywords:** GPR, georadar, continuous permafrost zone, subaerial talik, suprapermafrost talik, aquifer talik, Central Yakutia, roads, thermosuffusion processes

**For citation:** Danilov K. P., Khristoforov I. I., Lebedeva L. S., Gorokhov I. V. GPR research of subaerial taliks along the federal highways “Lena” and “Vilyuy” in the permafrost of Central Yakutia. *Vestnik of North-Eastern Federal University. Earth Sciences*. 2026;(1):49-62. DOI: 10.25587/2587-8751-2026-1-49-62

### Введение

Многолетнемерзлые породы (ММП) занимают свыше 60 % территории России, формируя уникальные геокриологические условия, особенно в Центральной Якутии – одном из крупнейших и наиболее освоенных регионов криолитозоны. Здесь, в междуречьях Лены и Вилюя, проживает около полумиллиона человек, а устойчивость инфраструктуры напрямую зависит от состояния мерзлотного основания.

Сплошность ММП может нарушаться таликами различного строения и генезиса. Наиболее распространенным типом таликов в Центральной Якутии считаются субаквальные, формирующиеся под водоемами. Гидрогенные сквозные или несквозные талики встречаются под реками и озерами, которые не промерзают до дна, а также под некоторыми промерзающими водными объектами. В литературе (Бойцов, 1985; Мониторинг..., 2002; Подземные воды..., 2003) описаны единичные случаи надмерзлотных субаэральных таликов в Центральной Якутии, связанные с фильтрацией подземных вод в песчаных массивах. Подобные объекты были обнаружены на сухих пологих склонах невысоких водоразделов в бассейне реки Шестаковки, примерно в 20 км к югу от Якутска (Мониторинг..., 2002; Лебедева и др., 2019; Попов и др., 2025), на четвертой (бестяхской) надпойменной террасе правого берега реки Лены (Подземные воды..., 2003; Гагарин и др., 2019; Павлова и др., 2020), а также в массивах перевеваемых песков

(тукуланах) (Пономарева, 1999). В бассейне р. Шестаковки (170 км<sup>2</sup>) надмерзлотные талики занимают 23 % территории основных лесов и 9,5 % всего водосбора (Лебедева и др., 2025). Площадь этих таликов варьирует от нескольких квадратных метров до десятков тысяч квадратных метров. В песчаных отложениях средневысотных террас рек Лены и Вилюя распространены уникальные водоносные горизонты надмерзлотно-межмерзлотных вод, не имеющие аналогов. На правом берегу реки Лены естественные выходы этих вод на поверхность часто представлены группами источников, приуроченных к подножию бестяхской террасы (Павлова и др., 2020).

Несмотря на единичные случаи, описанные в литературе, масштабное выявление субэкральных таликов вдоль автодорог ранее не проводилось. Актуальность изучения субэкральных таликов обусловлена их потенциальным влиянием на развитие опасных геокриологических процессов, таких как термосуффозия, образование провалов и оврагов, что представляет серьёзную угрозу для транспортной и иной инфраструктуры региона. Выявление таликов затруднено неоднозначностью трактовки отражённых электромагнитных сигналов, высокой изменчивостью мерзлотных ландшафтов и отсутствием универсальных критериев интерпретации геофизических данных. Это требует применения комплексных подходов, интегрирующих методы георадиолокации с термометрическими данными и литологическим анализом.

Целью настоящей работы является изучение пространственного распределения и морфологии субэкральных таликов в Центральной Якутии с использованием георадиолокации, а также оценка влияния литологического состава и частотного диапазона антенн на точность интерпретации их границ. Полученные результаты важны для своевременного выявления зон риска при проектировании и эксплуатации объектов в условиях сплошной криолитозоны и могут быть использованы при разработке систем мониторинга состояния мерзлых грунтов.

#### **Район исследований**

Для оценки потенциально опасных процессов, связанных с развитием таликов вблизи федеральных автомобильных дорог, в 2020 и 2021 годах проведены масштабные георадиолокационные исследования, направленные на выявление и оконтуривание талых зон.

В Центральной Якутии расположены федеральные автомобильные дороги (ФАД) – «Лена» и «Вилюй», расходящиеся от г. Якутска в южном и западном направлениях соответственно. В 500 м от ФАД «Лена» в районе ручья Улахан-Тарын зафиксированы свежие термосуффозионные воронки (Гагарин и др., 2019), которые могут угрожать устойчивости дорожного полотна.

Для выявления таликов вдоль ФАД А360 «Лена» и А331 «Вилюй» было выполнено 76 георадарных профилей длиной в среднем по 300 метров каждый на ключевых участках, соответствующих следующим критериям:

- растительный покров: сосновое редколесье или горельник соснового леса;
- геологический состав: песчаные отложения;
- транспортная доступность: удобство подъезда и проведения исследований;
- рельеф: небольшие уклоны местности до 4-5°.

Исследования вдоль ФАД А331 «Вилюй» проводились в период максимального протаивания сезонно-талого слоя (СТС), что обеспечивало наилучшие условия для выявления таликов. Протяженность участка работ составила около 500 км (рис. 1). В рамках исследований выполнено 37 георадарных профилей длиной по 300 м каждый. Общая протяженность профилей составила 11 км.

Исследования вдоль ФАД А360 «Лена» были проведены в октябре, в период максимального протаивания сезонно-талого слоя, в схожих условиях растительности и рельефа. Протяженность исследуемого участка составила около 300 километров, где было выполнено 39 георадарных профилей по 300 метров (рис.2). Общая протяженность профилей составила 10,4 км.



