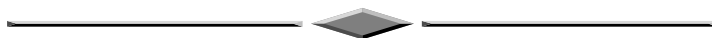


КАРТОГРАФИЯ И ГЕОИНФОРМАТИКА



УДК 528.92(98)

DOI: 10.33764/2411-1759-2022-27-2-125-133

НОВЫЕ ПОДХОДЫ К ОТОБРАЖЕНИЮ МЕРЗЛОТНЫХ ФОРМ РЕЛЬЕФА НА ЦИФРОВЫХ ТОПОГРАФИЧЕСКИХ КАРТАХ СИБИРСКОЙ ЗОНЫ АРКТИКИ

Денис Вячеславович Виноградов

Главный центр геопространственной информации МО РФ, 664025, Россия, г. Иркутск, ул. 5-й Армии, 64, зам. начальника филиала, тел. (964) 804-59-19, e-mail: denis733@mail.ru

Леонид Александрович Пластинин

Иркутский национальный исследовательский технический университет, 664074, Россия, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, доктор технических наук, профессор кафедры маркшейдерского дела и геодезии, тел. (950)122-27-23, e-mail: irkplast@mail.ru

Владимир Павлович Ступин

Иркутский национальный исследовательский технический университет, 664074, Россия, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, доктор технических наук, профессор кафедры маркшейдерского дела и геодезии, тел. (964)103-08-17, e-mail: stupinigu@mail.ru

Анализ традиционных топографических карт и планов сибирской зоны Арктики показывает, что их актуальность и полнота содержания не в полной мере удовлетворяют современным требованиям дальнейшего развития этого региона. Назрела необходимость целевой специализации нового поколения топографических карт и планов арктических территорий с учетом их физико-географической специфики. Цель работы заключалась в определении и возможности такой специализации на основе использования материалов дистанционного зондирования из космоса и компьютерных технологий. Для достижения поставленной цели проведены исследования по определению визуальных и автоматизированных дешифровочных возможностей космических снимков Landsat и Sentinel в целях расширения и уточнения существующей системы условных знаков криогенного рельефа. На основе этих исследований предложены новые условные знаки для полигональных, бугристых, солифлюкционных и термокарстовых форм. Сделан вывод о необходимости специализации и других специфичных элементов карт Арктики – растительности, гидрографии, грунтов.

Ключевые слова: сибирская зона Арктики, специализированная топографическая карта, дешифрирование материалов дистанционного зондирования Земли, условные знаки топографических карт и планов

Введение

Указ Президента Российской Федерации № 645 от 26.10.2020 «О стратегии развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности на период до 2035 года» определяет государственную политику России в Арктике и меро-

приятия, направленные на ее реализацию [1]. В состав этих мероприятий входит анализ физико-географических и социально-экономических условий территорий Российской Арктики в интересах их дальнейшего освоения и развития, совершенствования системы национальной безопасности, уточнения государственной границы и т. д.

Реализация стратегии развития любого крупного региона невозможна без организации оперативного обеспечения территорий топографическими планами и картами, составленными на основе системного подхода, широкого применения оперативных данных дистанционного зондирования и современных геоинформационных технологий картографирования [2, 3]. Это актуально в отношении всей российской Арктики, особенно для обширных, удаленных и труднодоступных территорий ее наиболее северного сибирского сектора, который расположен в междуречье Енисея и Лены и отличается сложным геологическим строением, суровым климатом, преобладанием тундровых ландшафтов, сплошным распространением многолетней мерзлоты и повсеместным доминированием криогенных геологических процессов [4, 5].

Методы и материалы

Анализ содержания созданных ранее традиционных топографических карт и системы условных знаков, выполненный авторами в рамках разработки концепции цифрового картографирования Сибирской зоны Арктики, показал, что эти картографические модели, с точки зрения современных реалий, недостаточно отображают географическую специфику региона [6–9].

Такая ситуация требует создания специализированных топографических карт, которые предполагают расширение, уточнение и упорядочение состава условных знаков топографических планов и карт всего масштабного ряда по направлению их специализации [10, 11]. На исследуемой территории это, прежде всего, касается отображения распространения, типов и динамики многочисленных и разнообразных форм криогенного рельефа, которые являются основой арктических ландшафтов.

