

# ЛАНДШАФТОВЕДЕНИЕ И ГЕОХИМИЯ ЛАНДШАФТА

УДК 551.341, 911.52

DOI 10.25587/SVFU.2022.27.3.005

*А.С. Нестерева, С.В. Калиничева<sup>1</sup>*

Институт мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН, г. Якутск, Россия

## СРАВНИТЕЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ВЕСОВОЙ ВЛАЖНОСТИ ГРУНТОВ СЕЗОННО-ТАЛОГО СЛОЯ НА РАЗНЫХ ЛАНДШАФТАХ В РАЙОНЕ Г. ЯКУТСКА (местность Кердюген)

*Аннотация.* Реакция многолетнемерзлых пород, включая темпы и масштабы изменений геокриологических условий на изменение климата и хозяйственную деятельность характеризуются как весьма неодинаковые в научных трудах, опубликованных за последние 20-50 лет. Данным обстоятельством продиктовано необходимость изучения и оценки реакции геокриологических условий деятельного слоя в Центральной Якутии на потепление климата и антропогенное воздействие. В статье приводятся результаты исследований влажностных характеристик термокарстового полигона, сформировавшегося после раскорчевки смешанного березово-лиственничного леса в 1965-1985 гг. на участках распространения повторно-жильных льдов, участка пашни незатронутого термокарстовым процессом, а также, участка березовой сукцессии, образовавшегося после вырубki леса и лиственнично-березового мнимо-коренного леса. Определена весовая влажность почвогрунтов в каждом из четырех вышеприведенных типов ландшафтов посредством отбора проб с помощью ручного почвенного буро-пробоотборника из отдельных горизонтов почвы в алюминиевые бюксы в полевых условиях и последующей сушки до постоянной массы и расчета на камеральном этапе. Выявлено изменение влажностных характеристик грунтов в зависимости от изменения мерзлотно-ландшафтных условий. Установлено, что на участке березового леса весовая влажность грунта в сезонно-талом слое на глубине 0,3-1 м выше, чем в лиственнично-березовом мнимо-коренном лесу, за счет высокой сомкнутости крон и малой глубины СТС первого. На участке пашни, где произошли термопросадки влажность грунта в вертикальном горизонте 0,3-1,0 м намного выше, чем на пашне незатронутого термокарстовым процессом, что обуславливается дополнительными условиями увлажнения за счет выпавшего снега, а также, его накопления и задержания на термопросадках.

*Ключевые слова:* многолетнемерзлые породы, весовая влажность грунтов, деятельный слой, Центральная Якутия, мерзлотно-ландшафтные условия, березово-лиственничный лес, сукцессия, термокарст, термокарстовые полигоны, повторно-жильные льды.

*НЕСТЕРЕВА* Алена Семеновна – м.н.с. Института мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН. E-mail: xo.nestalena@gmail.com

*NESTEREVA* Alena Semyonovna – Junior Researcher, Melnikov Permafrost Institute, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences. E-mail: xo.nestalena@gmail.com

*КАЛИНИЧЕВА* Светлана Вячеславовна – к.г.н., н.с. Института мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН. E-mail: ikoveta@rambler.ru

*KALINICHEVA* Svetlana Vyacheslavovna – Candidate of Geographical Sciences, Junior Researcher, Melnikov Permafrost Institute, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences. E-mail: ikoveta@rambler.ru

*A.S. Nestereva, S.V. Kalinicheva*

Melnikov Permafrost Institute, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences, Yakutsk, Russia

## COMPARATIVE CHARACTERISTICS OF THE WEIGHT MOISTURE CONTENT OF SOILS OF THE SEASONALLY THAWED LAYER ON DIFFERENT LANDSCAPES IN THE AREA OF YAKUTSK (Kerdugen area)

