

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ В КРИОЛИТОЗОНЕ

УДК 551.345

DOI: 10.21782/KZ1560-7496-2019-4(16-25)

СТРОЕНИЕ ОЗЕРНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ КУЛЬТУРНОГО СЛОЯ
НА ТЕРРИТОРИИ ГОРОДА ЯКУТСКА

И.И. Сыромятников, В.В. Куницкий

*Институт мерзлотоведения имени П.И. Мельникова СО РАН,
677010, Якутск, ул. Мерзлотная, 36, Россия; syromyatnikov@mpi.ysn.ru*

Приводятся результаты мерзлотных исследований 2009–2015 гг. по программе геокриологического мониторинга на территории г. Якутска. Описывается строение и тепловое состояние вскрытых здесь бурением озерных осадков культурного слоя. По литологическим и геохимическим признакам находится мощность этих отложений, оценивается их роль в формировании инженерно-геологической обстановки на освоенной территории. Делается вывод о том, что геокриологическая специфика урбанизированных экосистем криолитозоны определяется наличием в них культурного слоя.

Криолитозона, аллювий, озерные отложения, водная экосистема, криогенный ландшафт, культурный слой

THE STRUCTURE OF LACUSTRINE DEPOSITS IN THE CULTURAL LAYER
OF THE CITY OF YAKUTSK

I.I. Syromyatnikov, V.V. Kunitsky

*Melnikov Permafrost Institute, SB RAS,
36, Merzlotnaya str., Yakutsk, 677010, Russia; syromyatnikov@mpi.ysn.ru*

The paper presents the results of permafrost investigations carried out in 2009–2015 as part of the geocryological monitoring program on the territory of Yakutsk. Described are the structure and the thermal state of lake sediments cored from the cultural layer. The cryolithological and geochemical characteristics are used to define the thickness of these sediments, as well as to assess their role in the development of the engineering and geological conditions in the urban area. It is concluded that urban ecosystems in the permafrost regions have distinctive geocryological characteristics due to the presence of sediments from the cultural layer.

Permafrost, alluvium, lacustrine sediments, water ecosystem, cryogenic landscape, cultural layer

ВВЕДЕНИЕ

Настоящая работа оказалась возможной в результате проведения в 2009–2015 гг. Институтом мерзлотоведения (ИМЗ) СО РАН при участии авторов статьи научных исследований на территории г. Якутска по программе геокриологического мониторинга. Здесь были впервые изучены озерные осадки культурного слоя.

Под термином “культурный слой” понимается пласт земли со следами и предметами практической деятельности человека на месте его поселения и длительного проживания [Мартынов, 2005; Каздым, 2006]. Археологический термин “культурный слой” находит применение в инженерной геологии [Саваренский, 1950], геологии городов [Леггет, 1976] и геокриологии [Салтыков, 1946; Мельников, 1950; Макаров, Торговкин, 2018]. К нему относятся остатки рукотворных сооружений и другие антропогенные физические, химические, биологические артефакты с вмещающими их от-

ложениями, которые отражают направление хозяйственной деятельности человека в том или ином месте.

Цель статьи – выявить особенности строения и теплового состояния озерных отложений культурного слоя г. Якутска.

РАЙОН И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Район исследования осадков культурного слоя охватывает территорию муниципального образования (МО) “Город Якутск” (рис. 1).

Муниципальное образование “Город Якутск” – небольшая часть восточной окраины Средней Сибири, площадью 3600 км², находится на левом берегу р. Лены в ее среднем течении и является местом проживания свыше одной трети населения Республики Саха (Якутия). Рассматриваемая территория граничит на севере с Намским улусом, на юге с Мегино-Кангаласским улусом, на