Однако содержательное наполнение специализированной карты Арктики сталкивается со значительными трудностями в связи с тем, что вследствие отмеченной выше специфики ее территории затруднено использование классических аэрофототопографиче-

ских и наземных инструментальных топографические съемки, которые можно проводить лишь локально на эталонные участки. Все это обуславливает необходимость приоритетного картографирования Арктики на основе съемки из космоса.

Для этого предварительно нужно было изучить информационную емкость и дешифровочные возможности различных материалов дистанционного зондирования из космоса.

Для этого нами были выполнены эксперименты по визуальному и автоматизированному дешифрированию криогенных форм рельефа на ключевые участки, выделенные на этапе физико-географического районирования исследуемой территории [9].

Для визуального дешифрирования использовались аэрофотоснимки, снимки Landsat-8 и Sentinel-2, для классификации – снимки Sentinel-2 2021. В качестве ПО использовались системы SAGA GIS, ГИС Панорама 13.

Результаты

На рис. 1, 2 приведен пример автоматизированной классификации изображения со спутника Sentinel-2 в геоинформационной системе «Панорама».

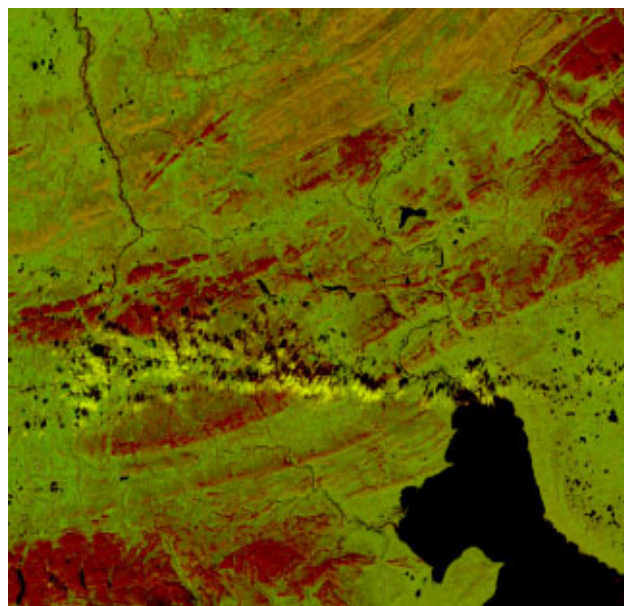


Рис. 1. Автоматизированная классификация изображения

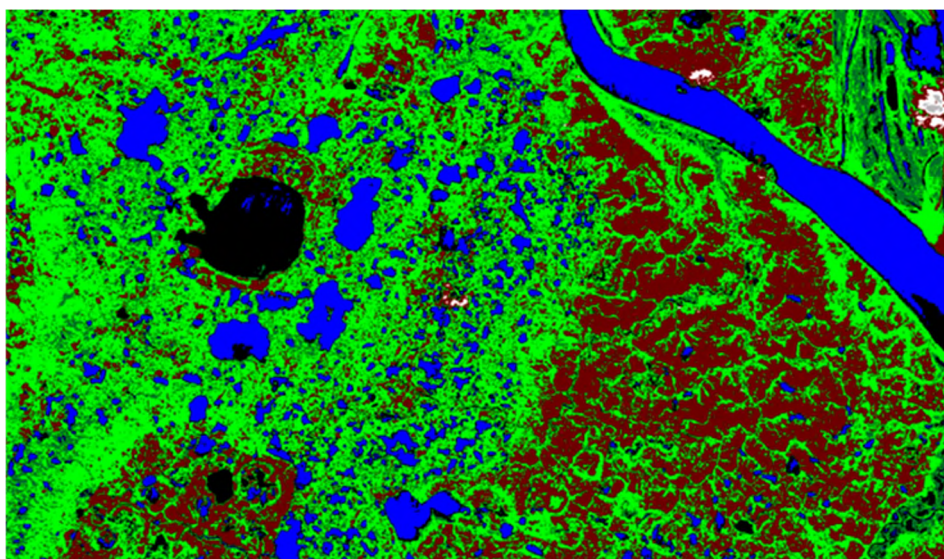


Рис. 2. Результат классификации методом правдоподобия

Визуальный и компьютерный анализ данных космических снимков Landsat-8 и Sentinel-2, а также аэрофотоснимков показал, что по ним можно выявить важные разновидности этих форм, которые отсутствуют в существующих пособиях по дешифрированию [12] и в традиционных условных знаках, не отображаются на универсальных топографических картах, но должны найти отображение на специализированных картах.

