

Я.И. Торговкин, А.А. Шестакова, Н.Ф. Васильев

ПРОСТРАНСТВЕННЫЙ АНАЛИЗ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ МЕРЗЛОТНЫХ УСЛОВИЙ НА ФЕДЕРАЛЬНОЙ АВТОДОРОГЕ Р504 «КОЛЫМА» (ЯКУТСКИЙ УЧАСТОК)



Введение

Федеральная автомобильная дорога (ФАД) Р504 «Колыма» (прежний индекс М56) – действующая автодорога федерального значения между Якутском и Магаданом протяженностью 2032 км, из которых 1197 км проложено от города Якутска до границы Республики Саха (Якутия) (Якутский участок) и 835 – по Магаданской области. Дорога проходит через населенные пункты – поселок Нижний Бестях, где примыкает к автодороге федерального значения А360 «Лена», Тюнгюлю, Чурапча, Ытык-Кюель, Хандыга, Усть-Нера, Артык, Кадыкчан, Сусуман, Ягодное, Дебин, Оротукан, Мякит, Атка, Палатка и заканчивается в Магадане.

Автодорога «Колыма» является единственной связующей сухопутной нитью с Северо-Востоком России и обеспечивает жизнедеятельность Республики Саха (Якутия), Магаданской области и Чукотского автономного округа. В настоящее время в связи с окончанием строительства участка железной дороги от города Алдан до пос. Нижний-Бестях Мегино-Кангаласского района эта дорога приобретает все большее значение. В связи с этим изучение мерзлотных условий является весьма актуальным вопросом.

Якутский участок автодороги на одну треть расположен на относительно низменных участках Центральной Якутии. Наибольшие отметки (1400 м) высот встречаются на водоразделе рек Лены и Индигирки (рис. 1), при пересечении хребта Сунтар-Хаята.

Участок автодороги пересекает 8 мерзлотнolandшафтных районов (провинций): А.IV.5 – Провинция Лено-Амгинская аласная; А.IV.7 – Провинция Амгино-Алданская полого-увалистая; А.II.7 – Провинция Приалданская моренно-зандровая; В.VI.3 – Провинция Сетте-Дабанская среднегорная; В.VI.4 – Провинция Сунтархаятинская среднегорная; В.V.4 – Провинция Оймяконская плоскогорная;

В.VI.5 – Провинция Черская среднегорная; В.V.6 – Провинция Нерская плоскогорная (рис. 2) [1].

Трасса автодороги проходит по территории сплошного распространения многолетнемерзлых пород, где характерны мощности мерзлоты от 150 до 600 м. В отложениях равнинного участка изучаемой территории встречаются наиболее мощные (до 60-70 м по вертикали) повторно-жильные льды и характерны термокарстовые формы рельефа с булгуньями (буграми пучения) [2].

Как показывают современные исследования, на восточной части трассы часто встречаются наледи и просадки грунта. Причины разрушения полотна дороги авторы связывают с «... недостаточно хорошо проработанным трассированием дороги при ее проектировании, полным отсутствием инженерно-изыскательских и мерзлотных исследований в начальный период ее строительства» [3].

Материалы и методы

Профиль автодороги «Колыма» построен в ArcGIS 10. Для этого использовалась цифровая модель рельефа GTOPO30 (<https://earthexplorer.usgs.gov/>) с пространственным разрешением в 30 угловых секунд (примерно 900 метров).

Также нам требовалась линия самой автодороги, созданной в виде шейп- (.shp) файла. С помощью инструмента Features to 3D из набора инструментов 3D Analyst конвертировался шейп нашей автодороги с указанием источника данных высот. На выходе получился другой shp-файл, для которого уже активна функция построения графика профиля Profile Graph из набора инструментов 3D Analyst.

В качестве основы для пространственного анализа использовалась цифровая Мерзлотнolandшафтная карта Республики Саха (Якутия) масштаба 1:1 500 000, созданная коллективом авторов [1, 4].