*Abstract.* The response of permafrost, including the rate and extent of changes in permafrost conditions to climate change and economic activity, is characterized as very unequal in scientific works published over the past 20-50 years. This circumstance dictates the need to study and estimate the response of the permafrost conditions of the active layer in Central Yakutia to climate warming and anthropogenic impact. The article presents the results of studies of the moisture characteristics of the thermokarst polygon, which was formed after the uprooting of a mixed birch-larch forest in 1965-1985 in areas of wedge ice distribution, an area of arable land unaffected by the thermokarst process, as well as an area of birch succession formed after deforestation and a larch-birch forest. The weight moisture content of soils in each of the four above types of landscapes was determined by sampling with a manual soil drill-sampler from individual soil horizons into aluminum bottles in the field and subsequent drying to constant weight and calculation at the camera stage. A change in the moisture characteristics of soils depending on changes in permafrost and landscape conditions has been revealed. It has been established that in the area of the birch forest, the weight moisture content of the soil in the seasonally thawed layer at a depth of 0.3-1 m is higher than in the larch-birch forest, due to the high density of crowns and the shallow depth of the seasonally thawed layer of the first. In the area of arable land where thermal subsidence occurred, the soil moisture content in the vertical horizon of 0.3-1.0 m is much higher than in the arable land unaffected by the thermokarst process, which is due to additional moistening conditions due to snowfall, as well as its accumulation and retention on thermal subsidence.

*Keywords:* permafrost, soil weight moisture, active layer, Central Yakutia, permafrost and landscape conditions, birch-larch forest, succession, thermokarst, thermokarst polygons, wedge ice.

### Введение

Территория распространения многолетнемерзлых грунтов характеризуется высокой чувствительностью и легкой ранимостью при климатических и техногенных воздействиях [1-3]. При этом, как отмечается Ефремовым П.В. и др. [4] наиболее чувствительным и ранимым является приповерхностный горизонт ММП, который является основой среды обитания наземных экосистем (растительного и животного мира, включая человека) и инфраструктуры экономики Севера и Арктики. За последние 20-50 лет немало работ посвящено реакции ММП (криолитозоны) на изменение климата и хозяйственную деятельность в различных регионах и странах, в которых отмечается, что реакция вечной мерзлоты, включая темпы и масштабы изменений геокриологических условий весьма неодинаковы [5-12]. Из последнего вытекает необходимость изучения и оценки реакции геокриологических условий деятельного слоя в Центральной Якутии на потепление климата и антропогенное воздействие.

Одним из важнейших геокриологических параметров мерзлых пород является влажность. Влажность почвогрунтов наряду с другими факторами определяет характер динамики криогенных процессов, гидротермического режима деятельного слоя и верхних горизонтов пород ледового комплекса в современных условиях потепления климата и антропогенного воздействия (вырубка леса, распашка и т.д.). В свою очередь, влажность сезонно-талого слоя (СТС) почвогрунтов полигона зависит от метеорологических условий года (от запасов влаги в снежном покрове в холодное время и от количества выпавших осадков за теплое время) [15]. Данная работа посвящена выявлению и сравнению весовой влажности почвогрунтов на разных типах ландшафтов в местности Кердуген (около г. Якутска).

Исследования велись на 4 участках: 1 – смешанный лиственнично-березовый лес; 2 – березовая сукцессия, образовавшаяся после вырубki леса; 3 – пашня, не затронутая термокарстовым процессом; 4 – термокарстовый полигон – пашня пораженная и преобразованная криогенным процессом (рис. 1).



**Рис. 1.** Участки исследования.

*а – пашня; б – термокарстовый полигон;  
в – лиственнично-березовый лес; г – березовая сукцессия.*

Исследуемые участки пашен были освоены путем раскорчевки смешанного березово-лиственничного леса в 1965-1985 гг. по проектам ЯФ института Дальгипрозем без проведения детальных мерзлотных изысканий (хотя на территории повсеместно были распространены повторно-жильные льды (ПЖЛ) шириной до 3,5, длиной до 12-15 м, мощностью более 10 м). После раскорчевки леса и распашки большая часть пашен Кердюген пришла в негодность в конце 1980-х годов, в связи с образованием первоначальных термокарстовых форм рельефа (зачаточный быллар, зрелый быллар, иё) и эрозией почв из-за особенно близкого залегания ПЖЛ [16]. Хотя в последующие годы были проведены противокриогенные мероприятия по восстановлению пашен, однако термокарстовые просадки существуют в настоящее время. В одном из этих термокарстовых полигонов – зрелом былларе были проведены замеры влажности грунтов через каждые 0,1 м до глубины 1 м, результаты которых были сравнены с участком пашни незатронутого термокарстом.