Рис. 1. Участок работ ФАД А331 «Вилуй»

Fig. 1. Work section of the federal highway A331 "Vilyui"



Рис. 2. Участок работ ФАД А360 «Лена»

Fig. 2. Work section of the federal highway A360 "Lena"

### Метод исследования

Исследования проводились с использованием сертифицированных георадаров серии ОКО-3 производства ООО «Логис-Геотех» (г. Москва) с центральными частотами 150 МГц, 250 МГц и 400 МГц. Перед началом съемки были определены ключевые параметры записи, включая временной диапазон, фильтры, усиление и плотность сканирования. В процессе выполнения работ на профилях отмечались характерные точки, пикеты и скважины. Калибровка одометра выполнялась в зависимости от типа покрытия.

Наиболее оптимальным для выявления надмерзлотных таликов в песчаных отложениях на глубине до 25 метров оказался антенный блок с центральной частотой 150 МГц. Использование одометра ДПИ и GPS-навигатора Garmin GPS 64st обеспечило достаточную точность измерений и привязки данных.

*Обработка и интерпретация данных*

Основная задача обработки георадиолокационных данных заключается в выявлении и оцифровке целевых границ. Это достигается с помощью различного программного обеспечения. Хорошие результаты достигаются использованием программы GeoScan32 (ООО «Логические системы», г. Раменское). В ней имеется возможность выделения полезных сигналов и представление данных в виде временных георадарных разрезов.

Обработка включала следующие этапы:

1. Фильтрация и усиление сигналов: выполнение процедур фильтрации, усиления и сжатия полученных сигналов.
2. Статические поправки: ввод статических поправок для корректировки данных.
3. Определение диэлектрической проницаемости: расчет приблизительных значений диэлектрической проницаемости для пластов с различными электрофизическими свойствами. При этом учитывались методики, применяемые для исследования обводненных геологических сред (Омельяненко и др., 2013; Khristoforov, 2018), а также опыт, описанный в монографиях (Владов и др., 2017; Старовойтов А.В., 2008).

Применение описанной методики обработки и интерпретации данных георадиолокационных исследований позволяет эффективно выявлять и анализировать глубинные границы, а также исключать ложные сигналы. Это обеспечивает высокую точность построения георадиолокационных разрезов, что является важным для изучения структуры грунтов и выявления талых зон в условиях криолитозоны. На рисунке 3 представлены фотографии выполнения работ в различные сезоны, демонстрирующие условия проведения исследований.



Рис. 3. Фотографии выполнения работ в разные сезоны  
 Fig. 3. Photos of work performance in different seasons

### Результаты и обсуждение

Георадарное профилирование продемонстрировало высокую эффективность в выявлении таликов, формирующихся в криолитозоне. Нами было выполнено множество георадарных профилей для поиска субаэральных таликов на участках со схожими условиями: сосновое редколесье, слабо задернованная поверхность и небольшие уклоны местности. Заблаговременное определение наличия или отсутствия таликов исключительно на основе анализа рельефа местности или характера растительности невозможно (рис. 4а). Эти признаки не являются однозначными индикаторами, так как формирование таликов и связанных с ними процессов зависит от комплекса факторов, включая гидрогеологические условия и динамику мерзлотных процессов. Образование термосуффозионных воронок, а в дальнейшем и оврагов, происходит в относительно короткие сроки – в течение 3–5 лет. Это связано с интенсивным развитием термосуффозионных процессов, которые включают механический вынос тонкодисперсных частиц пород при их оттаивании (рис. 4б). Такие процессы могут приводить к значительным изменениям рельефа и представлять угрозу для инфраструктуры.

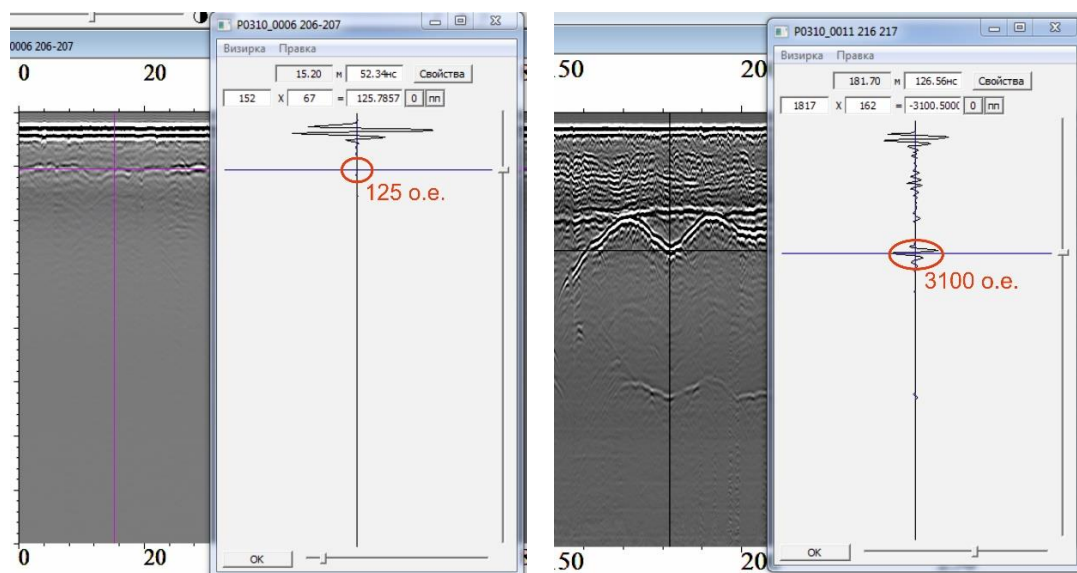


а

б

**Рис. 4.** Образование воронок. Фото Гагарина Л.А. Сентябрь 2017 г.  
**Fig. 4.** Funnel formation. Photo by Gagarin L.A. September 2017.

