

## ОБЗОРЫ

УДК 551.345(571.56)

**АНАЛИЗ ТЕМПЕРАТУРЫ ГРУНТОВ И МОЩНОСТИ  
ДЕЯТЕЛЬНОГО СЛОЯ ЯКУТИИ****Мучина А.В., Николаев А.А.***ФГАОУ ВО «Северо-Восточный федеральный университет им. М.К. Аммосова»,  
Якутск, e-mail: cd051@mail.ru, anyamuchina@gmail.com*

Статья посвящена анализу температуры грунтов и мощности деятельного слоя Якутии. Якутия является крупнейшим северо-восточным регионом России. Площадь территории республики равна 3103,2 тыс. км<sup>2</sup> (1/5 территории РФ). Более 40% площади Якутии находится за полярным кругом. Практически на всей территории республики распространены вечномёрзлые грунты (многолетнемерзлые грунты, ММГ). Вечномёрзлые грунты отсутствуют лишь на 4% территории Якутии. Сделан анализ температуры грунтов и мощности деятельного слоя Якутии по выполненной цифровой карте научными работниками Института мерзлотоведения СО РАН «Мерзлотно-ландшафтная карта Республики Саха (Якутия)». На основе исследования получены следующие результаты. Первое – величина деятельного слоя и температура грунтов на глубине слоя и их годовые колебания многолетнемерзлых пород зависят от географического положения района, которое в свою очередь обуславливает температурный режим наружного воздуха. Основным показателем температуры наружного воздуха в годовом цикле является среднегодовая температура наружного воздуха: чем южнее расположена территория, тем среднегодовая температура наружного воздуха выше и тем больше величина деятельного слоя, которая в Якутии колеблется от 0,5 до 3,5 м. Второе – чем выше среднегодовая температура (чем южнее территория), тем выше температура на глубине слоя годовых колебаний. Если условно поделить территорию Якутии на 4 зоны: 1) Северное побережье (между 70° и 75° с.ш.), 2) Северные территории (65–69° с.ш.), 3) Средняя зона (60–65° с.ш.) и 4) Южная зона (55–60° с.ш.) – то заметим, что температура грунтов на глубине слоя годовых колебаний повышается по мере увеличения среднегодовой температуры, которая в свою очередь зависит от географического положения. А также сделаны и другие выводы.

**Ключевые слова:** вечная мерзлота Якутии, деятельный слой вечномёрзлых грунтов, температура грунтов вечной мерзлоты, вечномёрзлые грунты Якутии, мерзлотно-ландшафтная карта Республики Саха (Якутия)

**ANALYSIS OF SOIL TEMPERATURE AND THE CAPACITY  
OF THE ACTIVE LAYER OF YAKUTIA****Muchina A.V., Nikolaev A.A.***The North-Eastern Federal University M.K. Ammosov, Yakutsk,  
e-mail: cd051@mail.ru, anyamuchina@gmail.com*

The article is devoted to the analysis of the soil temperature and the power of the active layer of Yakutia. Yakutia is the largest north-eastern region of Russia. The area of the territory of the republic is 3103.2 thousand km<sup>2</sup> (1/5 of the territory of the Russian Federation). More than 40% of the area of Yakutia is located beyond the Arctic circle. Permafrost soils (permafrost soils, MMG) are widespread almost throughout the territory of the republic. Permafrost soils are absent only in 4 percent of the territory of Yakutia. The analysis of the soil temperature and the capacity of the active layer of Yakutia is made according to a digital map made by researchers of the Institute of Permafrost Studies SB RAS «Permafrost landscape map of the Republic of Sakha (Yakutia)». Based on the study, the following results were obtained; first, the size of the active layer and the temperature of the soils at the depth of the layer and their annual fluctuations of permafrost rocks depend on the geographical location of the area, which in turn determines the temperature regime of the outdoor air. The main indicator of outdoor air temperature in the annual cycle is the average annual outdoor air temperature, the more southerly the territory is located, the higher the average annual outdoor air temperature and the greater the value of the active layer, which in Yakutia ranges from 0.5 to 3.5 m, the second – the higher the average annual temperature (the more southerly the territory), the higher the temperature at the depth of the layer of annual fluctuations. If we conditionally divide the territory of Yakutia into 4 zones: 1) The Northern coast (between 70-75° c. w.), 2) the Northern territories (65-69° c. w.), 3) The Middle Zone (between 60 and 65° c. w.) and 4) the Southern zone (between 55-60° c. w.), then we note that the soil temperature at the depth of the layer of annual fluctuations increases as the average annual temperature increases, which in turn depends on the geographical location and other conclusions.