#### **Природные условия**

Местность Кердюген расположен на Маганской высокой террасе р. Лены, в 5,5 км северо-западнее поселка Табага и в 30 км южнее города Якутска.

В физико-географическом отношении участок исследования относится к Лено-Амгинской аласной провинции страны Средней Сибири [17].

Климат исследуемого района работ, как и всей Центральной Якутии, резко континентальный [18]. Средняя годовая температура воздуха по станции Якутск за 2010-2020 гг. составляет  $-7,2^{\circ}\text{C}$ , а среднегодовая сумма осадков равна 229,2 мм (табл. 1).

Таблица 1 – Среднегодовое количество осадков и средняя годовая температура воздуха исследуемого района [19-20]

№	Год	Средняя годовая температура воздуха, °С	Осадки, мм		
			Среднегодовая сумма осадков	Снежный покров (октябрь-апрель)	Летние атм. осадки (май-сентябрь)
1	2010	-7,7	201,7	73,8	127,9
2	2011	-7,3	239,5	76,7	162,8
3	2012	-7,8	214,5	92,6	121,9
4	2013	-7,4	304,9	64,6	240,3
5	2014	-7,8	237,1	70,7	166,4
6	2015	-6,9	208,7	84	124,7
7	2016	-7,8	228,3	62,2	166,1
8	2017	-6,7	223,1	72,1	151
9	2018	-7,0	237,5	83,6	153,9
10	2019	-6,8	227,9	85,4	142,5
11	2020	-5,9	197,7	111,4	86,3
<b>Среднее значение</b>		-7,2	229,2	79,7	149,4

В почвенном покрове преобладают мерзлотные палевые осолоделые почвы. Литологический состав представлен суглинками. Зональным типом растительности является брусничная лиственничная тайга. Помимо этого, на исследуемой территории на участках старых вырубок широкое распространение имеют разновозрастные березовые сукцессии.

Многолетнемерзлые толщи исследуемой территории имеют сплошное распространение. Мощность СТС в зависимости от механического состава грунта, вида ландшафта, мезо- и микро рельефа, колеблется от 0,9 до 2,5 м. Среднегодовая температура пород многолетнемерзлых грунтов колеблется от -1,5 до -6°С.

**Материалы и методы**

Для определения весовой влажности почвогрунта в полевых условиях проводился отбор проб с помощью ручного почвенного буро-пробоотборника. Образцы отбирались из отдельных горизонтов почвы в алюминиевые бюксы и взвешивались на технических весах с точностью до 0,01 г.

В камеральном этапе данные образцы высушивались до постоянной массы в сушильном шкафу при температуре 105 °С. После, весовая влажность определялась с помощью формулы:

$$W = \frac{100 * (m_1 - m_0)}{m_0 - m}, \quad (1)$$

где  $m_1$  – вес пустого бюкса и влажного грунта, г;  $m_0$  – вес пустого бюкса и сухого грунта, г;  $m$  – вес пустого бюкса, г.

**Результаты исследования.**

Как упоминалось выше, влажность СТС почвогрунтов массива зависит, в основном, от метеорологических условий года (от запасов влаги в снежном покрове и от количества выпавших осадков за теплое время). Весовая влажность почвогрунтов в конце вегетационного периода 2021 г. приведена в табл. 2. и на рис. 2, 3.

Таблица 2 – Весовая влажность почвогрунтов СТС (% от веса) в местности Кердоген, сентябрь 2021 г.

Глубина, м	Участок 1: Лиственнично-березовый лес (мнимо коренной) (N 61.81445, E129.54475)	Участок 2: Березовая сукцессия (N 61.81470, E 129.56595)	Участок 3: Пашня, не затронутая термокарстом (N 61.81472, E 129.54192)	Участок 4: Термокарстовый полигон (зрелый быллар) (N 61.81577, E129.55183)
0,1	29,6	10,3	13,0	4,2
0,2	12,6	8,8	11,4	15,8
0,3	5,6	7,7	6,4	19,6
0,4	5,2	7,7	4,6	18,6
0,5	6,2	13,0	4,4	19,0
0,6	6,3	15,2	5,0	20,3
0,7	7,2	13,4	6,0	21,0
0,8	8,5	12,3	9,9	22,4
0,9	8,3	13,1	10,9	22,9
1	8,8	13,4	12,3	24,0