Сравнение данных, полученных на участках со схожими ландшафтными, геологическими и криогенными условиями, но различающихся наличием и отсутствием таликов, демонстрирует существенные различия в амплитудах отраженных сигналов на временных георадиолокационных разрезах (рис. 5). Амплитудные значения отражений от границ таликов на радарограммах значительно превышают амплитуду отражений от границы СТС. Граница талика характеризуется резким контрастом физических свойств среды, таких как диэлектрическая проницаемость, в отличие от более плавного перехода на границе сезонно-талого слоя. Это обусловлено наличием в талике зоны с высокой влажностью, где наблюдается резкая смена водоносных талых пород на мерзлые. Подобный контраст вызывает интенсивное отражение электромагнитных волн, что фиксируется на радарограммах в виде высокоамплитудных сигналов, в частности амплитуда отраженного сигнала равна 3100 относительных единиц (о.е.). В то же время граница СТС менее контрастна, так как переход между талыми и мерзлыми породами в этом случае более плавный, что приводит к меньшей амплитуде отражений, как показано на рисунке 5, где амплитуда отраженного сигнала составляет 125 о.е. Таким образом, разница в амплитудах подтверждает наличие талика и позволяет выделить его на фоне СТС.



**Рис. 5.** Сравнение амплитудных характеристик отраженных сигналов от границы сезонно-талого слоя и границы талика. О.е. – относительная единица  
**Fig. 5.** Comparison of amplitude characteristics of reflected signals from the boundary of the seasonally thawed layer and the talik boundary. O.e. – relative unit

Высокоамплитудные контрастные границы, имеющие форму желобов с чередующимися понижениями и поднятиями на радарограммах, могут указывать на наличие водоносных таликов. Высокая амплитуда сигналов отражения от границы таликов обусловлена резким изменением диэлектрической проницаемости на контакте талых и мерзлых пород. Диэлектрическая проницаемость талых влагонасыщенных песков может достигать 25–30 единиц, тогда как для мерзлых песков этот показатель составляет 4–6 единиц. (рис. 6). Скорость распространения электромагнитных волн снижается в водоносных средах, поэтому в областях с талыми водоносными породами время регистрации отраженного сигнала увеличивается. В результате границы талика на радарограммах приобретают вытянутую вниз форму. На радарограммах талики имеют форму желобов, что свидетельствует об их приуроченности к зонам латеральной миграции подземных вод. Мерзлые породы выполняют роль водоупора, ограничивая вертикальное движение воды и способствуя ее горизонтальному перемещению. Талые дисперсные породы, обладающие высокой фильтрационной способностью, активно пропускают воду, которая мигрирует в пределах таликов под воздействием гравитационных сил. Это приводит к формированию протяженных зон повышенной влажности, которые фиксируются на радарограммах в виде характерных аномалий.

Еще одной особенностью выявления таликов является эффект затенения ниже их границы. Высокий коэффициент отражения на контрастной границе приводит к практически полному отражению сигнала, в результате чего ниже таликов на радарограммах наблюдаются лишь остаточные переотражения.

В нижних горизонтах таликов зафиксированы аномалии в виде дифракционных гипербол и кратных волн, которые интерпретируются как признаки повышенной влажности. На профиле (рис. 6), на расстояниях 29, 144, 176, 186, 197, 220 и 273 метров, выявлены зоны понижения подошвы талика, где данные аномалии выражены наиболее ярко. Дифрагированные и кратные волны, характерные для трубопроводов, в данном случае возникают на переувлажненных участках таликов. Это связано с тем, что локальные зоны высокой влажности в таликах создают

эффекты, схожие с теми, которые наблюдаются при наличии трубопроводов: дифрагированные волны формируются из-за огибания радиоволнами границ водонасыщенных участков, а кратные волны – за счет многократных отражений сигнала внутри обводненных зон. Наблюдаемые явления подтверждают наличие зон аккумуляции воды, что согласуется с данными бурения, вскрывшего водонасыщенные талые породы, где подземные воды в некоторые сезоны имеют криогенный напор. Эти аномалии интерпретируются как индикаторы линейных водоносных зон, формирующихся за счёт латеральной миграции подземных вод.

