

Арктика и Антарктика

Правильная ссылка на статью:

Сальва А.М. — Отслеживание участков термокарстовых проявлений по космическим снимкам (на примере трассы магистрального водовода в Центральной Якутии) // Арктика и Антарктика. – 2020. – № 2. DOI: 10.7256/2453-8922.2020.2.32860 URL: https://nbpublish.com/library_read_article.php?id=32860

Отслеживание участков термокарстовых проявлений по космическим снимкам (на примере трассы магистрального водовода в Центральной Якутии)

Сальва Андрей Михайлович

кандидат геолого-минералогических наук

доцент, кафедра Кафедра «Землеустройство и ландшафтная архитектура», Якутская государственная сельскохозяйственная академия

677007, Россия, республика Республика Саха (Якутия), г. Якутск, ул. Шоссе Сергеляжское 3, 3, каб. 1.416

✉ salvaam@mail.ru



[Статья из рубрики "Экзогенные процессы в холодных равнинных и горных регионах"](#)

DOI:

10.7256/2453-8922.2020.2.32860

Дата направления статьи в редакцию:

15-05-2020

Аннотация.

В районах распространения многолетнемерзлых пород и развития ледового комплекса, озерный термокарст является главным рельефообразующим процессом, формируя характерный аласный рельеф. Помимо образования озер в результате термокарстовых просадок, сопровождающихся стоком воды, формируется термоденудационный рельеф включая байджерахи и бугристо-западинные формы. В результате образуются термокарстовые проявления. Объектом исследования являются термокарстовые проявления, в частности, полигональный микрорельеф и морозобойное растрескивание. Они изучены на участке трассы магистрального водовода «Лена – Туора-Кюель – Татта», недалеко от населенного пункта Майя Мегино-Кангаласского улуса Республики Саха (Якутия). Эти термокарстовые проявления выявлены по космическим снимкам находящиеся в открытом доступе на интернет сайте, также в работе были использованы методы обработки инженерно-геологической информации, литературный и фондовый материал. Также выполнено полевое исследование и простая фотосъемка, позволяющая определить формы полигонов и измерить их. Основным выводом проведенного исследования является предложение простой методики позволяющей провести площадное районирование территории по активизации полигонального микрорельефа как термокарстовых проявлений. В дальнейшем результаты исследований площадного районирования распространения криогенных процессов могут быть использованы при

технико-экономическом обосновании выбора трасс линейных и других сооружений.

Ключевые слова: термокарстовые проявления, термокарст, полигональный микрорельеф, морозобойное трещинообразование, повторно-жильные льды, космические снимки, магистральный водовод, Центральная Якутия, поселок Майя, методика районирования

Введение. Термокарст – это явление проседания и провала почвы и подстилающих ее грунтов в результате оттаивания подземного льда. Основная причина появления и развития термокарста: изменение термического режима поверхности, увеличение мощности деятельного слоя. Главное условие – большая льдонасыщенность пород. Формы рельефа при термокарсте, так называемые отрицательные – озерные котловины (аласы), провалы, западины, ниши, ложбины, термоцирки, байджарахи.

Кроме этого к термокарстовым проявлениям относятся: развитие структур-полигонов; морозобойное трещинообразование; формирование подземных повторно-жильных льдов; иногда развитие бугров пучения (булгуннях), а также собственно термокарст (в виде ям, провалов, котловин) и термоэрозия [\[1-6\]](#).

П. А. Соловьев в 1962 г. выделил [\[7\]](#) следующие стадии начальных форм развития термокарста на едоте (рис. 1):

а – зачаточный былар, представляющий собой плоскую поверхность, деформированную замкнутыми просадочными воронками и ложбинками;

б – былар, характеризующийся формированием полигонов и бугристого микрорельефа в результате увеличения и соединения просадочных ложбин;

в – иё, выраженная в виде западины с бугристым микрорельефом без четких границ в плане;

г, д – дюёдя, представляющая собой котловину, часто наполненную водой, с выраженными бортами с бугристым микрорельефом склонов и плоского дна.