На условия увлажнения помимо всего прочего влияет, также, характер поверхности и ландшафта. Так, на термопросадках, в отличие от пашен, помимо выпавшего снега накапливается и задерживается еще снег, сдуваемый с ровной поверхности пашни, что создает дополнительные условия увлажнения. Во влажные годы процесс термокарста идет интенсивнее, чем в сухие годы. По данным табл. 1, за последнее десятилетие наиболее влажный год отмечался в 2013 г., в последующие годы количество осадков плавно сокращалась с небольшими скачками в разные годы, что привело к затуханию и стабилизации термопросадочного явления в рассматриваемом участке.

В лесных участках за счет того, что деревья выступают в качестве своеобразного сложного фильтра между поверхностью почвы и верхней своей поверхностью, задерживающей часть влаги, которая потом испаряется, не достигая почвы, количество осадков перераспределяется. Трансформирующая роль леса определяется в основном характером лесной растительности или обобщенно степенью насыщенности фитомассой пространства, ею занимаемого, и ее специфическими особенностями. Трансформирующая роль сводится к задержанию жидких осадков пологом древостоя, подлеском, живым покровом и лесной подстилкой, причем большая часть задержанной влаги испаряется и в жидком виде в почву не поступает. Твердые осадки в виде снега, оседая на кронах, задерживаются пологом древостоя. Часть их в течение зимы испаряется, не переходя в жидкое состояние, но большая часть стряхивается с крон при ветрах и таким образом достигает поверхности почвы [21].

Как видно из графика (рис. 2) весовая влажность грунтов в березовом лесу чуть выше, чем в лиственнично-березовом лесу. Молодая березовая сукцессия (до 30 лет), в целом, характеризуется высокой сомкнутостью крон (до 0,9) и малой глубиной СТС (в среднем 1 м), что обуславливает достаточно высокую влажность почвогрунта. Так, высокая сомкнутость крон способствует медленному испарению, создавая препятствия проникновению солнечных лучей, а за счет малой глубины СТС – вся влага перераспределяется в верхнем почвенном слое.

Однако с течением времени береза сменяется хвойными породами – лиственница оправляется, догоняет в росте березу. При этом чаще для лиственничных лесов более характерна примесь березы в резко континентальной мерзлотной области [21], как например, в первом участке исследования. Тем не менее, с течением времени, береза, будучи менее долговечной, выпадает и остается одна лиственница.

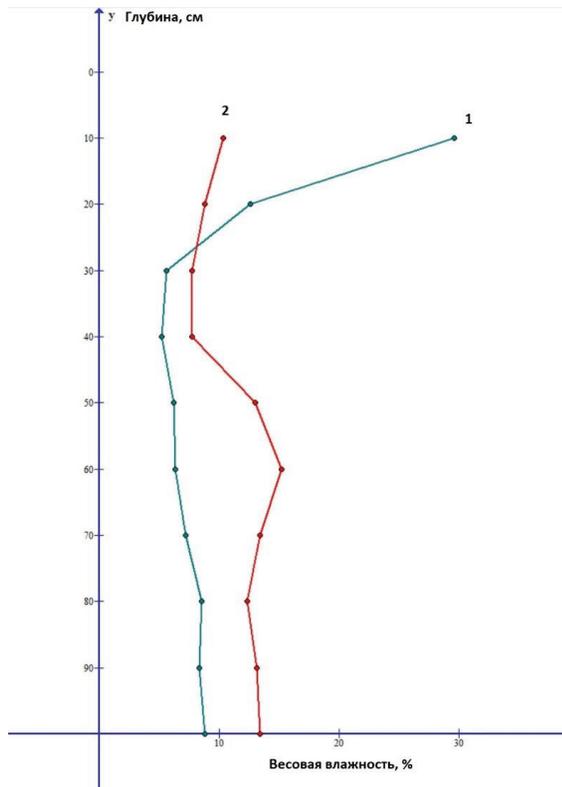


Рис. 2. Весовая влажность почвогрунтов на лесных участках местности Кердюген: 1 – лиственнично-березовый лес, 2 – березовый лес (сентябрь, 2021 г.)