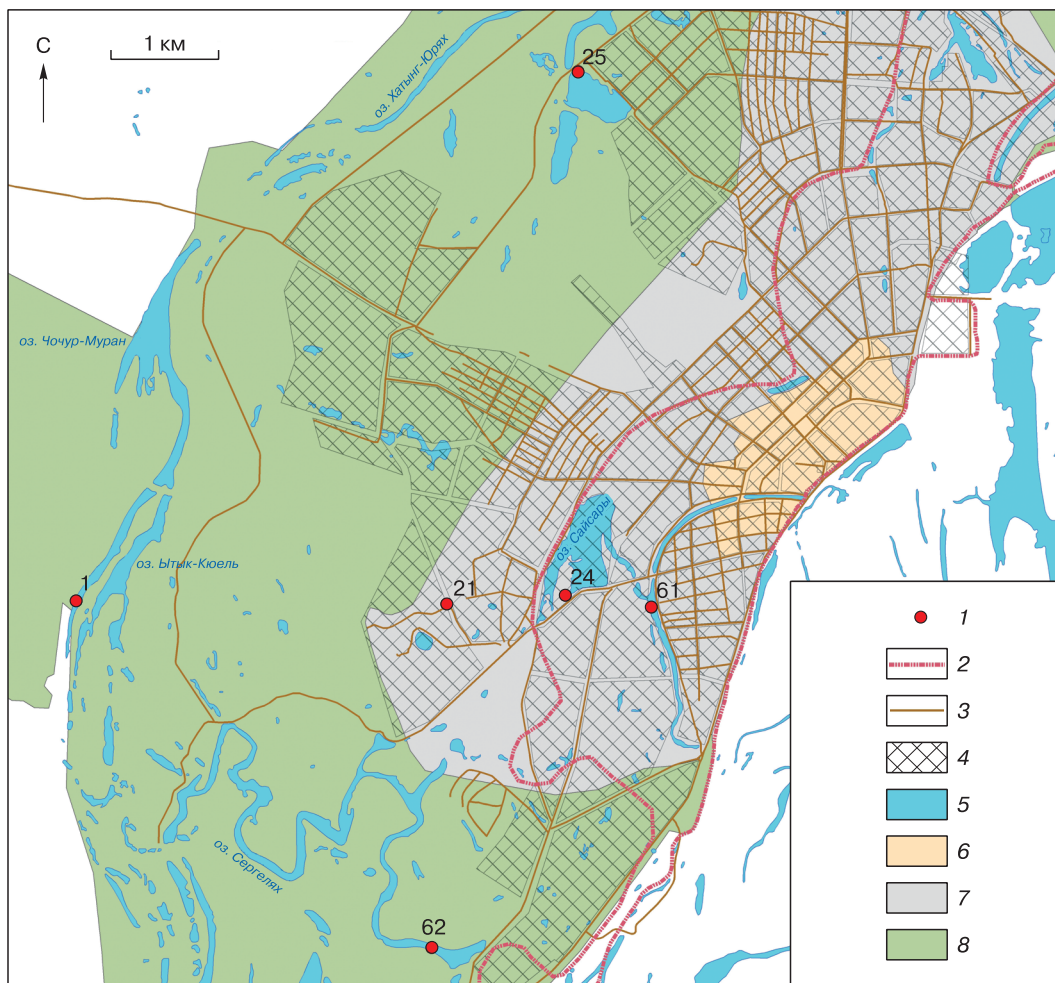


Рис. 1. Местоположение исследованных разрезов территории г. Якутска.

1 – скважина и ее номер; 2 – границы террас; 3 – дороги и улицы; 4 – городские кварталы; 5 – водоемы; 6 – область старого города; 7 – переходная область; 8 – окраинная область.

западе с Горным улусом РС (Я). Восточная граница МО “Город Якутск” проводится от мыса Табагинский до мыса Кангаласский по руслам протоков Лены в долине Туймаада.

Территория этого МО усеяна поверхностными водоемами. Наряду с такими обширными бассейнами, как оз. Сайсары и оз. Белое, здесь встречаются неглубокие и перемерзающие до дна безымянные лужи (“львы”). Общая площадь зеркала поверхностных водоемов составляет около 12 % площади МО “Город Якутск”. Все водоемы, показанные на изданной в 1999 г. карте МО масштаба 1:25 000, занимают около 10 км² и неравномерно распределены в этом районе (табл. 1).