е – тымпы, котловина которого часто вмещает озеро, имеет плоское или слабовогнутое дно с резко выраженными бортами [\[7\]](#).

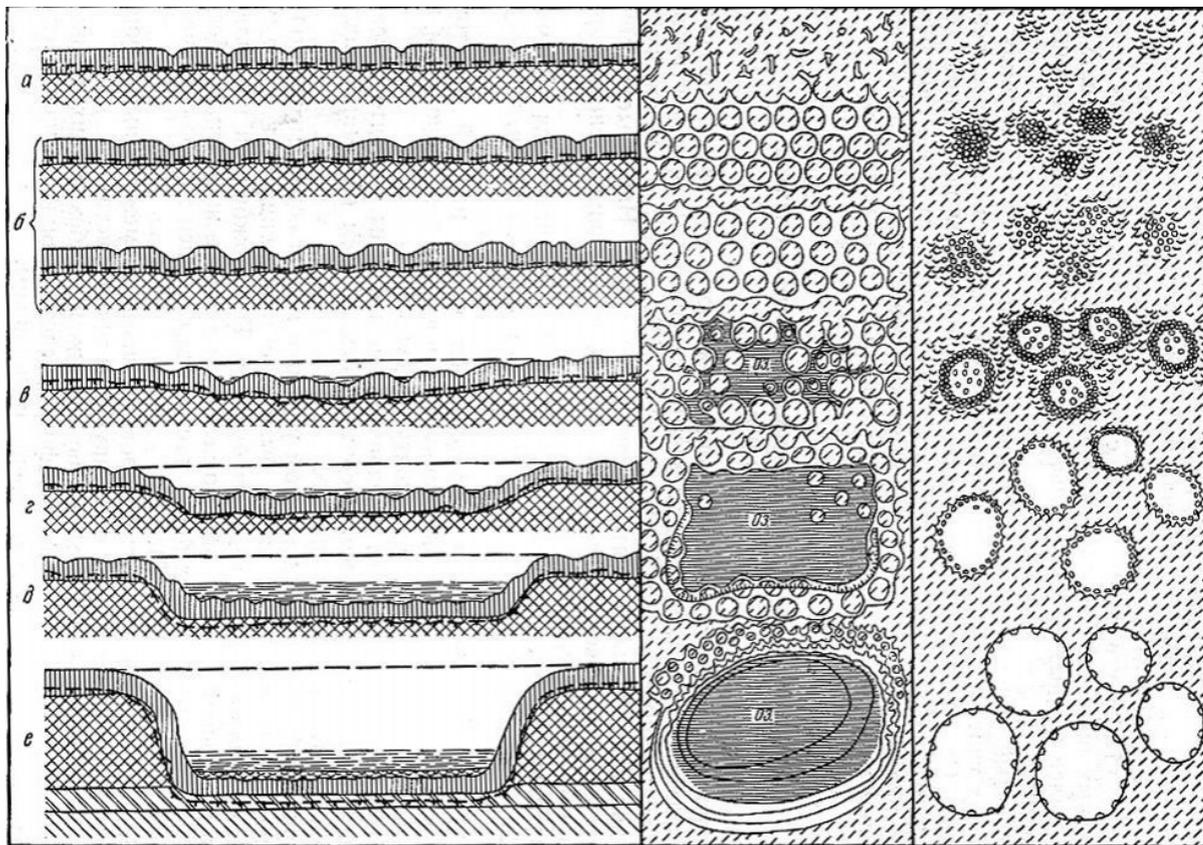


Рис. 1. Схема строения (поперечный профиль и план) термокарстовых форм рельефа, соответствующих начальным стадиям их развития, по П.А. Соловьеву [7]

Едома (едомный комплекс) - термин применялся для районов криолитозоны, возник в конце XIX века и начал широко употребляться учеными, примерно в 50-х годах XX века. По началу, он означал территории сложенные четверичными отложениями с ископаемыми льдами и мелкобугристой поверхностью, позднее стали входить все территории с широким распространением криогенных процессов и явлений.