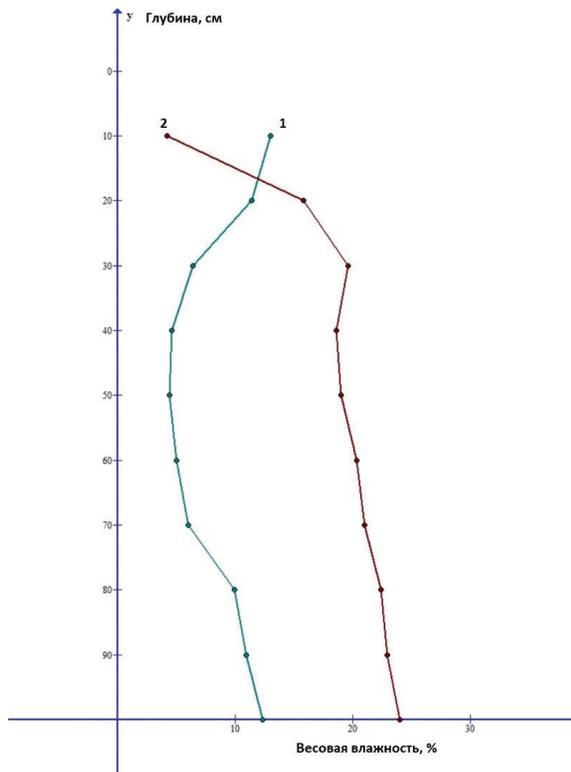


Рис. 3. Весовая влажность почвогрунтов на разных участках пашен (затронутого термокарстом и без), местность Кердюген: 1 – Пашня, не затронутая термокарстом, 2 – Термокарстовый полигон (сентябрь, 2021 г.)

На открытом участке влажность почвы под просадками в основном всегда выше влажности почвы пашни, что также отображается на проведенных нами замерах 2021 г. (рис. 3). Влажность почвогрунта на термокарстовом полигоне, начиная с первых метров, плавно растет до нижней точки измерения (1 м), при этом разница весовой влажности на глубине 0,1 и 1 м существенно различаются – с глубиной влажность значительно возрастает. На всех 4 рассмотренных участках определенная закономерность повышения весовой влажности наблюдается с глубины 0,3 м, что обуславливается сильным влиянием поверхностных условий увлажнения на верхний почвенный профиль до указанной отметки.

### **Заключение**

В работе приведены результаты исследований весовой влажности почвогрунтов на четырех разных участках – термокарстовом полигоне, участке пашни незатронутого термокарстовым процессом, на участке с березовой сукцессией и лиственнично-березовым мнимо-коренным лесом. Выявлено изменение влажностных характеристик грунтов в зависимости от изменения мерзлотно-ландшафтных условий.

Установлено, что на участке березовой сукцессии весовая влажность грунта в сезонно-талом слое на глубине 0,3-1 м колеблется в диапазоне от 7,7 до 15,2 % от веса и выше, чем в лиственнично-березовом мнимо-коренном лесу, где весовая влажность почвогрунта в указанной глубине характеризуется значениями от 5,2 до 8,8 % от веса, за счет высокой сомкнутости крон и малой глубины СТС первого.

На участке пашни, где произошли термопросадки влажность грунта в вертикальном горизонте 0,3-1,0 м намного выше (от 18,6 до 24,0 % от веса), чем на пашне незатронутого термокарстовым процессом (4,4 до 12,3 % от веса в диапазоне 0,1-1 м), что обуславливается дополнительными условиями увлажнения за счет выпавшего снега, а также, его накопления и задержания на термопросадках.

В рассматриваемой территории продолжают дальнейшие мониторинговые исследования за динамикой влажности почвогрунтов.