В таблице приведены обобщенные существующие и предлагаемые условные знаки для форм криогенного рельефа. Ссылки на существующие условные знаки криогенных форм и поверхностей приведены по всему масштабному ряду топографических карт. В колонке «Предлагаемые условные знаки» приведены предварительные изображения новых условных знаков, дополняющих или уточняющих существующие условные знаки для топографических планов. Новые условные знаки для топографических карт, подлежащие изменениям вследствие генерализации, в таблице не показаны.

Обсуждения

Полигональные формы в пределах исследуемой территории распространены чрезвычайно широко и находятся на разных стадиях развития [13]. На топографических планах представлены угловатыми и пятнистыми по-












верхностями, а на топографических картах – только угловатыми. Поэтому применение стандартных условных знаков для этих форм явно недостаточно. Результаты дешифрирования данных дистанционного зондирования позволяют подразделять округлые поверхности на «каменные кольца» и «пятна-медальоны», а полигональные на «плоско-полигональные», «выпукло-полигональные», «вогнуто-полигональные» и «валиково-полигональные». Полигоны могут быть как сухими, так и заполненными водой, что отображается на карте соответствующим наполнением перечисленных условных знаков. Отображение таких форм рельефа позволит уточнить характеристику проходимости местности.


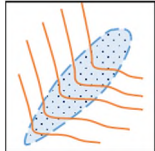
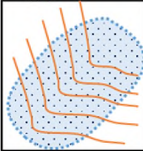
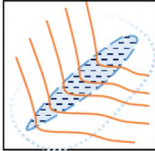

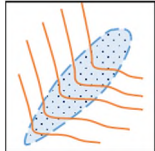

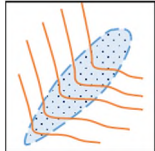
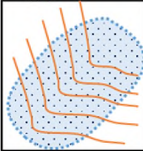
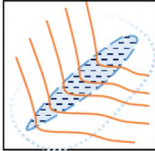
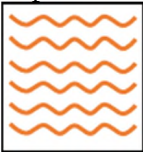
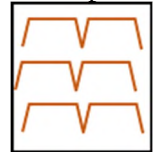
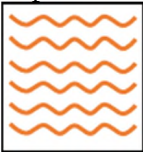
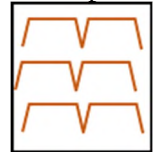
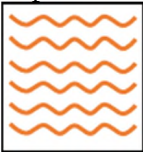
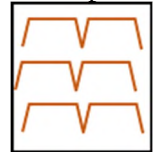
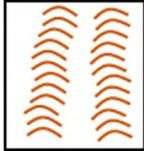

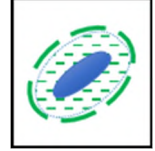

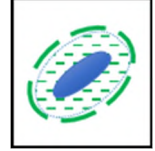

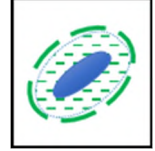


Также предлагается ввести отдельный знак для крупных многолетних морозобойных трещин.

Широко развитые в регионе бугры пучения [14] на топографических планах и картах показываются горизонталями или особым условным знаком, если бугры не выражаются в масштабе карты и имеют небольшие размеры.

Предлагается различать бугры с грунтовым и ледяным ядром. Многолетние бугры пучения следует показывать все, а не только те, которые служат в качестве ориентиров. Термин «булгуннях» представляется излишним, так как это просто местное название гидролокалита.