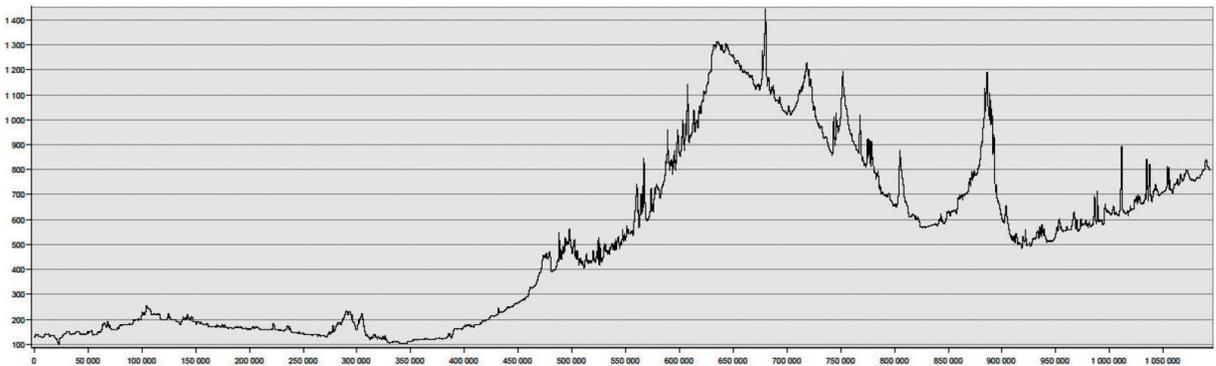
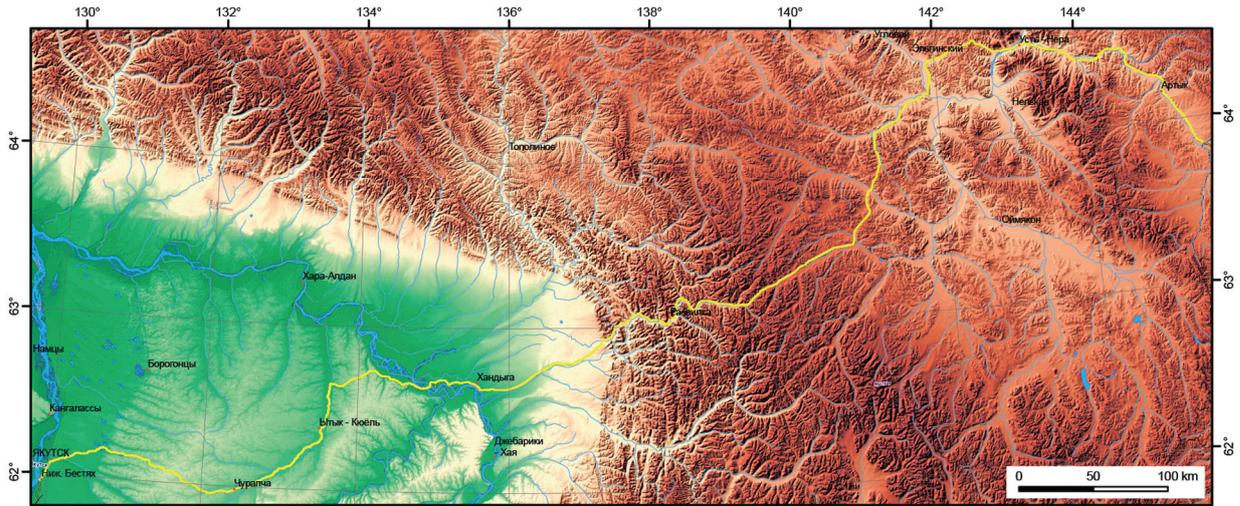