*Работа выполнена в рамках базового проекта СО РАН АААА-А20-120111690009-6.*

### **Литература**

1. Гаврильев П.П. Термопросадки и деформации поверхности поля при мелиорации долины р.Амги // Криогидрологические исследования. – Якутск, 1985. – С. 148-161.
2. Граве Н.А. Принципы оценки чувствительности поверхности к техногенным воздействиям (на примере территории Якутии) / Охрана природы Якутии. – Якутск: ИМЗ СО РАН, 1979. – С.91-94.
3. Граве Н.А., Мельников П.И. Критерии и прогнозы устойчивости мерзлотных ландшафтов // Факторы и механизмы устойчивости геосистем. – М.: АН СССР, Институт географии, 1989. – С. 163-171.
4. Ефремов П.В., Угаров И.С., Гаврильев П.П. Реакция агроландшафтов Центральной Якутии на потепление климата. – Саарбрюккен (Германия): изд-во LAP LAMBERT Academic Publishing, 2017. – 144 с.
5. Балобаев В.Т. Геотермия мерзлой зоны литосферы севера Азии. – Новосибирск: Наука, 1991. – 194 с.
6. Павлов А.В. Теплообмен почвы с атмосферой в северных и умеренных широтах территории СССР. – Якутск, 1975. – 302 с.
7. Павлов А.В. Мерзлотно-климатический мониторинг России: методология, результаты наблюдений, прогноз / А.В. Павлов // Криосфера Земли. – 1997. – № 1. – С.47-58.
8. Скрыбин П.Н., Варламов С.П., Скачков Ю.Б. Оценка изменений температурного режима грунтов при нарушении природных условий // Рациональное природопользование в криолитозоне. – М.: Наука, 1992. – С. 165-173.
9. Шур Ю.Л. Верхний горизонт толщи мерзлых пород и термокарст. – Новосибирск: Наука, 1988. – 213 с.
10. Ершов Э.Д., Козлов А.Н., Пармузин С.Ю. и др. Деградация криолитозоны России при глобальном потеплении климата // Материалы первой конференции геокриологов России. – М.: Изд-во МГУ, 1996. – Т.2. – С.319-328.

11. Гаврилова М.К. Климат и многолетнее промерзание горных пород. – Новосибирск: Наука, 1978. – 214 с.
12. Гаврилова М.К. Современный климат и вечная мерзлота на континентах. – Новосибирск: Наука, 1981. – 113 с.
13. Фотиев С.М. Гидрогеотермические особенности криогенной области СССР. – М.: Наука, 1978. – 238 с.
14. Скачков Ю.Б. Современные изменения климата Центральной Якутии // Климат и мерзлота: комплексные исследования в Якутии. – Якутск: Изд-во Института мерзлотоведения СО РАН, 2000. – С.55-63.
15. Угаров И.С., Ефремов П.В. Криомониторинг агроландшафтов Центральной Якутии / И.С. Угаров, П.В. Ефремов // Успехи современного естествознания. – 2012. – № 12. – С. 137-139.
16. Гаврильев П.П., Угаров И.С., Ефремов П.В. Мерзлотно-экологические особенности таежных агроландшафтов Центральной Якутии. – Якутск: Издательство Института мерзлотоведения СО РАН, 2001. – 196 с.
17. Мерзлотно-ландшафтная карта Республики Саха (Якутия). Масштаб 1: 1 500 000 / Федоров А.Н., Торговкин Я.И., Шестакова А.А., Васильев Н.Ф., Макаров В.С. и др.; гл. ред. М.Н. Железняк – Якутск: ИМЗ СО РАН, 2018. 2 л.
18. Гаврилова М.К. Климат Центральной Якутии. – Якутск: Якутское кн. изд-во, 1973. – 120 с.
19. Погода и климат [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.pogodaiklimat.ru> (дата обращения: 30.05.2022).
20. Web Аисори-М [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://aisori-m.meteo.ru> (режим доступа: 27.05.2022).
21. Поздняков Л.К. Мерзлотное лесоведение. – Новосибирск: Наука, 1986.