Существующие и предлагаемые условные знаки
для форм криогенного рельефа

Существующие условные знаки				Предлагаемые условные знаки	
Топогр. планы	Топографические карты				
1 : 500, 1 : 1 000, 1 : 2 000, 1 : 5 000	1 : 10 000	1 : 25 000, 1 : 50 000, 1 : 100 000	1 : 200 000, 1 : 500 000		
ПОЛИГОНАЛЬНЫЕ ФОРМЫ					
Знак № 462 поверхности пятнистые	Нет знака			Пятна медальоны 	
Знак № 462 поверхности полигональ- ные	Знак № 431 грунты и микроформы	Знак № 276 грунты	Знак № 221	Каменные кольца 	
				Полигоны:	
				– плоские 	– выпуклые 
				– вогнутые 	– валиковые 
Нет знака			Морозобойные трещины 		
БУГРИСТЫЕ ФОРМЫ					
Знак № 344 контур Знак № 463 площадь	Знак № 298 контур Знак № 432 площадь	Знак № 222 контур Знак № 277 площадь	Знак № 169 (2) контур	Бугры пучения: – с ледяным ядром 	
				– с грунтовым ядром 	
Знак № 463 бугристые поверхности	Знак № 432 бугристые поверхности	Знак № 278 бугристые поверхности	Знак № 222 бугристые поверхности	Бугристо-западинные поверхности 	
Нет знака			Байджерахи 		

Существующие условные знаки				Предлагаемые условные знаки		
Топогр. планы	Топографические карты					
1 : 500, 1 : 1 000, 1 : 2 000, 1 : 5 000	1 : 10 000	1 : 25 000, 1 : 50 000, 1 : 100 000	1 : 200 000, 1 : 500 000			
НАЛЕДНЫЕ ФОРМЫ						
Знак № 364 рельеф	Знак № 321	Знак № 233	Знак № 179	Наледи:		
				<table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td style="text-align: center;">– озерные </td> <td style="text-align: center;">– талых вод </td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">– грунтовые </td> <td style="text-align: center;">– таликовые </td> </tr> </table>	– озерные 	– талых вод 
– озерные 	– талых вод 					
– грунтовые 	– таликовые 					
СОЛИФЛЮКЦИОННЫЕ ФОРМЫ						
Нет знака				Террасы:		
				<table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td style="text-align: center;">– солифлюкционные </td> <td style="text-align: center;">– нагорные </td> </tr> </table>	– солифлюкционные 	– нагорные 
				– солифлюкционные 	– нагорные 	
Делли 						
ТЕРМОКАРСТОВЫЕ ФОРМЫ						
Нет знака				Термокарстовые котловины:		
				<table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td style="text-align: center;">– заполненные водой </td> <td style="text-align: center;">– частично заполненные </td> </tr> </table>	– заполненные водой 	– частично заполненные 
				– заполненные водой 	– частично заполненные 	
– сухие 						
Знак № 340 коричневый	Знак № 300 коричневый	Знак № 224 коричневый	Знак № 172 коричневый	Внемасштабные западины 		

Также предлагается ввести отдельный условный знак для байджерахов – бугров, образованных вмещающей породой, оставшейся в центральных частях полигонов в результате вытаивания жильного льда.

Кроме того, целесообразно ввести комбинированный знак бугристо-западных поверхностей, которые также весьма характерны для арктических ландшафтов, когда между буграми обычно располагаются заболоченные понижения, образующие довольно сложный сетчатый рисунок.

Наледные формы – неперенное явление на территориях распространения многолетней мерзлоты [15]. В существующей системе условных знаков наледи подразделяются на речные – в поймах рек, грунтовые – у выходов подземных вод. По длительности существования выделяют сезонные и многолетние.

Предлагается условные знаки речных наледей дополнить знаками озерных и талых снеговых наледей, а грунтовые подразделить на наледи надмерзлотных и таликовых вод.

Солифлюкционные формы на существующих топографических картах и планах не показываются, а вместе с тем солифлюкционные склоны развиты в Арктике повсеместно как в горах, так и на равнинах [16].

Предлагаются условные знаки для поверхностей солифлюкционных склонов (микротеррасы, оплывины, валы, гряды), а также солифлюкционных ложбин – деллей.

Термокарстовые формы на топографических планах и картах всего масштабного ряда также специально не показываются. Исключение представляет весьма многозначное обозначение «Карстовые и псевдокарстовые воронки», при котором, как пояснение, может размещаться поясняющая подпись «термо-

карст». Этого явно недостаточно для территории Арктики, особенно для ее плоских низменных равнин, сплошь покрытых такими формами [17].