Поверхностные водоемы Якутска характеризуются разными ионным составом и минерализацией воды [Анисимова, 1981; Анисимова, Павлова, 2014; Макаров, Седельникова, 2016]. Это связано в

основном с процессами криогенной метаморфизации пресных вод [Анисимова, 1981].

Система геокриологического мониторинга в МО “Город Якутск” была создана в 2009–2011 гг. Она включает 65 ключевых участков, которые выбраны на основных элементах рельефа исследуе-

Таблица 1. Распределение поверхностных водоемов* в отдельных областях г. Якутска

Городская область	Площадь области S, га	Кол-во водоемов в области	Площадь зеркала водоемов	
			га	% (от S)
Область старого города	183.5	2	2.8	1.5
Переходная область	2051.7	59	90.2	4.4
Окраинная область	10 386.6	592	9165.7	11.7

* Водоемы, показанные на топографической карте масштаба 1:25 000, издания 1999 г.

мой территории. Каждый такой участок охарактеризован разрезом разведочной скважины колонкового бурения. Мониторинговые скважины пройдены на глубину, соизмеримую с толщиной слоя годовых теплооборотов.

Строение озерных осадков культурного слоя изучалось по керну шести буровых скважин. Они пройдены в границах низких надпойменных, по П.А. Соловьеву [1959], террас р. Лены. Из этих горных выработок две буровые скважины расположены на якутской (первой надпойменной) террасе (скв. 24, 61), а четыре выработки пройдены на сергеляхской (второй надпойменной) террасе р. Лены (скв. 1, 21, 25, 62).

Фактические данные были получены с помощью стандартных методов инженерно-геологических и мерзлотных исследований. Разрезы мерзлых, талых, немерзлых [Швецов, 1959], мокроморозных и сухоморозных пород [Толстихин, 1974] наблюдались в процессе документации и опробования керна буровых скважин системы геокриологического мониторинга. В настоящее время мокроморозные породы называют также охлажденными, что не принимается авторами настоящей статьи.

Определение влажности и физико-механических свойств отложений по разрезам скважин проведено в грунтовой лаборатории ИМЗ СО РАН (аналитики А.П. Голдырева, М.А. Очечковская, Ю.Г. Слепцова, Н.Н. Ремизова). В геохимической лаборатории ИМЗ СО РАН определен состав образцов природных вод и водных вытяжек (аналитики Л.Ю. Бойцова, Р.И. Петухова, О.В. Шепелева). Мерзлотно-геотермические наблюдения в буровых скважинах системы геокриологического мониторинга проводились с использованием терморезисторов и температурных логгеров.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Достаточно представительный разрез озерных отложений культурного слоя наблюдался в керне буровой скважины 21. Этот разрез характеризует строение дна техногенного водоема, находящегося вблизи автомобильной дороги в жилом микрорайоне Мерзлотный г. Якутска.

Скважина 21 пройдена в марте 2010 г. в береговой зоне неглубокого (2 м) и покрытого льдом озера. Примыкающие к нему заболоченные участки II надпойменной террасы р. Лены имеют абсолютную высоту около 97 м. Здесь находится ряд каменных колодцев, соединенных между собой канализационными трубами. Утечки из них не раз пополняли это озеро. Берега его в течение многих лет были местом несанкционированной мойки автомобилей и свалки бытовых отходов, что привело к появлению здесь солоноватых вод. Минерализация их в октябре 1994 г. составляла 2,8 г/л, а в сентябре 1999 г. – 2,7 г/л [Анисимова, Павлова, 2014].

Буровая скв. 21 вскрыла геокриологический разрез (сверху вниз), приведенный в табл. 2.

Слой № 1 в разрезе представляет собой ледовый покров техногенного озера. Этот покров пресного льда образовался из солоноватых вод озера при их криогенном метаморфизме [Анисимова, 1981].