**Keywords:** permafrost of Yakutia, active layer of permafrost soils, permafrost soil temperature, permafrost soils of Yakutia, permafrost landscape map of the Republic of Sakha (Yakutia)

Якутия является крупнейшим северо-восточным регионом Российской Федерации. Общая площадь республики равна 3103,2 тыс. км<sup>2</sup> (1/5 территории РФ). Географическое положение обуславливает климатические условия Якутии. Более 40% территории Якутии расположено за полярным

кругом. Протяжённость морской линии берега составляет более 4,5 тыс. км.

Практически на всей территории республики распространены многолетнемерзлые грунты (ММГ). Многолетнемерзлые грунты отсутствуют лишь на 4% территории Южной Якутии [1].

Сотрудниками Института мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН А.Н. Федоровым, А.А. Шестаковой, Я.И. Торговкиным, Н.Ф. Васильевым, П.Я. Константиновым, В.В. Самсоновой, С.В. Калиничевой, Н.И. Башариным подготовлена цифровая комплексная карта «Мерзлотно-ландшафтная карта Республики Саха (Якутия)» [1], которая отражает те или иные изменения и современное состояние мерзлотных ландшафтов республики по определенным их слоям. Посвоему уникальная карта для работы специалистов инженерной геологии, мерзлотоведов и др. специалистов, где представлены разные тематики мерзлотных ландшафтов Якутии. В данном исследовании проанализированы из этой карты два слоя, это мощность деятельного слоя Якутии и температура грунтов всей территории Якутии.

Проблемой изучения деятельного слоя вечной мерзлоты занимались такие российские исследователи, как В.А. Исаков [2], Г.В. Малкова [3], А.В. Павлов, Г.Ф. Гравис [4], С.О. Разумов [5]. Из якутских мерзлотоведов – А.Н. Федоров, Р.Р. Гаврильев [6], Я.И. Торговкин, Н.Ф. Васильев [7, 8], Р.Н. Иванова вместе с японскими коллегами Т. Хийама, И. Иджима и др. [9].

Температура грунтов зависит от многих факторов. Важнейшим фактором, влияющим на температуру грунтов, является географическое расположение района, которое диктует климатические условия, в первую очередь среднегодовые показатели температуры наружного воздуха. Среднегодовая температура наружного воздуха равна: г. Алдан (Южная Якутия) – (-5,4 °), Якутск (Центральная Якутия) – (-9,1 °), Верхоянск (Арктическая зона) – (-14,7 °) [10].

Цель исследования: на основе цифровой мерзлотно-ландшафтной карты Республики Саха (Якутия) [1] и ее тематических слоев выполнить анализ состояния температуры грунтов и мощности деятельного слоя Якутии.

#### **Материалы и методы исследования**

Материалом данного исследования является цифровая мерзлотно-ландшафтная карта Республики Саха (Якутия), их картографические слои состояния температуры грунтов и мощности деятельного слоя Якутии (рисунок) [1]. Методами исследования явились аналитический, картографический, компьютерно-цифровой, сравнительно-сопоставительный способ изучения данной цифровой карты.

#### **Результаты исследования и их обсуждение**

От величины температуры наружного воздуха зависит не только общая температура грунтов, но и величина деятельного слоя, т.е. слоя грунта, который оттаивает в теплое время года. Главным фактором условия и формирования грунтов в Якутии является их температура на глубине слоя годовых колебаний [11].