При изучении данного вопроса автор воспользовался публикациями, как прошлых лет [8-14], так и современными [15-26], а также публикациями зарубежных ученых [27-30].

Цель исследования – выявление активизаций термокарстовых проявлений на территории прохождения магистрального водовода в Центральной Якутии с помощью космических и простых фотографических снимков, а также предложение методики их площадного районирования.

Материалы и методы. В начале 90-х годов прошлого века в сельских районах Центральной Якутии с целью обеспечения населения питьевой и технической водой, началось строительство системы магистрального водоснабжения, которая состояла из насосных станций, трубопроводов, водохранилищ и каналов. В то время было предусмотрено строительство трех ветвей водоводов. Самый протяженный из них – это магистральный водовод «Лена – Туора-Кюель – Татта». Он был расположен на территории сплошного распространения многолетнемерзлых горных пород и на всем своем протяжении встречал участки более или менее интенсивного развития мерзлотных геологических процессов и явлений. При эксплуатации системы водоснабжения техногенные нагрузки стали приводить к существенным изменениям мерзлотной среды и прилегающих ландшафтов. В результате активизации криогенных процессов осложнились геокриологические условия трассы водовода. Трасса водовода проходила

через населенный пункт Майя (рис. 2).

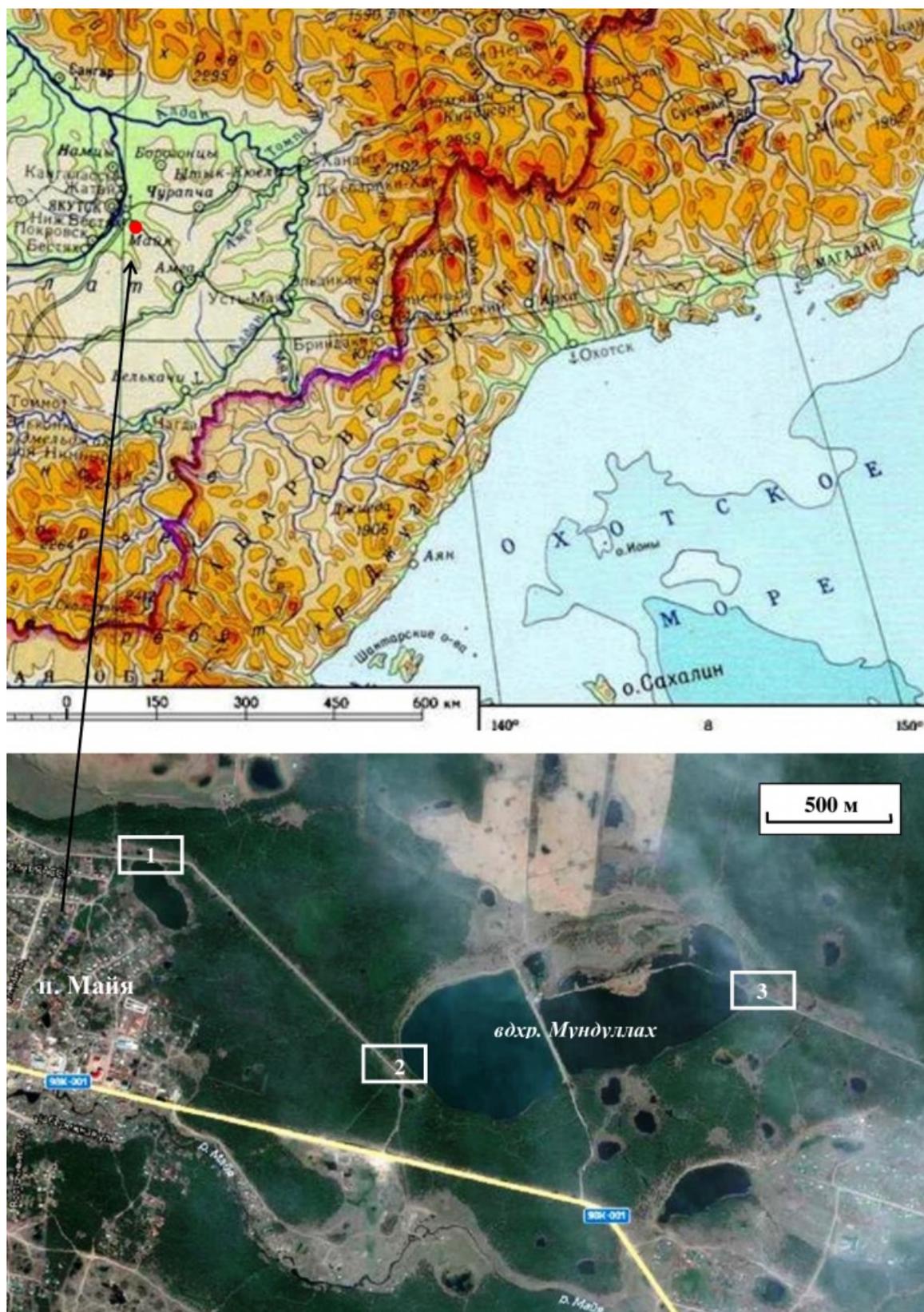


Рис. 2. Территория исследования (красная точка – поселок Майя, на космическом снимке участки конкретных исследований – участок 1, участок 2 и участок 3)

Для исследования некоторых участков магистральных водоводов были использованы дистанционные методы по спутниковым снимкам высокого и сверхвысокого разрешения, находящиеся в открытом доступе на интернет сайте <https://yandex.ru/maps/> и <https://google.com/maps/>, а также методы обработки инженерно-геологической

информации.