Предлагается ряд новых условных знаков для термокарстовых котловин с подразделением на заполненные водой, частично заполненные и сухие (в т. ч. аласы – наиболее крупные плоские формы рельефа термокарстового происхождения), а также знак для немасштабных термокарстовых воронок, западин и блюдец.

Заключение

Физико-географическая специфика сибирской зоны Арктики обуславливает необходимость специализации топографических карт на ее территории и требует соответствующего совершенствования их содержания, в частности упорядочения, расширения и уточнения системы условных знаков. Современные методические, информационные и технологические возможности геоинформационного картографирования вполне позволяют это сделать.

В данной статье проанализирована лишь та часть системы условных знаков, которая относится к криогенному рельефу. Такой же анализ необходимо провести и в отношении других компонентов содержания специализированных топографических карт Арктики – растительного покрова, гидрографии, грунтов.

Реализация предложенного направления совершенствования существующей системы условных знаков повысит полноту и информативность цифровых (электронных) топографических, при территориальном планировании экономического и социального развития арктических регионов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. О Стратегии развития Арктической зоны Российской Федерации и обеспечения национальной безопасности на период до 2035 года [Электронный ресурс] : Указ Президента Российской Федерации от 26.10.2020 № 645. – Режим доступа: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_366065 (дата обращения 21.12.2021).
2. Берлянт А. М. Геоинформационное картографирование. – М. : Изд-во Московского университета, 1997. – 64 с.
3. Карпик А. П. Методологические и технологические основы геоинформационного обеспечения территорий. – Новосибирск : СГГА, 2004. – 252 с.

4. Дибнер В. Д. Рельеф Таймырской горной области. В кн.: Геология СССР, Красноярский край. – М. : Госгеолтехиздат, 1961. – Т. 1, ч. 1. – С. 13–19.
5. Сочава В. Б., Городков Б. Н. Арктические пустыни и тундры. Общий обзор // Растительный покров СССР. – Т. I. – М. – Л. : Изд-во АН СССР, 1956.
6. Пластинин Л. А., Ступин В. П., Олзоев Б. Н., Котельникова Н. В. Принципы разработки специализированной топографической карты сибирской Арктики // Интерэкспо ГЕО-Сибирь. XV Междунар. науч. конгр., 24–26 апреля 2019 г., Новосибирск : сб. материалов в 9 т. Т. 1 : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия». – Новосибирск : СГУГиТ, 2019. № 2. – С. 185–190.
7. Пластинин Л. А., Ступин В. П., Олзоев Б. Н., Котельникова Н. В., Селезнев М. Б. Проблемы и программы их решения при создании цифровых специализированных топографических карт сибирской Арктики // Вестник СГУГиТ. – 2019. – Т. 24, № 4. – С. 142–161.
8. Plastinin L. A., Stupin V. P., Olzoev B. N., Kotel'nikova N. V. Особенности районов сибирской зоны Арктики при создании специализированной электронной топографической карты с использованием комплекса автоматизированного дешифрирования // Интерэкспо ГЕО-Сибирь. XVII Междунар. науч. конгр., 19–21 мая 2021 г., Новосибирск : сб. материалов в 8 т. Т. 1 : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия». – Новосибирск : СГУГиТ, 2021. – С. 151–161.
9. Ступин В. П. Обоснование границ Сибирской Арктики в интересах составления специализированных топографических карт // Интерэкспо ГЕО-Сибирь. XV Междунар. науч. конгр., 24–26 апреля 2019 г., Новосибирск : сб. материалов в 9 т. Т. 1 : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия». – Новосибирск : СГУГиТ, 2019. № 2. – С. 164–171.
10. Верещака Т. В. Топографические карты. Научные основы содержания. – М. : МАИК «Наука/Интерпериодика», 2002. – 319 с.
11. Верещака Т. В. Специализированные топографические карты России и зарубежных стран. Их особенности и роль в обеспечении устойчивого развития территорий // Геодезия и картография. – 2020. – № 10. – С. 28–39.
12. Альбом образцов топографического дешифрирования снимков. – Тр. ЦНИИГАиК. – 1967. – Вып. 180. – 55 с.
13. Алексеев В. Р. Притяжение мерзлой земли. – Новосибирск : Гео, 2016. – 538 с.
14. Васильчук Ю. К., Васильчук А. К., Репкина Т. Ю. Миграционные бугры пучения в заполярной части криолитозоны Средней Сибири // Инженерная геология. – 2013. – № 2. – С. 28–45.
15. Алексеев В. Р., Гиенко А. Я. Наледи плато Путорана. – Иркутск : Институт географии СО РАН, 2002. – 101 с.
16. Харук В. И., Шушпанов А. С., Им С. Т. Климатогенная динамика солифлюкции в мерзлотной зоне Средней Сибири // Журнал Сибирского федерального университета. Серия: Техника и технологии. – 2015. – Т. 8. – С. 744–754.
17. Czudek T., Demek J. Thermokarst in Siberia and its influence on the development of lowland relief // Quaternary Research. – 1970. – Vol. 1, Issue 1. – P. 103–120.