Деятельный слой в приведенном разрезе скв. 21 имеет сложное строение. В нем присутствует фация староречья (темно-коричневые пески), осадки речного залива (торфянистые супеси) и прибрежные отложения техногенного водоема (черные илы). Черные илы (слой № 2), торфянистые супеси (слои № 3, 4) и темно-коричневые пески и супеси (слои № 5, 6) бесспорно принадлежат к образованиям сезоннопротаивающего слоя. Это

Таблица 2. Описание геокриологического разреза буровой скважины 21

Номер слоя	Глубина, м	Краткая характеристика пород
1	0–0.15	Лед прозрачный, трещиноватый
2	0.15–0.37	Ил черный с остатками травяной и кустарниково-древесной растительности разной степени разложения, мерзлый с массивной и тонкой линзовидной криогенной текстурой; при таянии издает сильный болотный и фекальный запах
3	0.37–0.85	Супесь светло-коричневая и черная, торфянистая, мерзлая со льдом-цементом; при таянии имеет болотный и фекальный запах
4	0.85–1.8	Супесь коричневая, местами торфянистая с прослоями суглинка и мелкого песка, мерзлая со льдом-цементом
5	1.8–1.85	Песок темно-коричневый, мелкий, мерзлый со льдом-цементом
6	1.85–2.9	Супесь темно-коричневая с прослоями растительного детрита, влажная с болотным (фекальным) запахом; слой талый
7	2.9–4.2	Песок темно-серый, мелкий с редкими прослоями супеси (до 12 см) и тонкими (до 1.5 мм) прослоями растительного детрита, косослоистый, сильно увлажненный; слой талый
8	4.2–6.2	Песок темно-серый, мелкий с прослоями супеси (до 12 см) и растительного детрита, косослоистый, мерзлый со льдом-цементом; прослой супеси имеют тонкую и среднюю линзовидную криогенную текстуру
9	6.2–11.05	Песок темно-серый, мелкий, мерзлый со льдом-цементом

убедительно доказываются результатами измерения их температуры по разрезу буровой скв. 21 (рис. 2, а).

Нижняя граница деятельного слоя в разрезе дна исследуемого озера располагается на глубине около 3.5 м от поверхности озерного льда. Здесь строение отрицательно-температурной нижней части деятельного слоя характеризуется наличием мокроморозных пород, преимущественно песков, в зимне-весеннее время. Они содержат криопэги, поэтому в буровом керне описаны как талые образования. В разрезе скв. 21 их нижняя граница пройдена на глубине 4.2 м. Верхняя граница крио-

пэгов установлена на глубине 1.85 м (см. табл. 2). Криопэги в районе буровой скв. 21, вскрытые глубже нижней границы деятельного слоя, имеют минерализацию 5.4 г/л, они подстилаются здесь незасоленным аллювием [Анисимова, Павлова, 2014].

Мерзлая толща незасоленного аллювия (слои № 8, 9) характеризуется в разрезе скв. 21 высокими значениями отрицательной температуры (от -0.9 до -1.3 °C на глубине 10 м). Эта толща слагается фацией прирусловых отmelей, состоящей в основном из темно-серых, кварцево-полевошпатовых песков.