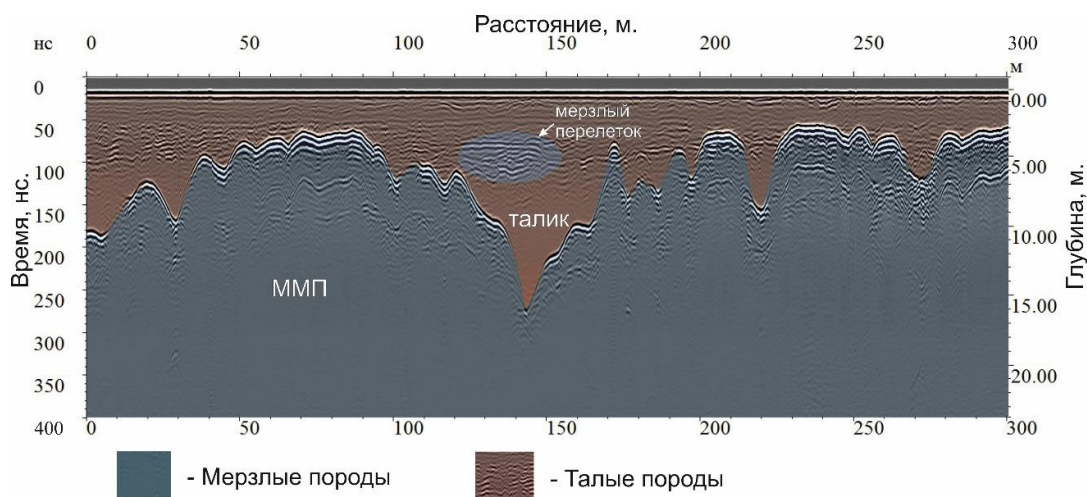


Рис. 6. Радарограмма 289\_0004

Fig. 6. Radarogram 289\_0004

В случаях, когда талики на исследуемом профиле отсутствуют, полученные радарограммы, как правило, не содержат высокоамплитудных контрастных границ (рис. 7). Граница СТС в таких условиях характеризуется прямолинейным горизонтальным залеганием без резких перепадов или отклонений. На радарограмме 249 граница СТС прослеживается на глубине от 2,5 до 3,5 метров. Однако на некоторых участках граница СТС отсутствует, что может быть связано с низкой влажностью вмещающих пород. Сухие талые песчаные отложения обладают диэлектрической проницаемостью, близкой к мерзлым пескам, что затрудняет выделение границы СТС на радарограммах.

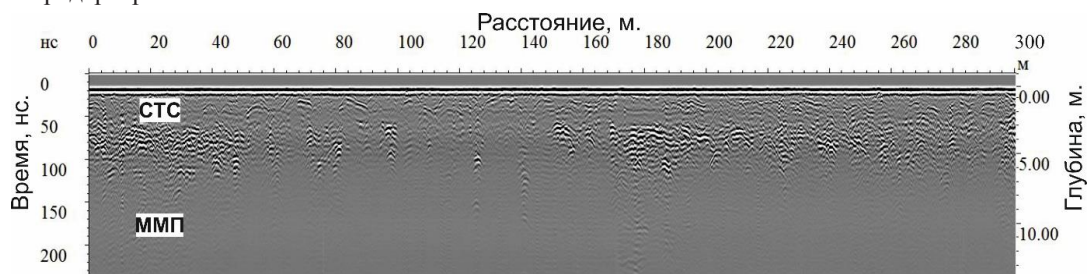


Рис. 7. Радарограмма 249\_0000

Fig. 7. Radarogram 249\_0000

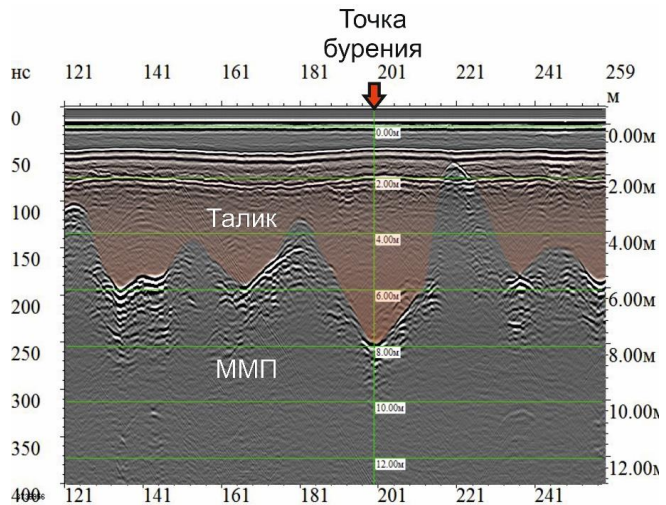
Для верификации результатов, полученных в ходе георадиолокационных исследований, в апреле 2022 года на участке ФАД «Виллой» было проведено повторное георадарное профилирование. На данном участке ранее был выявлен надмерзлотный субаэральный талик.

На профиле была выбрана точка для заверочного бурения, которое подтвердило наличие талых водоносных пород мощностью 8 метров. Вскрытый талик характеризовался криогенным

напором, что согласуется с данными георадиолокации (рис. 8). На рисунке представлена радарограмма с обозначенной точкой бурения; область талика выделена красным цветом (рис. 9).