Слой карты температуры грунта (цифровая карта температуры грунтов на глубине слоя годовых колебаний Мерзлотно-ландшафтной карты Республики Саха (Якутия) (рисунок). Этот слой, который лежит ниже деятельного слоя (ниже сезонного оттаивания), в котором грунты сохраняют отрицательные температуры, но в которых температуры меняются в течение года (сезонные колебания температуры) в зависимости от времени года, расположения по глубине, вида грунтов, расположения участка на территории и др. факторов. Исследование грунтов данного слоя является важной задачей инженерной геологии в Якутии, так как большинство зданий и сооружений на территории республики строятся по принципу, где многолетнемерзлые грунты используются в мерзлом состоянии, сохраняемом в процессе строительства и в течение всего периода эксплуатации сооружения в виде свайного поля [2]. В данной статье «температура грунтов на глубине слоя сезонных колебаний» это – температура грунтов на глубине, ниже которой не подвергается сезонным колебаниям. В инженерной геологии температура грунтов, которая ниже не меняется или на малую величину, называется температурой нулевых амплитуд [2]. Ниже глубины, где температура грунтов основания практически не меняется в течение годового цикла, можно отнести к третьей группе грунтов основания.

Инженерные скважины для исследования грунтов основания зданий и сооружений бурятся на глубину 10 м и более, так как в большинстве случаев фундаменты зданий и сооружений, так называемые сваи, устанавливаются до 10 м, кроме отдельных случаев, когда бурятся скважины глубокого заложения при больших нагрузках на фундаменты и при слабых грунтах.

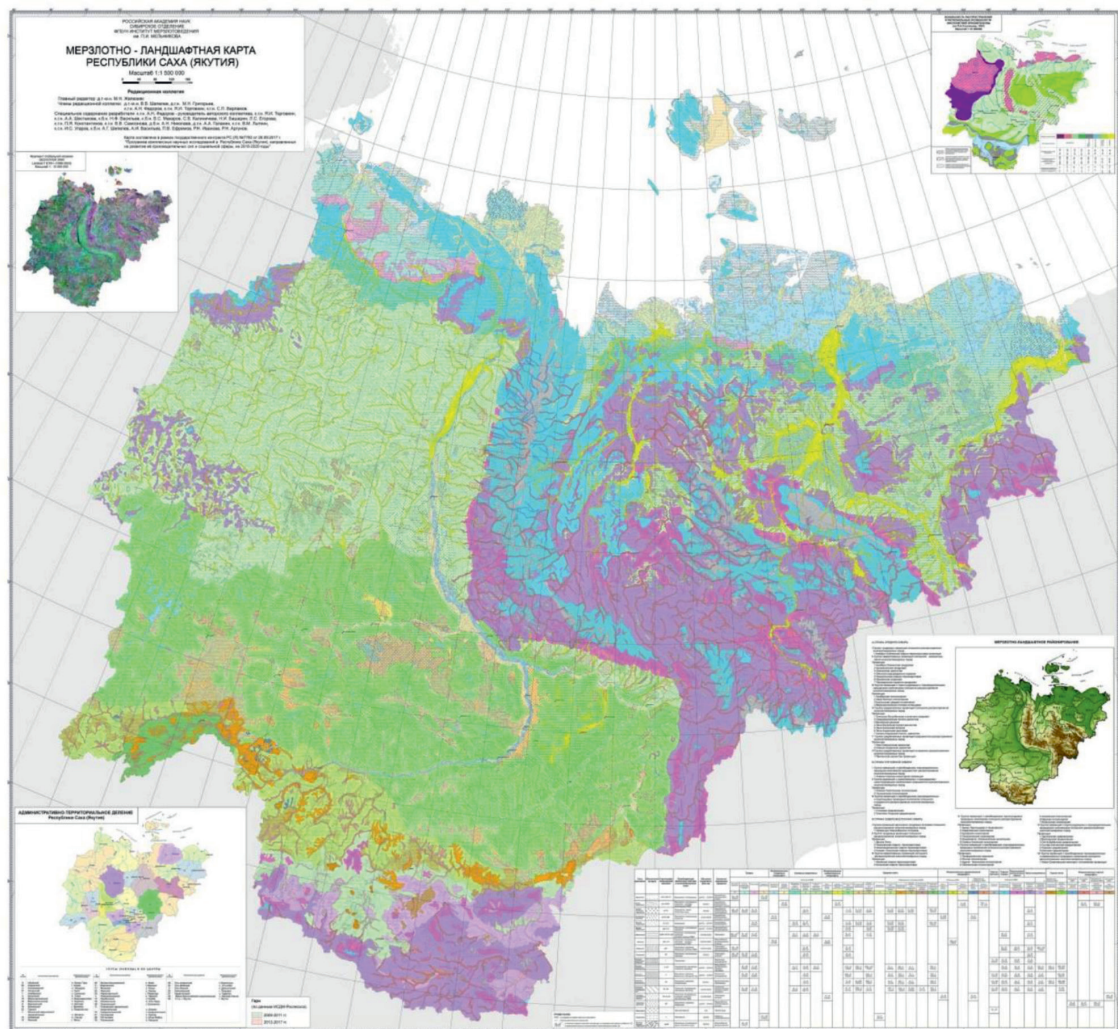
Для анализа температуры грунтов на глубине слоя годовых колебаний (слой грунтов, лежащих ниже слоя сезонного оттаивания) рассмотрим слой цифровой карты температуры грунтов на глубине слоя го-