Так обследования полигональных структур на участке трассы магистрального водовода «Лена – Туора Кюель» в районе водохранилища «Мундулаах» (с. Майя) были проведены на основе визуального дешифрирования космоснимков. При исследовании трассы водоводов были выделены зоны активизации термокарстовых процессов, эти площади были выделены с помощью интернет сайтов находящиеся в свободном доступе. Изучение региональных особенностей криогенного микрорельефа стало возможным в связи с большей доступностью космических снимков, находящиеся в открытом доступе (Google, Yandex). Их разрешающая способность является достаточной для площадного районирования криогенных микроформ рельефа и характеристики их морфометрических параметров (площади, размеров, форм). Однако «читаемость» этих микроформ в значительной степени определяются условиями съемки, а также на космоснимках, сделанных зимой, осенью, весной и летом. Например, по зимним космическим снимкам (см. рисунки 3 и 4) гораздо более отчетливо просматриваются морфометрические параметры полигонального микрорельефа.

Наряду с дешифрированием космических снимков (КС) была проведена работа с различными картографическими источниками, литературным и фондовым материалом [\[15-30\]](#).

Результаты и обсуждение. В результате исследования на участке водохранилища «Мундуллах» (п. Майя) были выявлены места и зоны активизации полигонального микрорельефа, рассчитаны их площади. Площадь полигонального микрорельефа рассчитывается по простой методике (из геометрии), всю площадь микрорельефа можно определить в виде неправильной фигуры. Эту фигуру разбиваем на прямоугольники, четырехугольники или треугольники, рассчитываем их площади и суммируем.

Из рисунка 2 на космическом снимке находим *участок 1* и сравниваем зимний и летний космоснимки (рис. 3).



Рис. 3. Сравнение зимнего и летнего космоснимков

Например, на рисунке 3 получаем неправильную фигуру, которую разбиваем на два треугольников и два прямоугольника, и измеряем их площадь, по формулам:

$S = 1/2 aha$, где; a – основание, ha – высота, для треугольников

$S = ab$, где; ab – стороны прямоугольника

Получаем следующее действие: $(40 \times 130) = 5200 \text{ м}^2$, $(25 \times 60) = 1500 \text{ м}^2$, $1/2(25 \times 40) = 500 \text{ м}^2$, $1/2(40 \times 30) = 600 \text{ м}^2$. Получаем, площадь полигонального микрорельефа, выделенного на зимнем рисунке 98 составляет 7800 м^2 .