Рис. 1. Якутский участок ФАД Р504 «Колыма», в нижней части профиль рельефа

Fig. 1. Yakutsky site of the Federal highway P504 «Kolyma», in the lower part the profile of the relief

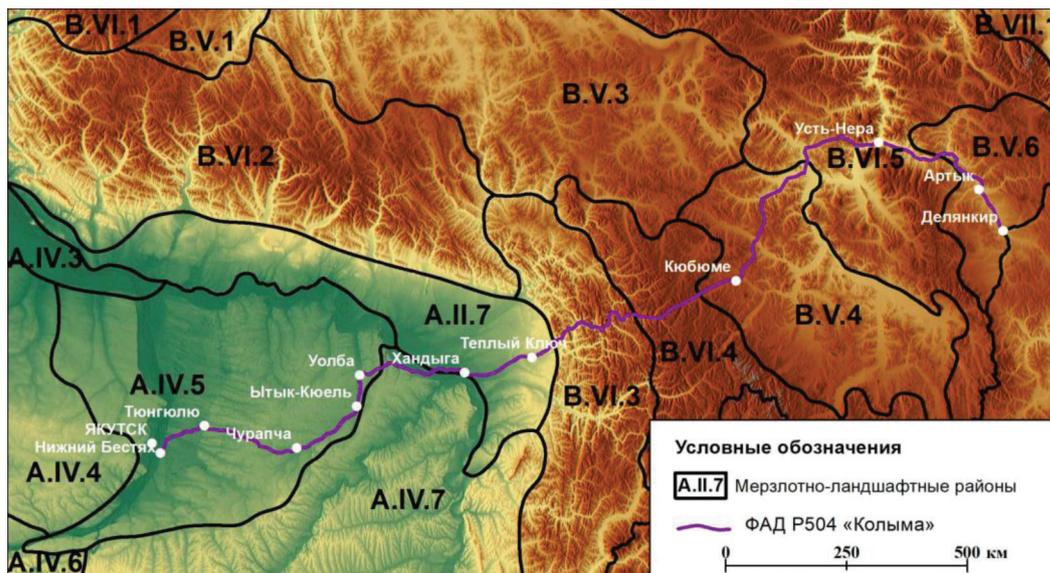


Рис. 2. Мерзлотно-ландшафтные районы, прилегающие к ФАД «Колыма»

Fig. 2. Permafrost-landscape areas adjacent to the Federal highway «Kolyma»

Векторизация объектов и пространственный анализ (буферизация, подсчет и анализ распространения природно-территориальных комплексов) проводились также в ArcGIS 10.

Анализ мерзлотных условий

Известно, что инженерно-геологические условия линейных сооружений, в том числе и автодорога «Колыма», задаются природными условиями территории – геологическим и тектоническим строением, рельефом, климатом, гидрогеологическими и ландшафтно-мерзлотными условиями. Они способны порождать целый спектр, в том числе опасных, инженерно-геологических процессов, способных активно воздействовать на инженерные сооружения [5].

Для анализа мерзлотных условий придорожной полосы шириной 100 м была создана буферная зона, а затем, при ее наложении на Мерзлотно-ландшафтную карту, была произведена операция «вырезание». Таким образом был создан новый класс пространственных объектов – полигон, содержащий географический поднабор пространственных объектов, скопированный из Мерзлотно-ландшафтной карты (рис. 3).

Сама Мерзлотно-ландшафтная карта содержит в атрибутивной таблице параметры каждого объекта (полигона), состоящие из 9 показателей: стратиграфо-генетических комплексов, криогенных

текстур, криогенных процессов, льдистости грунтов (фактической и по степени льдистости), температуры грунтов, глубины сезонного протаивания, растительности и типов местности (рис. 4).

Общая площадь буферной зоны составляет 218 638 843 м² (218,6 км²).