довых колебаний Мерзлотно-ландшафтной карты Республики Саха (Якутия) (рисунок).

Данные цифровой карты представляют информацию о температурах грунтов и мощности протаивания на всей территории Якутии. Карта показывает расположение территорий с различными температурами и мощности протаивания грунтов и их числовые значения. Температура грунтов на глубине слоя годовых колебаний колеблется в диапазоне от +1 до -12 градусов. На небольшой территории Южной Якутии расположены грунты с температурой +1 и занимают не более 4% всей территории республики (таблица).

1. Грунты с наибольшими низкими отрицательными температурами расположены вдоль северного побережья Якутии с протяжённостью морской береговой ли-

нии больше 4,5 тыс. км, за полярным кругом, а грунты с более высокими температурами грунтов – южнее (рисунок). Низкие отрицательные температуры грунтов расположены также под водными объектами, такими как р. Лена, это можно объяснить физическим свойством воды, которая является хорошим теплоизолятором. Так под зданиями и сооружениями, где в проветриваемом подполье стоит вода, сохраняются низкие температуры грунтов, отсутствует чаша протаивания, но более интенсивно развиваются разрушительные морозобойные процессы фундаментов. В районах с горными массивами также наблюдаем грунты с низкими отрицательными температурами грунтов. Данное явление также довольно распространённое, наблюдаемое даже в теплых регионах, где снег на вершинах гор не тает целый год.



Цифровая мерзлотно-ландшафтная карта Республики Саха (Якутия) [1]

2. Грунты со средними (от  $-4^{\circ}\text{C}$  до  $-2^{\circ}\text{C}$ ) отрицательными температурами расположены в большинстве случаев в равнинной части Якутии.

3. Грунты с более высокими температурами расположены в Южной Якутии это от  $-2^{\circ}\text{C}$  до  $+1^{\circ}\text{C}$ .

Рассматривая данный слой цифровой карты мерзлотно-ландшафтной карты Республики Саха (Якутия) (рисунок), можно сделать следующие выводы.

Температура грунтов на глубине слоя годовых колебаний зависит:

1. От географического расположения района, т.е. от среднегодовой температуры наружного воздуха: чем южнее, тем данная температура выше. Географическое положение диктует среднегодовую температуру наружного воздуха, чем выше среднегодовая температура наружного воздуха, тем выше температура грунтов на глубине слоя годовых колебаний;

2. От вида ландшафта местности. При одинаковых географических условиях температура грунтов выше на равнинных участках и ниже в горах и под водными объектами;

3. По деятельному слою. От величины температуры наружного воздуха зависит не только общая температура грунтов, а также и величина деятельного слоя, т.е. слоя грунта, которая оттаивает в теплое время года – толщина слоя сезонного оттаивания грунтов.

Для анализа температуры грунтов деятельного слоя, т.е. верхнего слоя грунтов, который оттаивает за теплый период года (слой сезонного оттаивания), рассмотрим слой цифровой карты мощности деятельного слоя (рисунок).

Как указано в работе [1], «мощность деятельного слоя состоит из сезонно-талого и сезонно-мерзлого слоев и является одной из важных и динамичных характеристик

криолитозоны. Значения мощности деятельного слоя связаны с изучением динамики ландшафтов в многолетней мерзлоте. Увеличение и резкое уменьшение их параметров может привести к большим структурным изменениям подстилающего ландшафта. Запасы общей влаги, динамика и изменение ландшафтов, активизация криогенных процессов, а также и другие сопутствующие особенности ландшафтов в первую очередь зависят от изменения мощности деятельного слоя многолетней мерзлоты».