Из рис. 2 на космическом снимке находим участок 2 и аналогично, сравниваем космоснимки (рис. 4). Получаем неправильную фигуру, которую разбиваем на пять треугольников, затем измеряем их площадь, по формуле:

$S = 1/2 aha$,

где: S – площадь треугольника, a – основание, ha – высота



Рис. 4. Сравнение зимнего и летнего космоснимков

Таким образом, получаем следующее действие: $\frac{1}{2}(40 \times 15) = 300 \text{ м}^2$, $\frac{1}{2}(30 \times 25) = 375 \text{ м}^2$, $\frac{1}{2}(35 \times 30) = 525 \text{ м}^2$, $\frac{1}{2}(40 \times 35) = 700 \text{ м}^2$, $\frac{1}{2}(30 \times 35) = 525 \text{ м}^2$. Суммируем площади всех треугольников получаем 2425 м². Это площадь выделенного красной линией криогенного полигонального микрорельефа. Также можно выделять все участки с зимними полигонами.

Так можно определить все участки с распространением полигонального микрорельефа на полосе трассы магистрального водовода. Данная методика очень простая, она позволяет провести площадное районирование территории по активизации полигонального микрорельефа как термокарстовых проявлений.

На космическом снимке рисунка 2 находим *участок 3*. На этом участке можно измерить полигоны: как их размеры, так и их формы.

Полигональный микрорельеф (полигоны) на трассе «Лена – Туора Кюель – Татта», возле водохранилища «Мундулах» (рис. 5) в п. Майя, угрожающий магистральному водоводу, находится буквально в нескольких метрах. Ярко – выраженные четырех и пятиугольные полигоны, размером примерно 5 – 10 м в длину, 3 – 6 м. в ширину и высотой до 0,8 м. Площадью распространения до 200 м².



Рис. 5. Полигональный микрорельеф на трассе магистрального водовода «Лена – Туора Кюель – Татта» (п. Майя, вдхр. Мундуллах). Фото А. М. Сальва, 2016 г.

Морозобойное растрескивание в условиях вечной мерзлоты сопровождается ростом ледяных трещин. Повторно-жильные льды растут в результате проникновения в трещины и замерзания поверхностной или грунтовой воды. Зарождаются они в виде ледяных жилок, по которым происходит повторное растрескивание [11]. В результате разрастания повторно-ледяной жилы в окружающих ее отложениях часто возникает отгибание слоев вверх. Если верхняя граница повторно-жильных льдов залегает близко к поверхности, примерно до нижней границы деятельного слоя, то возможно выпучивание (рис. 6), передвижение и разрыв дневной поверхности земли. На рисунках показан участок трубопровода магистрального водовода «Лена – Туора Кюель – Чурапча» в районе водохранилища «Мундуллах» (п. Майя), где выявлен ярковыраженный полигональный микрорельеф с морозобойным растрескиванием (рис. 7), в результате которого происходит смещение и разрыв трубопровода (рис. 8).



Рис. 6. Выпучивание опор магистрального водовода. Фото А. М. Сальва, 2018 г.



Рис. 7. Морозобойные трещины на трассе водовода. Фото А. М. Сальва, 2018 г.



Рис. 8. Смещение водовода и разрыв двутавровых перегородок, Фото А. М. Сальва, 2018 г.

Выводы. Таким образом, на основе дистанционных данных космических снимков предложена простая методика площадного районирования полигонального микрорельефа и их морфометрических параметров (площади, размеров, форм). В дальнейшем результаты исследований площадного районирования распространения криогенных процессов могут быть использованы при технико-экономическом обосновании выбора трасс линейных и других сооружений. Что касается влияния термокарстовых проявлений на магистральный водовод, то по мере их активизации воздействие на водовод будет только усиливаться.