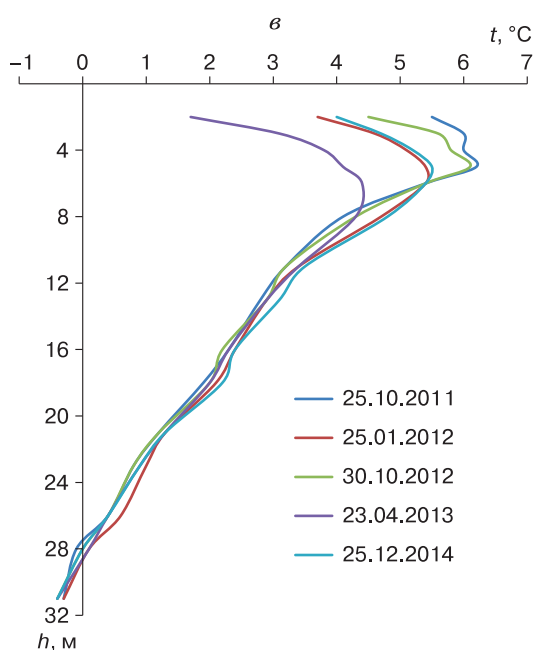
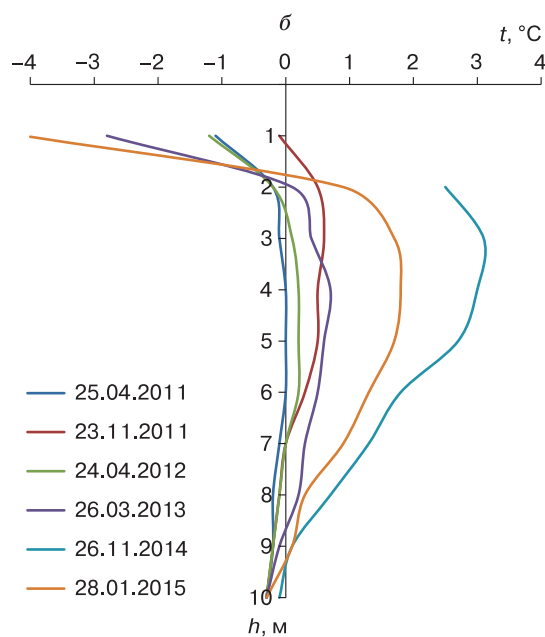
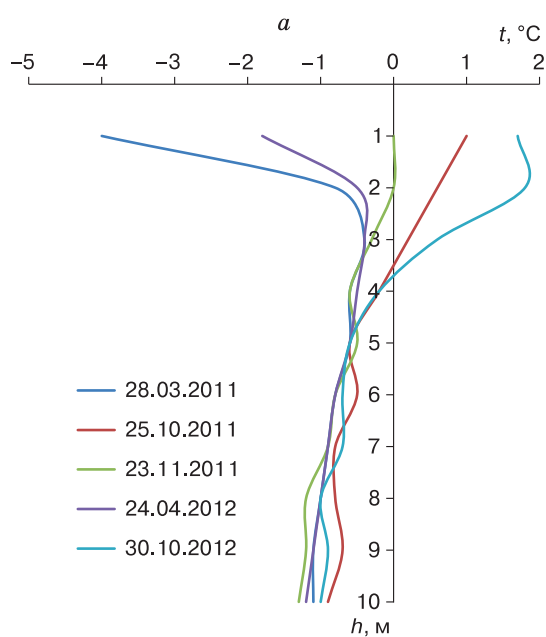


Рис. 2. Распределение температуры пород (t) по глубине (h):

а – скважина 21; б – скважина 24; в – скважина 1.

Данные о гранулометрическом составе и весовой влажности проб керна скв. 21 приведены в табл. 3, 4.

Подобные мерзлые отложения преимущественно песчаного состава наблюдались в микрорайоне Мерзлотный при проходке в нем стволов, штолен и штреков старой и новой подземных лабораторий ИМЗ СО РАН. Неоднократное радиоуглеродное датирование этих отложений (табл. 5) дает основание относить к голоцену их верхнюю часть, вскрытую скважиной 21.

Приведенные в табл. 6 данные позволяют подразделить разрез скв. 21 на две части. Одна из

них представлена пробами, взятыми на глубинах 1–6 м. По классификации мерзлых грунтов с континентальным типом засоления эти пробы принадлежат в основном к слабо- и средnezасоленным грунтам [Роман и др., 2011]. Степень их засоленности (до 0.4488 %) и, вероятно, техногенная природа криопэггов в этих грунтах позволяют относить последние к культурному слою. Его нижняя граница в разрезе буровой скв. 21, по имеющимся геохимическим данным, располагается на глубине около 6.5 м – в цементированных льдом темно-серых песках.