Мощность деятельного слоя на территории Якутии меняется в диапазоне от 0,5 м до 3,5 м, в верхней поверхности земли. И она зависит от климатических условий: чем южнее, тем мощность деятельного слоя больше. Слой цифровой карты мощности деятельного слоя (рисунок) дает следующую информацию (таблица):

1. Северное побережье (между  $70^{\circ}$  и  $75^{\circ}$  с.ш.), где величина колеблется от 0,5 до 1 м (36% всей территории Якутии).

2. Территория республики, расположенная на  $65-70^{\circ}$  с.ш. до северного побережья Якутии, расположена в зоне, где толщина деятельного слоя колеблется от 1,5 до 2 м. На территории этой зоны и северного побережья расположены почти все улусы, входящие в перечень 11 арктических улусов.

3. На территории между  $60^{\circ}$  и  $65^{\circ}$  с.ш. (средняя полоса Якутии) мощность деятельного слоя колеблется от 2 до 3 м.

4. Зона с наибольшей величиной деятельного слоя расположена в Южной Якутии (часть занимает и Центральную Якутию) на  $55-60^{\circ}$  с.ш., где толщина деятельного слоя колеблется в пределах 3–3,5 м (всего 4% территории Якутии). Но и в этой зоне расположены также и локальные участки, имеющие величину деятельного слоя 1–1,5 м.

5. Мощность деятельного слоя также зависит и от ландшафта и рельефа участка.

Температура грунтов ниже деятельного слоя и его мощность в Якутии

№	Районы распространения в Якутии	Географическая широта, в градусах, с.ш.	Среднегодовая температура воздуха, в градусах, С	Температура грунтов на глубине слоя годовых колебаний, в градусах, $^{\circ}\text{C}$	Мощность деятельного слоя, в метрах
1	Северное побережье, за полярным кругом, горные области Якутии	65–75	– 14,7	от -5 до -12	0,5 – 2
2	Равнинная средняя часть Якутии	60–65	– 9,1	от -2 до -4	2 – 3
3	Южная Якутия	55–60	– 5,4	от +1 до -2	3–3,5

Выше приведены преобладающие величины деятельного слоя. На самом деле в каждой зоне встречаются участки территорий, где величина деятельного слоя колеблется в ту или иную сторону в зависимости от рельефа, состава грунтов, их теплотехнических характеристик и др. факторов.

### Заключение

Данная работа позволяет сделать следующие общие выводы.

1. Величина деятельного слоя и температура грунтов на глубине слоя годовых колебаний зависят от географического положения района, которое в свою очередь обуславливает температурный режим наружного воздуха. Основным показателем температуры наружного воздуха в годовом цикле является среднегодовая температура наружного воздуха: чем южнее расположена территория, тем среднегодовая температура наружного воздуха выше и тем больше величина деятельного слоя, которая в Якутии колеблется от 0,5 до 3,5 м. В инженерной геологии величина слоя сезонного оттаивания рассчитывается в зависимости от температуры замерзания грунта, которая, в свою очередь, зависит от вида грунта, его влажности, засоленности, многолетних средних положительных температур наружного воздуха и других факторов.

2. Если условно поделить территорию Якутии на 4 зоны: 1) Северное побережье (70–75° с.ш.), 2) Северные территории (65–69° с.ш.), 3) Средняя зона (60–65° с.ш.) и 4) Южная зона (55–60° с.ш.) – то заметим, что температура грунтов на глубине слоя годовых колебаний повышается по мере увеличения среднегодовой температуры, которая в свою очередь зависит от географического положения.

3. Величина деятельного слоя и температура грунтов на глубине годовых колебаний зависит от ландшафтов и рельефа местности.

4. Главное отличие между деятельным слоем и грунтом, лежащим ниже деятельного слоя на глубине годовых колебаний, заключается в том, что в деятельном слое в теплое время года температура грунтов всегда выше нуля, а в слое грунтов годовых колебаний температуры всегда ниже нуля на северном побережье которая может достигать и -12°.

5. Схожесть этих слоев в том, что величина деятельного слоя и температура грунтов на глубине годовых колебаний зависят

от географического расположения по широте, т.е. от среднегодовой температуры наружного воздуха.