Получено 04.01.2022

© Д. В. Виноградов, Л. А. Пластинин, В. П. Ступин, 2022

NEW APPROACHES TO THE DISPLAY OF PERMAFROST LANDFORMS ON DIGITAL TOPOGRAPHIC MAPS OF THE SIBERIAN ARCTIC ZONE

Denis V. Vinogradov

Main Center for Geospatial Information of the Ministry of Defense of the Russian Federation, 64, 5th Army St., Irkutsk, 664025, Russia, Deputy Head of the Branch, phone: (964)804-59-19, e-mail: denis733@mail.ru

Leonid A. Plastinin

Irkutsk National Research Technical University, 83, Lermontov St., Irkutsk, Russia, 664074, D. Sc., Professor, Department of Mine Surveying and Geodesy, phone: (950)122-27-23, e-mail: irkplast@mail.ru

Vladimir P. Stupin

Irkutsk National Research Technical University, 83, Lermontov St., Irkutsk, Russia, 664074, D. Sc., Professor, Department of Mine Surveying and Geodesy, phone: (964)103-08-17, e-mail: stupinigu@mail.ru

The analysis of traditional topographic maps and plans of the Siberian Arctic zone shows that their relevance and completeness of content do not fully meet the modern requirements for the further development of this region. There is a need for targeted specialization of a new generation of topographic maps and plans of Arctic territories, taking into account their physical and geographical specifics. The purpose of the work was to determine the possibility of such specialization based on the use of remote sensing materials from space and computer technologies. To achieve this goal, studies have been conducted to determine the visual and automated decryption capabilities of Landsat Sentinel satellite images in order to expand and refine the existing system of conventional signs of cryogenic relief. Based on these studies, new conventional signs for polygonal, bumpy, solifluctional and thermokarst forms are proposed. The conclusion is made about the need for specialization of other specific elements of Arctic maps – vegetation, hydrography, soils.

Keywords: siberian zone of the Arctic, specialized topographic map, decoding of remote sensing of the Earth, conventional signs of topographic maps and plans