Всего буферная зона охватывает 12 типов местности, таких, как аласный, высокотеррасовый, средневысотный террасовый, зандровый, ледниково-долинный, межаласный, склоновый (делювиально-солифлюкционный, делювиально-коллювиальный, коллювиальный), приводораздельно-элювиальный, низкотеррасовый, моренный (рис. 5). Чаще всего трасса автодороги проложена по ровным низким террасам (33,2%), коллювиальным склонам и межаласью (11,4 и 10,3% от всей территории соответственно), сложенной высокольдистыми отложениями.

Вдоль автодороги развиты следующие криогенные процессы: криогенное выветривание; криогенный крип и термоэрозия; солифлюкция, морозная сортировка, пучение; термокарст; морозобойное растрескивание (рис. 6). В межаласном и низкотеррасовом типах местности распространены наиболее опасные среди перечисленных процессов – термокарст и морозобойное растрескивание в сочетании с другими криогенными процессами (21,7 и 53,6% от всей территории соответственно).

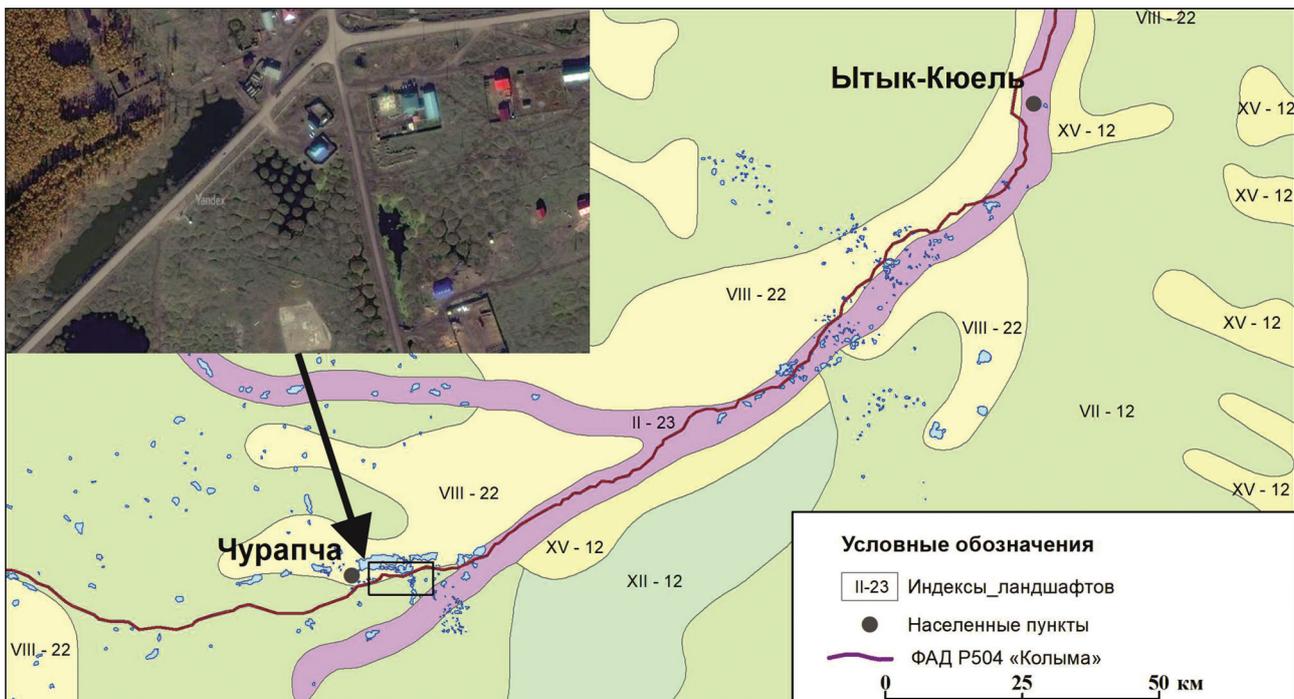


Рис. 3. Фрагмент участка Мерзлотно-ландшафтной карты. На врезке показаны криогенные процессы около с. Чурапча