### Список литературы / References

1. Федоров А.Н., Шестакова А.А., Торговкин Я.И., Васильев Н.Ф., Константинов П.Я., Самсонова В.В., Калиничева С.В., Башарин Н.И. Цифровое тематическое картографирование современного состояния мерзлотных ландшафтов Якутии // *Вестник СВФУ. Серия «Наука о Земле»*. № 2 [14]. 2019. С. 36–49.
2. Isakov V.A., Shestakova A.A., Torgovkin Ya.I., Vasilev N.F., Konstantinov P.Ya., Samsonova V.V., Kalinicheva S.V., Basharin N.I. Digital thematic mapping of the current state of permafrost landscapes of Yakutia // *Vestnik SVFU. Seriya «Наука о Земле»*. № 2 [14]. 2019. P. 36–49 (in Russian).
3. Исаков В.А. Температурный режим в основаниях дорог на вечной мерзлоте // *Вестник Московского университета. Сер. 5 «География»*. 2015. № 3. С. 25–33.
4. Isakov V.A. Temperature regime in the bases of roads on permafrost // *Vestnik Moskovskogo Universiteta, Ser. 5 Geografiya*. 2015. No. 3. P. 25–33 (in Russian).
5. Малкова Г.В. Мониторинг среднегодовой температуры пород на стационаре Болванский // *Криосфера Земли*. 2010. Т. XIV. № 3. С. 3–14.
6. Malkova G.V. Monitoring of the average annual temperature of rocks at the Bolvansky stationary station // *Kriosfera Zemli*. 2010. Vol. XIV. No. 3. P. 3–14 (in Russian).
7. Павлов А.В., Гравис Г.Ф. Вечная мерзлота и современный климат // *Природа*. 2000. № 4. С. 10–18.
8. Pavlov A.V., Gravis G.F. Permafrost and modern climate // *Priroda*. 2000. No. 4. P. 10–18 (in Russian).
9. Разумов С.О. Мерзлота как фактор динамики береговой зоны восточных арктических морей // *Океанология*. 2010. Т. 50. № 2. С. 285–291.
10. Razumov S.O. Permafrost as a factor of dynamics of the coastal zone of the Eastern Arctic seas. // *Oceanologiya*. 2010. Vol. 50. No. 2. P. 285–291 (in Russian).
11. Федоров А.Н., Гаврилев П.П., Константинов П.Я., Хиёма Т., Идзима Я., Ивахана Г. Estimating the water balance of a thermokarst lake in the middle of the Lena River basin, eastern Siberia // *Ecohydrology*. 2014. Vol. 7. Iss. 2. P. 188–196. DOI: 10.1002/eco.1378.
12. Beer C., Fedorov A.N. and Torgovkin Y. Permafrost temperature and active-layer thickness of Yakutia with 0.5-degree spatial resolution for model evaluation // *Earth Syst. Sci.* 2013. Data 5. P. 305–310.
13. Федоров А.Н., Васильев Н.Ф., Торговкин Я.И. et al. Permafrost-Landscape Map of the Republic of Sakha (Yakutia) on a Scale 1:1.500.000 // *Geosciences* 2018. 8 (12). 465 p. DOI: 10.3390/geosciences8120465.
14. Федоров А.Н., Иванова Р.Н., Парк Н., Хиёма Т., Идзима Я. Recent air temperature changes in the permafrost landscapes of northeastern Eurasia // *Polar science*. 2014. Vol. 8. Issue 2. P. 114–128. DOI: 10.1016/J.POLAR.2014.02.001.
15. СП 131.13330.2018. Строительная климатология. [Электронный ресурс]. URL: [http://helpeng.ru/ov/climatology\\_2018](http://helpeng.ru/ov/climatology_2018) (дата обращения: 16.08.2021).
16. SP 131.13330.2018. Construction climatology. [Electronic resource]. URL: [http://helpeng.ru/ov/climatology\\_2018](http://helpeng.ru/ov/climatology_2018) (date of access: 16.08.2021).
17. СП 25.13330.2012 Основания и фундаменты на вечномерзлых грунтах. Актуализированная редакция СНиП 2.02.04-88. [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200095519> (дата обращения: 16.08.2021).
18. SP 25.13330.2012 Foundations and foundations on permafrost soils. Updated version of SNiP 2.02.04-88. [Electronic resource]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200095519> (date of access: 16.08.2021).