Библиография

1. Качурин С.П. Аласы Центральной Якутии // Труды Сев.-Вост.отд. Ин-та мерзлотоведения АН СССР, Якутск. 1958, вып.1. С. 167–178.
2. Качурин С.П. Термокарст на территории СССР. М., 1961. 291 с.
3. Васильчук Ю.К. Повторно-жильные льды; гетероцикличность, гетерохронность, гетерогенность. Изд-во Моск. ун-та. М. 2006 М.: Изд-во МГУ, 2006. 404 с.
4. Шур Ю.Л. Верхний горизонт толщи мерзлых пород и термокарст. Новосибирск: Наука, 1988. 209 с.
5. Шур Ю.Л. О причинах развития термокарста // Труды ВСЕГИНГЕО. Нов. сер. 1974 Вып. 70. С. 31–47.
6. Шур Ю.Л. Термокарст и строение верхнего горизонта толщи многолетнемерзлых пород: Автореф. дис. ... д-ра геол.-минер. наук. М.: ВСЕГИНГЕО, 1985. 46 с.
7. Соловьев П.А. Аласный рельеф Центральной Якутии и его происхождение // Многолетнемерзлые породы и сопутствующие им явления на территории Якутской АССР, М.: Изд-во АН СССР, 1962. С. 38–53.
8. Арэ Ф.Э. О современном высыхании озер Центральной Якутии // Вопросы географии Якутии. Якутск. 1969. Вып.5. С. 78–87.
9. Босиков Н.П. Аласность Центральной Якутии // Геокриологические условия в горах и на равнинах Азии. Якутск, 1978. С. 113–118.
10. Босиков Н.П., Васильев И.С., Федоров А.Н. Мерзлотные ландшафты зоны освоения Лено-Алданского междуречья. Якутск, 1985. 124 с.
11. Босиков Н.П. Повторно-жильные льды в аласах Центральной Якутии // Геокриологические условия в горах и на равнинах Азии, Якутск, 1978. С. 119–122.
12. Босиков Н.П. Пример морфометрической характеристики аласных образований Центральной Якутии // Вопросы геокриологии в трудах молодых ученых и специалистов. Якутск, Издание ИМ СО АН СССР, 1976. С. 44–49.
13. Босиков Н.П. Эволюция аласов Центральной Якутии. Якутск: Изд-во ИМЗ СО РАН, 1991. 128 с.
14. Иванов М.С. Криогенное строение четвертичных отложений Лено-Алданской впадины. Новосибирск: Наука, 1984. 126 с.
15. Аэровизуальные обследования как источник геокриологической информации / Е.М. Макарычева [и др.]. Труды Десятой Международной конференции по мерзлотоведению (TICOP): Ресурсы и риски регионов с вечной мерзлотой в меняющемся мире // Том 5: Расширенные тезисы на русском языке. Тюмень: Печатник. 2012 г. С. 192–193.
16. Брыскина Н.А.. Изучение динамики изменений термокарстовых форм рельефа с использованием космических снимков / Н.А. Брыскина, А.В. Евтюшкин, Ю.М. Полищук // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса: Физические основы, методы и технологии мониторинга окружающей среды, потенциально опасных явлений и объектов. Сборник научных статей. Выпуск 4. Том II. М.: ООО «Азбука-2000», 2007. С. 123–129.
17. Веремеева А. А. Формирование и современная динамика озерно-термокарстового рельефа тундровой зоны Колымской низменности по данным космической съемки: диссертация ... канд. геогр. наук. Москва, 2017. 134 с.
18. Кизяков А.И., Зимин М.В., Лейбман М.О., Правикова Н.В. Применение космической съемки высокого разрешения для определения скорости термоденудации и термоабразии на Западном побережье острова Колгуев // Геокриологическое картографирование: Проблемы и перспективы: Программа конференции. Тезисы