Наиболее представительным компонентом в строении культурного слоя на дне рассматриваемого озера являются криолиогенные [Катасонов, 1972] осадки – темно-коричневые пески, торфянистые супеси и черные илы.

Другая часть разреза скв. 21 рассматривается как “материк” культурного слоя [Мартьянов, 2005; Каздым, 2006]. Она полностью представлена многолетнемерзлыми породами, которые содержат лед-цемент и мелкие ледяные включения, образу-

Таблица 3. Гранулометрический состав проб

Глубина, м	Размер гранулометрических фракций, мм						
	>0.5	0.5–0.25	0.25–0.1	0.1–0.05	0.05–0.01	0.01–0.005	<0.005
Весовое содержание гранулометрических фракций в пробе, мас.%							
<i>Скважина 21</i>							
1	–	0.2	2.1	97.7	22.4	46.9	13.8
2	–	0.9	13.9	85.2	38.4	33.3	5.8
3	–	3.1	27.0	69.9	25.2	29.6	6.2
4	–	0.4	56.1	43.5	–	–	–
5	–	0.7	12.0	87.3	41.1	33.2	5.3
6	0.2	3.2	28.2	68.4	34.9	21.5	5.3
7	–	5.8	89.4	4.8	–	–	–
8	–	7.6	86.6	5.8	–	–	–
9	–	9.0	86.0	5.0	–	–	–
10	–	5.0	82.5	12.5	–	–	–
11	0.2	7.4	83.0	9.4	–	–	–
<i>Скважина 24</i>							
1	–	0.3	1.6	24.2	47.1	11.1	15.7
2	–	27.1	31.9	15.8	17.5	2.1	5.6
3	0.4	25.1	42.2	15.7	10.5	1.6	4.5
4	0.5	26.3	40.2	17.9	10.0	1.5	3.6
5	1.0	36.1	36.9	–	–	–	–
6	1.6	38.3	34.5	–	–	–	–
7	0.5	37.8	37.38	–	–	–	–
8	0.9	39.2	40.5	–	–	–	–
9	2.3	39.9	42.4	–	–	–	–
10	6.7	43.8	41.0	–	–	–	–
11	1.2	46.0	25.1	–	–	–	–
<i>Скважина 1</i>							
1.9	–	1.9	22.8	17.3	34.2	11.9	11.9
5.4	–	7.0	17.6	26.0	24.6	10.2	14.6
6	0.3	19.2	24.0	15.8	23.9	5.4	11.4
7	3.1	31.0	29.0	8.8	19.7	7.1	1.3
9	1.8	57.4	36.8	–	–	–	–
10	4.2	70.4	12.1	–	–	–	–
12	34.8	16.8	6.3	11.5	16.5	4.9	9.2
20	–	1.0	8.3	54.0	23.8	4.3	8.6
25	–	0.5	5.9	46.0	39.7	2.3	5.6
30	–	1.1	15.0	55.9	16.7	3.0	8.3

Таблица 4. Весовая влажность пород (W) на глубине (h)

Скважина 21		Скважина 24		Скважина 1	
h, м	W, %	h, м	W, %	h, м	W, %
0.5	34.2	0.5	64.1	5.5	23.2
1	30.4	1	42.9	8.2	16.9
2	31.4	2	21.4	9.5	16.7
3	40.8	3	23.0	17	23.0
4	43.9	4	21.0	18.5	23.6
5	38.0	5	24.2	22	19.1
6	51.5	6	21.0	23	19.7
7	27.9	6.5	25.2	24.3	18.8
8	25.1	7	19.2	25.3	20.8
9	32.3	10	22.7	26	26.9
10	27.9	10.5	20.0	28	19.6
11	29.6	11.5	40.7	30	24.3

Таблица 5. Радиоуглеродные датировки аллювия, вскрытого подземельями ИМЗ СО РАН [Костожевич, Днепровская, 1988, 1990]