Fig. 3. A fragment of the Permafrost-landscape map section. The inset shows cryogenic processes near Churapcha village

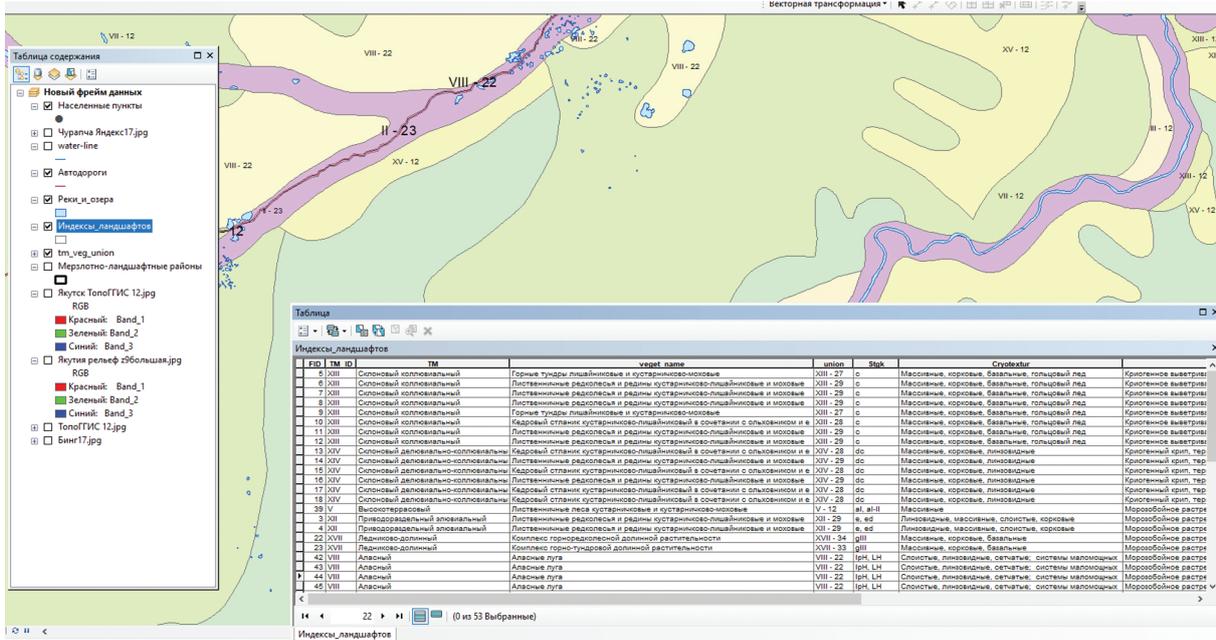


Рис. 4. Фрагмент Мерзлотно-ландшафтной карты Республики Саха (Якутия) с атрибутивной таблицей

Fig. 4. Fragment of the Permafrost-landscape map of the Republic of Sakha (Yakutia) with an attribute table