#### References

1. Gavril'ev P.P. Termoprosadki i deformacii poverhnosti polja pri melioracii doliny r.Angi // Kriogidrologicheskie issledovaniya. – Jakutsk, 1985. – S. 148-161.
2. Grave N.A. Principy ocenki chuvstvitel'nosti poverhnosti k tehnogennym vozdeystvijam (na primere territorii Jakutii) / Ohrana prirody Jakutii. – Jakutsk: IMZ SO RAN, 1979. – S.91-94.
3. Grave N.A., Mel'nikov P.I. Kriterii i prognozy ustojchivosti merzlotnyh landshaftov // Faktory i mehanizmy ustojchivosti geosistem. – M.: AN SSSR, Institut geografii, 1989. – S. 163-171.
4. Efremov P.V., Ugarov I.S., Gavril'ev P.P. Reakcija agrolandshaftov Central'noj Jakutii na poteplenie klimata. – Saarbrjücken (Germanija): izd-vo LAP LAMBERT Academic Publishing, 2017. – 144 s.
5. Balobaev V.T. Geotermija merzloy zony litosfery severa Azii. – Novosibirsk: Nauka, 1991. – 194 s.
6. Pavlov A.V. Teploobmen pochvy s atmosferoj v severnyh i umerennyh shirotah territorii SSSR. – Jakutsk, 1975. – 302 s.
7. Pavlov A.V. Merzlotno-klimaticheskij monitoring Rossii: metodologija, rezul'taty nabljudenij, prognoz / A.V. Pavlov // Kriosfera Zemli. – 1997. – № 1. – S.47-58.
8. Skrjabin P.N., Varlamov S.P., Skachkov Ju.B. Ocenka izmenenij temperaturного rezhima gruntov pri narushenii prirodnyh uslovij // Racional'noe prirodopol'zovanie v kriolitozone. – M.: Nauka, 1992. – S. 165-173.
9. Shur Ju.L. Verhnij gorizont tolshhi merzlyh porod i termokarst. – Novosibirsk: Nauka, 1988. – 213 s.
10. Ershov Je.D., Kozlov A.N., Parmuzin S.Ju. i dr. Degradacija kriolitozony Rossii pri global'nom poteplenii klimata // Materialy pervoj konferencii geokriologov Rossii. – M.: Izd-vo MGU, 1996. – T.2. – S.319-328.
11. Gavrilova M.K. Kлимат и многолетнее промерзание горных пород. – Новосибирск: Наука, 1978. – 214 с.
12. Gavrilova M.K. Sovremennyj климат и вечная мерзлота на континентах. – Novosibirsk: Nauka, 1981. – 113 s.
13. Fotiev S.M. Hidrogeotermicheskie osobennosti kriogennoj oblasti SSSR. – M.: Nauka, 1978. – 238 s.
14. Skachkov Ju.B. Sovremennye izmeneniya klimata Central'noj Jakutii // Kлимат и мерзлота: комплексные исследования в Якутии. – Jakutsk: Izd-vo Instituta merzlotovedeniya SO RAN, 2000. – S.55-63.

15. Ugarov I.S., Efremov P.V. Kriomonitoring agrolandshaftov Central'noj Jakutii / I.S. Ugarov, P.V. Efremov // *Uspehi sovremennogo estestvoznaniya*. – 2012. – № 12. – S. 137-139.
16. Gavril'ev P.P., Ugarov I.S., Efremov P.V. Merzlotno-jekologicheskie osobennosti taezhnyh agrolandshaftov Central'noj Jakutii. – Jakutsk: Izdatel'stvo Instituta merzlotovedenija SO RAN, 2001. – 196 s.
17. Merzlotno-landshaftnaja karta Respubliki Saha (Jakutija). Masshtab 1: 1 500 000 / Fedorov A.N., Torgovkin Ja.I., Shestakova A.A., Vasil'ev N.F., Makarov V.S. i dr.; gl. red. M.N. Zheleznyak – Jakutsk: IMZ SO RAN, 2018. 2 l.
18. Gavrilova M.K. Klimat Central'noj Jakutii. – Jakutsk: Jakutskoe kn. izd-vo, 1973. – 120 s.
19. Pogoda i klimat [Jelektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: <http://www.pogodaiklimat.ru> (data obrashhenija: 30.05.2022).
20. Web Aisori-M [Jelektronnyj resurs]. – Rezhim dostupa: <http://aisori-m.meteo.ru> (rezhim dostupa: 27.05.2022).
21. Pozdnjakov L.K. Merzlotnoe lesovedenie. – Novosibirsk: Nauka, 1986.