Материал	Глубина, м	Место взятия пробы	¹⁴ C-возраст, лет назад	Индекс датировки
Растительный детрит	9	Старое подземелье	10 800 ± 168	ИМ-958
Торф намытый	11	То же	11 560 ± 135	ИМ-959
Торф намытый	12	»	11 560 ± 120	ИМ-960
Древесина	10	Новое подземелье	11 193 ± 250	ИМ-961
Торф намытый	11	То же	11 193 ± 250	ИМ-962
Растительный детрит	11.3	»	9635 ± 135	ИМ-963
Древесина	11.6	»	10 385 ± 150	ИМ-964

Таблица 6. Химический состав озерной воды и водной вытяжки грунтов

Глубина отбора пробы, м	pH	Eh, мВ	Содержание катионов, мг-экв./100 г					Содержание анионов, мг-экв./100 г				Жесткость общая, мг-экв./100 г	Степень засоленности D_{sal} , % (г/100 г)	
			Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	NH ₄ ⁺	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	NO ₃ ⁻			
<i>Водная вытяжка грунтов по разрезу скважины 21</i>														
1	6.97	400	0.4175	0.2088	2.2609	0.0251	0.0071	0.2570	1.0112	1.2525	0.0027	0.626	0.1642	
2	7.28	366	2.0410	2.0332	3.0978	0.0551	0.0071	0.3801	4.7133	2.0625	0.0109	4.074	0.4488	
3	7.16	391	0.5204	0.5079	0.8348	0.0652	0.0536	0.3330	0.4285	1.5750	0.0082	1.028	0.1249	
4	7.23	378	0.3490	0.3365	0.6957	0.0476	0.0357	0.3910	0.3942	0.7525	0.0410	0.686	0.0866	
6	7.32	373	0.3708	0.3023	0.8696	0.0526	0.0536	0.5466	0.3256	1.0900	0.0271	0.673	0.1044	
8	7.09	395	0.2555	0.1309	0.3087	0.0226	0.0071	0.3041	0.1714	0.3250	0.0137	0.386	0.0437	
10	7.17	403	0.1465	0.1683	0.2065	0.0238	0.0036	0.2787	0.1714	0.1525	0.0137	0.315	0.0328	
<i>Водная вытяжка грунтов по разрезу скважины 24</i>														
2	7.67	453	0.2180	0.1030	0.5220	0.0110	0.0070	0.3620	0.1390	0.3560	0.0009	0.321	0.0483	
3	7.19	449	0.1932	0.0904	0.4435	0.0150	0.0071	0.3367	0.1543	0.3234	0.0026	0.284	0.0448	
4	7.19	452	0.1402	0.1059	0.4565	0.0251	0.0036	0.3294	0.1371	0.2940	0.0009	0.246	0.0426	
6	7.11	451	0.1527	0.1651	0.3783	0.0163	0.0036	0.3294	0.1714	0.2352	0.0009	0.318	0.0409	
8	7.02	457	0.1901	0.0592	0.4043	0.0113	0.0036	0.2602	0.1714	0.3851	0.0009	0.249	0.0440	
10	6.79	462	0.1028	0.0810	0.2478	0.0251	0.0035	0.2100	0.1388	0.1764	0.0009	0.184	0.0290	
<i>Озерная вода в разрезе скважины 1</i>														
0.8–0.9	7.49	335	5.516	8.570	6.260	0.460	0.107	16.020	0.600	4.460	0.111	14.08	1.0617	
1.3–1.4	7.52	333	4.987	9.082	6.090	0.419	0.143	15.780	0.428	4.663	0.083	14.07	1.0425	
<i>Водная вытяжка грунтов по разрезу скважины 1</i>														
1.5	7.13	380	0.8720	1.4320	2.1739	0.2506	0.0750	0.9131	2.2281	1.3266	0.1638	2.304	0.2770	
2.0	6.80	427	0.1449	0.1087	0.2739	0.0476	0.1071	0.2435	0.1714	0.1148	0.0000	0.254	0.0341	
5.5	6.69	449	0.0752	0.1839	0.3478	0.0251	0.0429	0.2691	0.1714	0.2020	0.0218	0.259	0.0371	
10	7.44	425	0.1588	0.2117	0.4000	0.0476	0.0357	0.2723	0.3942	0.1782	0.0027	0.371	0.0509	
15	7.80	402	0.1560	0.1950	0.3565	0.0583	0.0571	0.4998	0.3428	0.0396	0.0273	0.351	0.0500	
20	7.8	422	0.0641	0.1588	0.7000	0.0338	0.0214	0.5863	0.2914	0.0475	0.0000	0.223	0.0545	
25	7.6	421	0.0919	0.1031	0.7217	0.0219	0.0054	0.4550	0.6856	0.0435	0.0082	0.195	0.0690	
30	7.4	428	0.0752	0.1365	0.8043	0.0244	0.0071	0.4197	0.6856	0.0594	0.0109	0.212	0.0710	