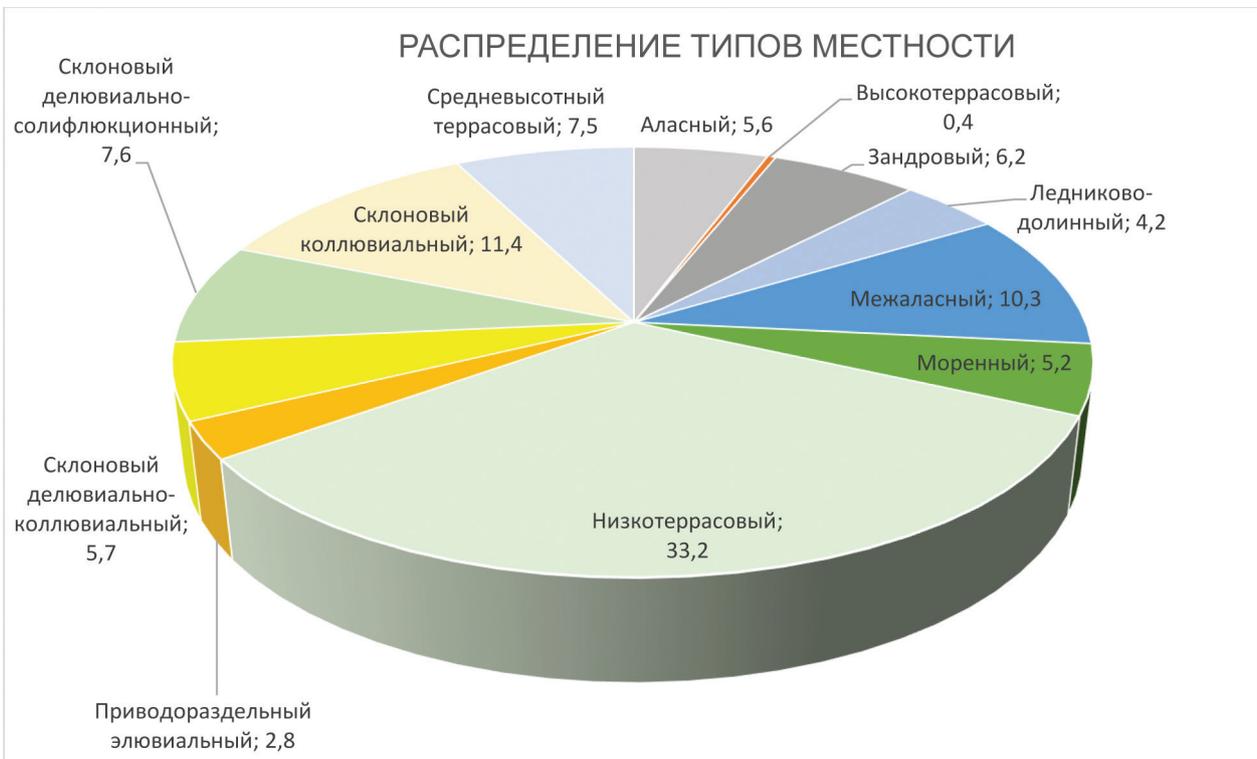


Рис. 5. Пространственное распределение типов местности

Fig. 5. Spatial distribution of terrain types

На склоновых делювиально-коллювиальных, коллювиальных и делювиально-солифлюкционных типах местности отмечаются также достаточно опасные процессы, например, криогенное выветривание (11,4%), солифлюкция, пучение и отчасти термокарст (7,6%) и термоэрозия (5,7%). В горах ведущим процессом является морозное выветривание и наледеобразование.

Пространственная дифференциация температуры грунтов в ландшафтах исследуемой территории достаточно разнообразная. Выделено 8 градаций температуры, которые сгруппированы по интервалам. Так, грунты с высокими температурами (от 0 до -2°C) занимают 25% территории, средние температуры (от -2 до -4°C) встречаются на 54% рассматриваемой территории, грунты с низкими температурами (от -4 до -6°C) занимают 18% и самые низкие температуры грунтов (ниже -6°C) встречаются на 3% территории (рис. 7).

Значения глубины сезонного протаивания в буферной зоне автодороги Колыма подразделяются на 5 интервалов (рис. 8). Значения до 1 м и 1-1,5 м занимают по 16% территории. Глубина протаивания

1,5-2 м прослеживается в 30% от общей территории. Значение >2 м занимает 33% и 2-2,5 м – 5% от общей территории.

Заключение

При проведении пространственного анализа мерзлотных условий установлено, что Федеральная автомобильная дорога «Колыма» пересекает участки со сложными криогенными условиями.