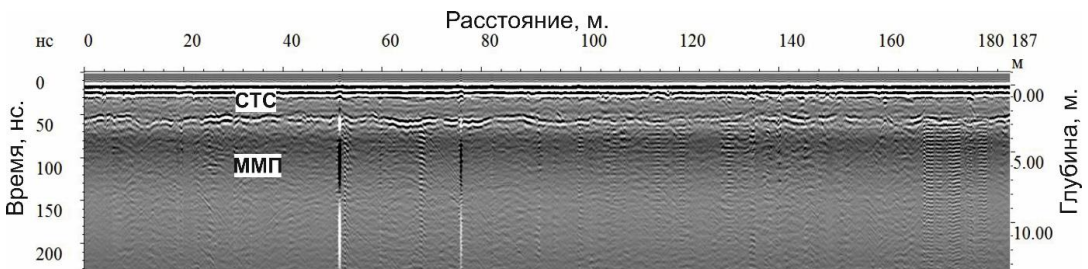


**Рис. 8.** Вскрытие талика бурением скважины  
**Fig. 8.** Opening of the talik by drilling a borehole



**Рис. 9.** Радарограмма 214\_0000  
**Fig. 9.** Radarogram 214\_0000

На рисунке 10 представлен результат георадиолокационного профилирования, выполненного на подучастке 3, где признаки таликов отсутствуют. На радарограмме СТС чётко идентифицируется по всему профилю, демонстрируя горизонтальное залегание с мощностью около 1,5 м. Отсутствие аномальных отражений и деформаций в структуре сигналов подтверждает, что исследуемый участок характеризуется наличием мерзлых пород под подошвой СТС без развития таликовых зон. Такие данные свидетельствуют о равномерном распределении диэлектрических свойств грунтов, типичном для ненарушенных криогенных условий.



**Рис. 10.** Радарограмма 310\_0006  
**Fig. 10.** Radarogram 310\_0006

На рисунке 11 представлена радарограмма, на которой зафиксирован талик на 4-м подучастке. Талик выделяется контрастными, высокоамплитудными границами, что свидетельствует о водонасыщенности породы в области его подошвы. Мощность талика в отдельных местах превышает 14–15 метров. Кроме того, на радарограмме четко прослеживается граница СТС на глубинах от 2,5 до 5 метров. В данном случае граница СТС контрастно выделяется из-за наличия остаточного мерзлого слоя, который не успел оттаять к моменту проведения исследо-

ваний. Наличие таких характеристик подтверждает активное развитие криогенных процессов на данном участке, что требует дальнейшего мониторинга и анализа для оценки изменений.

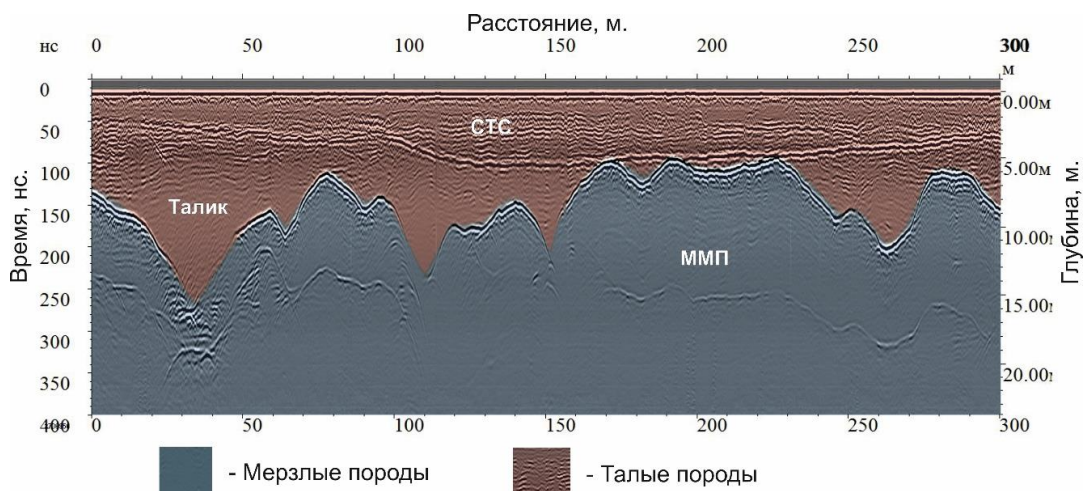


Рис. 11. Радарограмма 310\_0011

Fig. 11. Radarogram 310\_0011

В результате георадарных исследований на участках ФАД «Лена» из 39 профилей талики были выявлены на 13 профилях. Максимальная глубина подошвы таликов достигает 18 метров. Все обнаруженные талики локализованы на 4-м подучастке, что, вероятно, обусловлено особыми геокриологическими и ландшафтными условиями данной территории.

На участках ФАД «Виллюй» из 37 георадарных профилей протяженностью 300 метров каждый талики были зафиксированы на 9 профилях. Мощность таликов в этом районе достигает 20 метров.

Результаты подтверждают, что георадарное профилирование является эффективным методом для выявления таликов и изучения их характеристик. Высокая амплитуда отражений и четкие границы на радарограммах позволяют точно определять местоположение и мощность таликов.

Наличие таликов может оказывать значительное влияние на устойчивость дорожного полотна и инфраструктуры. Водонесные талики способны вызывать просадки грунта, образование воронок и другие деформации, что требует учета при проектировании и эксплуатации дорог.

### Заключение

Выполненные георадиолокационные исследования вдоль федеральных автодорог «Лена» и «Виллюй» в Центральной Якутии позволили впервые на большом фактическом материале выявить широкое распространение надмерзлотных субэдральных таликов в условиях сплошной криолитозоны. Общая протяженность 76 профилей составила 21,4 км, из которых на 22 профилях (28 %) обнаружены талики мощностью от 5 до 20 метров, что существенно превышает ранее опубликованные оценки и свидетельствует о необходимости пересмотра представлений о редкости и локальности подобных объектов в регионе.