- конференции. Москва. 5-6 июня 2013 г. М.: РУДН. 2013. С. 108–111.
19. Кравцова В. И. Распространение термокарстовых озер в России в пределах зоны современной мерзлоты // Вестник МГУ. Сер. 5: География. 2009. № 3. С. 33–42.
 20. Кравцова В.И., Тарасенко Т.В. Динамика термокарстовых озер Центральной Якутии при изменениях климата с 1950 года // Криосфера Земли. 2011. Т. XV. № 3. С. 31–42.
 21. Лабутина И.А., Балдина Е.А. Практикум по курсу «Дешифрирование аэрокосмических снимков». Учебное пособие. М.: Географический факультет МГУ, 2013. 168 с.
 22. Лабутина И.А. Дешифрирование аэрокосмических снимков. М.: Аспект-Пресс, 2004. 184 с.
 23. Макарычева Е.М. Оценка динамики развития экзогенных геологических процессов по данным аэровизуальных обследований трубопроводных систем / Е.М. Макарычева, А. Н. Угаров, Н. С. Малаева // Москва: Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. «Машиностроение», 2013. С. 114–121.
 24. Макарычева Е. М. Региональный анализ распространения термокарстовых явлений в окрестности магистральной нефтепроводной системы: диссертация ... канд. геол.-минерал. наук. Москва, 2018. 205 с.
 25. Родионова Т.В. Исследование динамики термокарстовых озер в различных районах криолитозоны России по космическим снимкам. Дис. ... канд. геогр. н. М., 2013. 196 с.
 26. Сальва А.М. Система магистрального водоснабжения в Центральной Якутии // Издательство СВФУ. Электронное пособие: Монография. 2017. 110 с.
 27. Boike J., Grau T., Heim B., Günther F. et al. Satellite-derived changes in the permafrost landscapes of Central Yakutia, 2000-2011: Wetting, drying, and fires // Global Planet. Change. 2016. 139. P. 116-127. Doi: 10.1016/j.gloplacha.2016.01.001.
 28. Fitzgerald D., Riordan B.A. Permafrost and ponds. Remote sensing and GIS used to monitor Alaska wetlands at the landscape level // Agroborealis. 2003. 35. № 1. P. 30–35.
 29. Grosse G., Schirrmeister L., and Malthus T. J. Application of Landsat-7 satellite data and a DEM for the quantification of thermokarst-affected terrain types in the periglacial Lena-Anabar coastal lowland // Polar Res. 2006. V. 25. P. 51–67.
 30. Hinkel K.M., Frohn R.C., Nelson F.E., Eisner W.R., and Beck R. A. Morphometric and spatial analysis of thaw lakes and drained thaw lake basins in the western Arctic coastal plain, Alaska // Permafrost and Periglacial Processes. 2005. 16 (4). P. 327–341

Результаты процедуры рецензирования статьи

В связи с политикой двойного слепого рецензирования личность рецензента не раскрывается.

Со списком рецензентов издательства можно ознакомиться [здесь](#).

Работа посвящена дистанционному исследованию форм микрорельефа, являющихся проявлением термокарстовых процессов. Наглядно показано преимущество использования космоснимков и аэрофотоснимков, выполненных в зимний период по сравнению с "летними". Задача выделения термокарстовых проявлений весьма актуальна ввиду роста инфраструктурной сети в северных и восточных регионах, особенно, сети трубопроводного транспорта, для которого нарушения грунта могут повлечь серьезные аварии. Автор опирается, можно догадаться, на собственную

диссертацию 2012 г. (предполагаю, фото сделаны автором), развивает описанные в ней идеи. Соответственно, тему прорабатывает давно и достаточно глубоко, знаком с уровнем исследований прошлых лет и с зарубежным опытом, что отражено в перечне литературы. Научная новизна заключается в предложении оригинальной методике описанных дистанционных исследований. Приведены убедительные доказательства эффективности методики. Качественно описана идея работы, результат. Работу читать интересно и приятно - выдержан научный стиль и не замечено опечаток. Рекомендую к публикации. Пожелания: 1) следить внимательнее за корректностью заимствований (присутствуют абзацы, до запятой схожие с фрагментами работ приведенных в списке литературы - нужно все же перерабатывать текст, даже если ссылки идут на собственную публикацию. Иначе - брать фрагмент в кавычки), 2) при первом упоминании термина "едома" хотелось бы увидеть пояснения.