Выявлено, что дорога в основном проложена по низкотеррасовому (33,2% от общей территории 100 м зоны) и межлассному типу местности (10,3%), где распространены высокольдистые отложения. На этих территориях более выраженными криогенными процессами являются морозобойное растрескивание (53,6%) и термокарст (21,7%). Преобладают грунты с температурами от -2 до -4°C (54%). В горных лишайниковых тундрах Верхоянского хребта отмечены грунты с низкой температурой (-9°), расположенные на 3% территории. Максимальное значение глубины сезонного протаивания составляет $>2,5$ м. Преобладающим является значение глубины сезонного протаивания от 1,5 до 2 м (30% от общей территории).



Рис. 6. Распространение криогенных процессов

Fig. 6. The spread of cryogenic processes

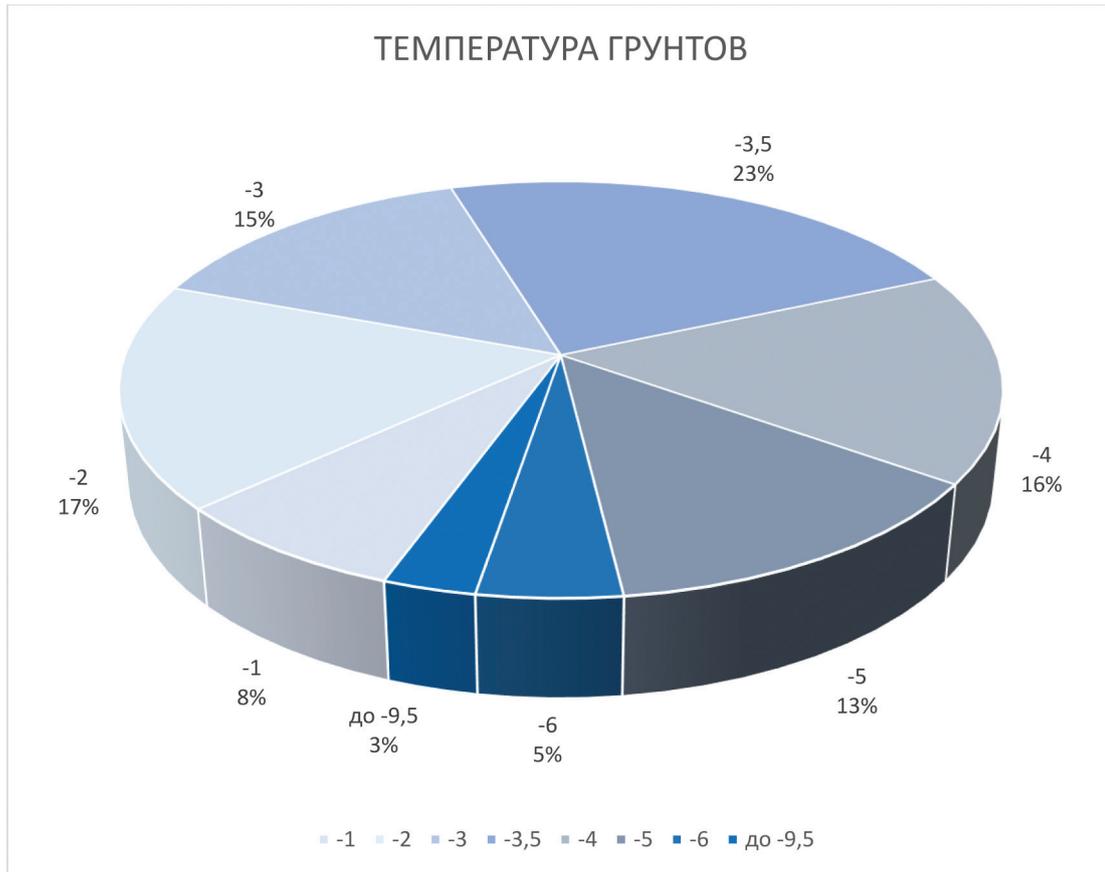


Рис. 7. Температура грунтов ландшафтов в буферной зоне автодороги «Колыма»