Оптимальным для поиска и оконтуривания таликов в песчаных отложениях Центральной Якутии оказался диапазон частот 75÷225 МГц, который соответствует частотному диапазону уровню по энергии спектра антенны с центральной частотой 150 МГц, что обеспечивает необходимый баланс между глубинностью зондирования и разрешающей способностью. Ключевым диагностическим признаком таликов является выраженная граница «талое-мерзлое», четко фиксируемая на радарограммах благодаря контрасту диэлектрических свойств.

Показано, что традиционные ландшафтные и растительные признаки недостаточны для надёжной идентификации таликов, так как их формирование определяется комплексом гидрогеологических и мерзлотных факторов, а также современными климатическими тенденциями. Выявленные талики связаны с зонами потенциального развития термосуффозионных процессов, что подчёркивает их важную роль как индикаторов инженерно-геологических рисков для транспортной инфраструктуры.

Разработанная методика георадиолокационного поиска и анализа таликов может быть рекомендована для инженерных изысканий и мониторинга в районах сплошной мерзлоты, а также для прогноза опасных геокриологических процессов. Полученные результаты формируют основу для дальнейших комплексных исследований, направленных на уточнение механизмов формирования таликов и их влияния на устойчивость инфраструктуры в условиях изменяющегося климата.

### Литература

1. Бойцов А.В. Условия формирования и режим склоновых таликов в Центральной Якутии. *Криогидрогеологические исследования*. Якутск: Изд-во ИМЗ СО АН СССР; 1985: 44–55.
2. Шепелев В.В., Бойцов А.В., Оберман Н.Г. и др. *Мониторинг подземных вод криолитозоны*. Якутск: Изд-во ИМЗ СО РАН; 2002: 172с.
3. Балобаев В.Т., Иванова Л.Д., Никитина Н.М. и др. *Подземные воды Центральной Якутии и перспективы их использования*. Новосибирск: Академическое издательство «Гео»; 2003: 117с.
4. Лебедева Л.С., Бажин К.И., Христофоров И.И. и др. Надмерзлотные субэдральные талики в бассейне реки Шестаковка (Центральная Якутия). *Криосфера Земли*. 2019; XXIII (1):40–50. [https://doi.org/10.21782/KZ1560-7496-2019-1\(40-50\)](https://doi.org/10.21782/KZ1560-7496-2019-1(40-50)).
5. Попов С.В., Кашкевич М.П., Романова Н.Е., Малышева А.М., Лебедева Л.С. Выявление субэдральных таликов геофизическими методами в средней части бассейна р. Лена, Центральная Якутия. *Записки Горного института*. 2025. С. 1-13. № 16396. EDN YEEPZM
6. Гагарин Л.А., Бажин К.И., Оленченко В.В. и др. Выявление участков потенциального термосуффозионного разуплотнения грунтов вдоль федеральной автодороги А-360 «Лена» в Центральной Якутии. *Криосфера Земли*. 2019; XXIII (3): 61–68. [https://doi.org/10.21782/KZ1560-7496-2019-3\(61-68\)](https://doi.org/10.21782/KZ1560-7496-2019-3(61-68)).
7. Павлова Н.А., Шепелев В.В., Галанин А.А. и др. Гидрохимия подземных вод надмерзлотно-межмерзлотного стока на участках их разгрузки (Центральная Якутия). *Водные ресурсы*. 2020; 47 (4): 391–401.
8. Пономарева О.Е. Водоносные талики в песчаных отложениях бассейна нижнего течения р. Вилюй. *Криосфера Земли*. 1999; III (4): 84-89.
9. Лебедева Л.С., Шамов В.В., Христофоров И.И., Павлова Н.А., Данилов К.П. Роль надмерзлотных субэдральных водоносных таликов в питании двух малых притоков реки Лены по данным натурных наблюдений. *Криосфера Земли*. 2025; 29(1): 37-51.
10. Омеляненко А.В., Христофоров И.И. Метод двухспектральной георадиолокации для зондирования обводненных геологических сред. *Наука и образование*. 2013; (1): 33–38.
11. Khristoforov I.I., Omelyanenko A.V. Improving the Efficiency of Hydrological Investigations by Submersible Ground Penetrating Radar. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*. 2018;15 (3): 335-339. <https://doi.org/10.1109/LGRS.2017.2786858>.
12. Владов М.Л., Судакова М.С. *Георадиолокация: от физических основ до перспективных направлений*. Москва: Изд-во Геос; 2017: 240.
13. Старовойтов А.В. *Интерпретация георадиолокационных данных*. Москва: Изд-во МГУ; 2008: 188.
14. Попов С.В., Боронина А.С., Лебедева Л.С. Основные факторы формирования субэдральных таликов в рамках одномерной математической модели на примере района реки Шестаковка, Центральная Якутия. *Лёд и снег*. 2023. 63 (4): 597-611. <https://doi.org/10.31857/S2076673423040130> EDN FQDPWS.
15. Гагарин, Л.А. Современные условия развития субэдральных таликов в песчаных отложениях Центральной Якутии. В кн.: Д. М. Шестернев, Л. А. Гагарин (отв. ред.). *Современные проблемы и будущее геокриологии : тезисы докладов IV Всероссийского научного молодежного геокриологического форума с международным участием, посвященного 200-летию со дня рождения академика А. Ф. Миддендорфа*

(29 июня – 12 июля 2015 г., г. Якутск, Россия) Якутск : Изд-во Института мерзлотоведения им. П. И. Мельникова СО РАН; 2015: 57-59.