REFERENCES

1. Decree of the President of the Russian Federation of October 26, 2020 No. 645. On the Strategy for the Development of the Arctic Zone of the Russian Federation and Ensuring National Security for the Period up to 2035. Retrieved from http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_366065 (accessed November 21, 2014) [in Russian].
2. Berlyant, A. M. (1997). *Geoinformatsionnoe kartografirovaniye [Geoinformation mapping]*. Moscow: Moscow University Publ., 64 p. [in Russian].
3. Karpik, A. P. (2004). *Metodologicheskie i tekhnologicheskie osnovy geoinformatsionnogo obespecheniya territorii [Methodological and technological bases of geoinformation support of territories]*. Novosibirsk: SGGG Publ., 252 p. [in Russian].
4. Dibner, V. D. (1961). The relief of the Taimyr mountain region. In *Geologiya SSSR, Krasnoyarskiikrai: T. 1, ch. 1 [Geology of the USSR, Krasnoyarsk Territory: Vol. 1, Part I]* (pp. 13–19). Moscow, Gos-geoltekhizdat Publ. [in Russian].
5. Sochava, V. B., & Gorodkov B. N. (1956). Arctic deserts and tundras. General review. In *Rastitel'nyi pokrov SSSR: T. 1 [Vegetation cover of the USSR: Vol. 1]*. Moscow-Leningrad, AN SSSR Publ. [in Russian].
6. Plastinin, L. A, Stupin, V. P., Olzoev, B. N., & Kotel'nikova, N. V. (2019). Principles for the development of a specialized topographic map of the Siberian Arctic. In *Sbornik materialov Interekspo GEO-Sibir'-2019: Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii: T. 1, No. 2 Geodeziya, geoinformatika, kartografiya, markshejderiya [Proceedings of Interexpo GEO-Siberia-2019: International Scientific Conference: Vol. 1, no. 2. Geodesy, Geoinformatics, Cartography, Mine Surveying]* (pp. 185–190). Novosibirsk: SSUGT Publ. [in Russian].
7. Plastinin, L. A, Stupin, V. P., Olzoev, B. N., Kotel'nikova, N. V., & Seleznev, M. B. (2019). Problems and programs of their solution when creating digital specialized topographic maps of the siberian Arctic. *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, 24(4), 142–161 [in Russian].
8. Plastinin, L. A, Stupin, V. P., Olzoev, B. N., & Kotel'nikova, N. V. (2021). Features of the regions of the Siberian zone of the Arctic when creating a specialized electronic topographic map using an automated decoding complex. In *Sbornik materialov Interekspo GEO-Sibir'-2021: Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii: T. 1, No. 2 Geodeziya, geoinformatika, kartografiya, markshejderiya [Proceedings of Interexpo GEO-Siberia-2021: International Scientific Conference: Vol. 1, no. 2. Geodesy, Geoinformatics, Cartography, Mine Surveying]* (pp. 151–164). Novosibirsk: SSUGT Publ. [in Russian].
9. Stupin, V. P. (2019). Justification of the boundaries of the Siberian Arctic in the interests of compiling specialized topographic maps. In *Sbornik materialov Interekspo GEO-Sibir'-2019: Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii: T. 1, No. 2 Geodeziya, geoinformatika, kartografiya, markshejderiya [Proceedings of Interexpo GEO-Siberia-2019: International Scientific Conference: Vol. 1, no. 2. Geodesy, Geoinformatics, Cartography, Mine Surveying]* (pp. 164–171). Novosibirsk: SSUGT Publ. [in Russian].

10. Vereshchaka, T. V. (2002). *Topograficheskie karty. Nauchnye osnovy sodержaniya [Topographic maps. Scientific basis of content]*. Moscow: Nauka/Interperiodika Publ., 319 p. [in Russian].
11. Vereshchaka, T. V. (2020). Specialized topographic maps of Russia and foreign countries. Their features and role in ensuring sustainable development of territories. *Geodeziya i kartografiya [Geodesy and Cartography]*, 10, 28–39 [in Russian].
12. Album of samples of topographic interpretation of images. (1967). *Trudy TsNIIGAiK [Proceedings of TSNIIGAiK]*, 180, 55 p. [in Russian].
13. Alekseev, V. R. (2016). *Prityazhenie merzloi zemli [The attraction of the frozen earth]*. Novosibirsk: Geo, 538 p. [in Russian].
14. Vasil'chuk, Yu. K., Vasil'chuk, A. K., & Repkina, T. Yu. (2013). Migration heaving mounds in the polar part of the cryolithozone of Central Siberia. *Inzhenernaya geologiya [Engineering Geology]*, 2, 28–45 [in Russian].
15. Alekseev, V. R., & Gienko, A. Ya. (2002). *Naledi plato Putorana [Frazils of the Putorana Plateau]*. Irkutsk: Institute of Geography of Siberia Publ., 101 p. [in Russian].
16. Kharuk, V. I., Shushpanov, A. S., & Im, S. T. (2015). Climatogenic dynamics of solifluction in the permafrost zone of Central Siberia] *Zhurnal Sibirskogo federal'nogo universiteta. Seriya: Tekhnika I tekhnologii [Journal of the Siberian Federal University. Series: Engineering and Technology]*, 8, 744–754 [in Russian].
17. Czudek, T., & Demek, J. (1970). Thermokarst in Siberia and its influence on the development of lowland relief. *Quaternary Research*, 1(1), 103–120.

Received 04.01.2022

© D. V. Vinogradov, L. A. Plastinin, V. P. Stupin, 2022