Fig. 7. The temperature of landscape soils in the buffer zone of the «Kolyma» highway



Рис. 8. Глубина сезонного протаивания грунтов

Fig. 8. Seasonal thawing depth of soils

Использование ГИС-технологий при картографировании территории трассы ускорит и повысит эффективность развития и функционирования Федеральной автодороги «Колыма». Данный ГИС-проект может стать основой при проектировании и строительстве мостовых переходов, находящихся в аварийном и неудовлетворительном состоянии, а также реконструкции участков автомобильной дороги.

Создание геоинформационной системы по Федеральной автодороге «Колыма» позволит собирать данные воедино, в цифровом виде, что весьма удобно для их последующего использования, постоянного пополнения и корректирования баз данных, позволит повысить качество и скорость обработки данных, вести трудоемкие процедуры пространственного анализа.

Ключевые слова: мерзлотные условия, ГИС-технологии, пространственный анализ, температура грунтов, криогенные процессы, автодорога «Колыма».

ЛИТЕРАТУРА

1. Fedorov A., Vasilyev N., Torgovkin Ya., A. Shestakova, Varlamov S. et al. Permafrost-Landscape Map of the Republic of Sakha (Yakutia) on a scale 1:1,500,000 // *Geosciences*. – 2018. – 8 (12). – 465. DOI: 10.3390/geosciences8120465.
2. Иванов М.С. Криогенное строение четвертичных отложений Лено-Алданской впадины. – Новосибирск: Наука, 1984. – 123 с.
3. Гулый С.А., Прелль Н. Анализ источников причин некоторых криогенных явлений на федеральной трассе Р-504 «Колыма» // *Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ)*. – 2013. – № 3 (34). – С. 72-77.
4. Fedorov A., Torgovkin Y., Vasilyev N., Shestakova A., Konstantinov P., Samsonova V., Kalinicheva S., Basharin N. Digital Thematic Mapping of the Current State of Permafrost Landscapes in Yakutia // *Solving the puzzles from Cryosphere : Abstracts of International Conference, Russia, Pushchino, April 15-18, 2019*. – P. 133-134.
5. Поморцев О.А., Гуков А.Ю., Поморцев В.А., Петрова М.В. Изменение климата и инженерно-геологические проблемы на трассе «Колыма» в Южном Верхоянье // *Разведка и охрана недр*. – 2013. – № 12. – С. 70-75.

REFERENCES

1. Fedorov A., Vasilyev N., Torgovkin Ya., A. Shestakova, Varlamov S. et al. Permafrost-Landscape Map of the Republic of Sakha (Yakutia) on a scale 1:1,500,000 // *Geosciences*. 2018. 8 (12). 465. DOI: 10.3390/geosciences8120465.
2. Ivanov M.S. The cryogenic structure of the Quaternary sediments Leno-Aldan depression. – Novosibirsk: Nauka, 1984. – 125 p.
3. Gulyy S.A., Prell N. Analysis of the sources of the causes of some cryogenic phenomena on the Federal highway R-504 «Kolyma» // *Bulletin of the Moscow Automobile and Road State Technical University (MADI)*. 2013. No. 3 (34). P. 72-77.
4. Fedorov A., Torgovkin Y., Vasilyev N., Shestakova A., Konstantinov P., Samsonova V., Kalinicheva S., Basharin N. Digital Thematic Mapping of the Current State of Permafrost Landscapes in Yakutia // *Solving the puzzles from Cryosphere : Abstracts of International Conference, Russia, Pushchino, April 15-18, 2019*. P. 133-134.
5. Pomortsev O.A., Gukov A.Yu., Pomortsev V.A., Petrova M.V. Climate change and geotechnical problems on the Kolyma highway in South Verkhoyanie // *Exploration and mineral protection*. 2013. No. 12. P. 70-75.