16. Лебедева Л.С., Христофоров И.И., Бажин К.И. (и др.) Распространение и динамика надмерзлотных субэаральных таликов в центральной Якутии. *Современные исследования трансформации криосферы и вопросы геотехнической безопасности сооружений в Арктике, Салехард, 03–12 ноября 2021 года.* – Салехард: Изд-во: Б. и.; 2021: 243-245. <https://doi.org/10.7868/9785604610848065> EDN PPPDJK.

17. Данилов К.П., Христофоров И.И., Горохов И.В. Изучение надмерзлотных таликов Центральной Якутии методом георадиолокации. *Электроразведка 2022: сборник тезисов научно-практической конференции, Москва, 26–28 октября 2022 года.* Москва: Издательский Дом «Академия Естествознания», 2023: 219-225. EDN GFAWLM.

18. Arcone S.A., Chacho E.F., Delaney A.J. Seasonal structure of taliks beneath arctic streams determined with ground-penetrating radar. *Proceedings of the seventh International Permafrost Conference. Ottawa ON, Canada: International Permafrost Association, Canadian National Committee, 1998:19-24.*

19. O’Neill H.B. et al. Recent advances (2010–2019) in the study of taliks. *Permafrost and Periglacial Processes.* 2020. 31 (3): 346-357.

### References

1. Boytsov A.V. Conditions for the formation and regime of slope taliks in Central Yakutia. *Cryohydrogeological research.* Yakutsk: IMZ SB AN USSR; 1985:44–55 (in Russian).

2. Shepelev V.V., Boytsov A.V., Oberman N.G., et al. *Monitoring of groundwater in the permafrost zone.* Yakutsk: Publishing House IMZ SB RAS; 2002:172 (in Russian).

3. Balobaev V.T., Ivanova L.D., Nikitina N.M., et al. *Underground waters of Central Yakutia and prospects for their use.* Novosibirsk: Publishing House SB RAS, phil. “Geo”; 2003:117 (in Russian).

4. Lebedeva L.S., Bazhin K.I., Khristoforov I.I., et al. Suprapermafrost subaerial taliks in the Shestakovka River basin (Central Yakutia). *Cryosphere of the Earth.* 2019; XXIII (1): 40–50 (in Russian). [https://doi.org/10.21782/KZ1560-7496-2019-1\(40-50\)](https://doi.org/10.21782/KZ1560-7496-2019-1(40-50)).

5. Popov S.V., Kashkevich M.P., Romanova N.E., et al. Detection of subaerial taliks by geophysical methods in the middle part of the Lena River basin, Central Yakutia. *Notes of the Mining Institute.* 2025;16396:1–13 (in Russian).

6. Gagarin L.A., Bazhin K.I., Olenchenko V.V., et al. Identification of sites of potential thermosuffosion soil decompaction along the federal highway A-360 “Lena” in Central Yakutia. *Cryosphere of the Earth.* 2019; XXIII (3):61–68 (in Russian). [https://doi.org/10.21782/KZ1560-7496-2019-3\(61-68\)](https://doi.org/10.21782/KZ1560-7496-2019-3(61-68)).

7. Pavlova N.A., Shepelev V.V., Galanin A.A., et al. Hydrochemistry of groundwater suprapermafrost-interpermafrost runoff in their discharge areas (central Yakutia). *Water Resources.* 2020;47(4):391–401 (in Russian).

8. Ponomareva O.E. Water-bearing taliks in sandy deposits of the lower reaches of the Vilyuy River basin. *Cryosphere of the Earth.* 1999; III(4):84–89 (in Russian).

9. Lebedeva L.S., Shamov V.V., Khristoforov I.I., et al. The role of permafrost subaerial aquifers in feeding two small tributaries of the Lena River according to field observations. *Cryosphere of the Earth.* 2025;29(1):37–51 (in Russian).

10. Omelyanenko A.V. Khristoforov I.I. Method of dual-spectrum ground penetrating radar for probing flooded geological environments. *Science and Education.* 2013;(1):33–38 (in Russian).

11. Khristoforov I.I., Omelyanenko A.V. Improving the Efficiency of Hydrological Investigations by Submersible Ground Penetrating Radar. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters.* 2018;15(3):335–339. <https://doi.org/10.1109/LGRS.2017.2786858>.

12. Vladov M.L., Sudakova M.S. *Georadiolocation: from physical foundations to promising directions.* Moscow: Geos; 2017:240 (in Russian).

13. Starovoitov A.V. *Interpretation of ground penetrating radar data.* Moscow: Publishing House MSU; 2008:188 (in Russian).

14. Popov S.V., Boronina A.S., Lebedeva L.S. Main factors of subaerial talik formation within the framework of one-dimensional mathematical model on the example of the Shestakovka River area, Central Yakutia. *Ice and Snow.* 2023. 63 (4):597–611 (in Russian). <https://doi.org/10.31857/S2076673423040130> EDN FQDPWS.

15. Gagarin, L.A. Modern conditions of development of subaerial taliks in sandy sediments of Central Yakutia. In: D. M. Shesternev, L. A. Gagarin (eds.). *Modern problems and future of geocryology: abstracts of reports of the IV All-Russian Scientific Youth Geocryological Forum with international participation, dedicated to the 200th anniversary of the birth of Academician A. F. Middendorf*, June 29 – July 12, 2015, Yakutsk, Russia. Yakutsk: Melnikov Permafrost Institute, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences; 2015:57–59 (in Russian).

16. Lebedeva L.S., Khristoforov I.I., Bazhin K.I., et al. Distribution and dynamics of suprapermafrost subaerial taliks in central Yakutia. In: *Modern Studies of Cryosphere Transformation and Issues of Geotechnical Safety of Structures in the Arctic, Salekhard, November 03–12, 2021*. Salekhard: Publishing House: B. i.; 2021: 243–245 (in Russian). <https://doi.org/10.7868/9785604610848065> EDN PPPDJK.

17. Danilov K.P., Khristoforov I.I., Gorokhov I.V. Study of permafrost taliks of Central Yakutia by the method of georadiolocation. In: *Electrorazvedka 2022: Proceedings of the scientific and practical conference, Moscow, October 26–28, 2022*. Moscow: Academy of Natural Science; 2023:219–225 (in Russian).

18. Arcone S.A., Chacho E.F., Delaney A.J. Seasonal structure of taliks beneath arctic streams determined with ground-penetrating radar. *Proceedings of the seventh International Permafrost Conference. Ottawa ON, Canada: International Permafrost Association, Canadian National Committee, 1998:19–24.*

19. O'Neill H.B., et al. Recent advances (2010–2019) in the study of taliks. *Permafrost and Periglacial Processes*. 2020;31(3):346–357.

### Сведения об авторах

*ДАНИЛОВ Кэнчээри Петрович* – м.н.с., ФГБУН Институт Мерзлотоведения им. М.П. Мельникова СО РАН, г. Якутск, Российская Федерация, ORCID: 0000-0003-3558-9655, ResearcherID: AAO-6870-2021, Scopus Author ID: 57191610594, SPIN: 3405-2879

e-mail: dkp84@mail.ru

*ХРИСТОФОРОВ Иван Иванович* – к.т.н., в.н.с., ФГБУН Институт Мерзлотоведения им. М.П. Мельникова СО РАН, ORCID: 0000-0003-2478-4172, ResearcherID: P-7306-2016, Scopus Author ID: 56458735300, SPIN: 6296-0055

e-mail: zodik@mail.ru

*ЛЕБЕДЕВА Людмила Сергеевна* – к.г.н., в.н.с., ФГБУН Институт Мерзлотоведения им. М.П. Мельникова СО РАН, г. Якутск, Российская Федерация, ORCID: 0000-0002-7498-9902, ResearcherID: J-6959-2016, Scopus Author ID: 7103194247, SPIN: 6441-4823

e-mail: lyudmilaslebedeva@gmail.com

*ГОРОХОВ Иван Викторович* – м.н.с., ФГБУН ФИЦ Якутский научный центр СО РАН, г. Якутск, Российская Федерация, ORCID: 0000-0001-6142-0103, ResearcherID: ABS-7844-2022, Scopus Author ID: 57246238500, SPIN: 3836-4281

e-mail: gorokhovivan1996@gmail.com

### About the authors

*Kencheeri P. DANILOV* – Junior Researcher, Melnikov Permafrost Institute, SB RAS, Yakutsk, Russian Federation, ORCID: 0000-0003-3558-9655, ResearcherID: AAO-6870-2021, Scopus Author ID: 57191610594, SPIN: 3405-2879

e-mail: dkp84@mail.ru

*Ivan I. KHRISTOFOROV* – Cand. Sci. (Engineering), Leading Researcher, Melnikov Permafrost Institute, SB RAS, Yakutsk, Russian Federation, ORCID: 0000-0003-2478-4172, ResearcherID: P-7306-2016, Scopus Author ID: 56458735300, SPIN: 6296-0055

e-mail: zodik@mail.ru

*Lyudmila S. LEBEDEVA* – Cand. Sci. (Geography), Leading Researcher, Melnikov Permafrost Institute, SB RAS, Yakutsk, Russian Federation, ORCID: 0000-0002-7498-9902, ResearcherID: J-6959-2016, Scopus Author ID: 7103194247, SPIN: 6441-4823

e-mail: lyudmilaslebedeva@gmail.com

*Ivan V. GOROKHOV* – Junior Researcher, Yakutsk Science Centre, SB RAS, Yakutsk, Russian Federation, ORCID: 0000-0001-6142-0103, ResearcherID: ABS-7844-2022, Scopus Author ID: 57246238500, SPIN: 3836-4281

e-mail: gorokhovivan1996@gmail.com

### Вклад авторов

*Данилов К.П.* – проведение исследования, визуализация, создание черновика рукописи, верификация данных, редактирование рукописи.

*Христофоров И.И.* – методология, верификация данных, администрирование данных, редактирование рукописи, ресурсное обеспечение исследования, руководство исследованием.

*Лебедева Л.С.* – разработка концепции, проведение статистического анализа, администрирование проекта, получение финансирования.

*Горохов И.В.* – проведение исследования, визуализация, редактирование рукописи.

### Authors' contribution

*Kencheeri P. DANILOV* – investigation, visualization, writing – original draft, validation, writing – review & editing.

*Ivan I. KHRISTOFOROV* – methodology, validation, data curation, writing – review & editing, resources, supervision.

*Lyudmila S. LEBEDEVA* – conceptualization, formal analysis, project administration, funding acquisition.

*Ivan V. GOROKHOV* – investigation, visualization, writing – review & editing.

### Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

### Conflict of interests

The authors declare no conflict of interest.

*Поступила в редакцию / Submitted 20.02.2026*

*Поступила после рецензирования / Revised 21.03.2026*

*Принята к публикации / Accepted 27.03.2026*