ющие их криогенные текстуры. В геохимическом отношении эта часть разреза характеризуется пробами, отобранными на глубинах 8 и 10 м. Их водная вытяжка содержит мало солей (степень засоленности проб D_{sal} от 0.0328 до 0.0437 %) и тоже имеет континентальный тип ионного состава. Взятая на глубине 10 м проба аллювия имеет гидрокарбонатно-натриевый состав водной вытяжки. Это типично для не измененного урбанизацией и почти не засоленного песчаного аллювия исследуемой территории [Анисимова, 1981].

Культурный слой в разрезе буровой скважины 24, пройденной со льда обширного водоема, имеет иное строение.

Скважина 24 задана в мелководной южной части оз. Сайсары. Это озеро – бессточный водоем. На его месте в недалеком прошлом было несколько отдельных плоскодонных бассейнов. Во второй половине XX в. они слились в единую акваторию под воздействием антропогенных факторов [Соловьев, 1980]. Химический состав вод оз. Сайсары техногенного происхождения. Со сто-

роны жилых кварталов г. Якутска сюда ежегодно стекают загрязненные поверхностные воды. Обширное зеркало (0.49 км²) и малая глубина (в среднем 2.65 м) этого водоема [Харлампьева, Николаева, 2014], засушливый климат и сравнительно высокие летние температуры воздуха обеспечивают значительное испарение вод оз. Сайсары.

Буровая скважина 24 в конце марта 2010 г. пройдена с ледового покрова оз. Сайсары. Уровень его на участке проходки этой горной выработки находился на абсолютной высоте около 94 м.

Скважина 24 вскрыла геокриологический разрез (сверху вниз), приведенный в табл. 7. Данные о гранулометрическом составе и весовой влажности пород, пройденных буровой скв. 24, представлены в табл. 3, 4. О тепловом состоянии пород на месте проходки скв. 24 можно судить по результатам измерения их температуры в 2010–2015 гг. (см. рис. 2, б). Разрез скв. 24 убедительно свидетельствует о присутствии сезоннопромерзающих образований под краевой частью оз. Сайса-

Таблица 7. Описание геокриологического разреза буровой скважины 24

Номер слоя	Глубина, м	Краткая характеристика пород
1	0–0.2	Лед прозрачный, озерный
2	0.2–0.5	Торф черный, заиленный с остатками травяной растительности разной степени разложения, мерзлый с атакситовой криогенной текстурой; при таянии течет, издает сильный болотный запах
3	0.5–0.95	Суглинок темно-серый с желтыми пятнами, илистый, торфянистый, мерзлый с тонкой линзовидной криогенной текстурой; при таянии имеет болотный запах и становится текучим
4	0.95–1.45	Суглинок темно-серый с желтыми пятнами, мерзлый с тонкой линзовидной криогенной текстурой; при таянии приобретает болотный запах и пластичную консистенцию
5	1.45–1.7	Супесь желто-серая с прослоями (до 5 см) серого песка, мерзлая со льдом-цементом и местами с тонкой линзовидной криогенной текстурой
6	1.7–1.9	Супесь желто-серая, талая с болотным запахом
7	1.9–2.1	Супесь желто-серая, заиленная, талая, водонасыщенная с болотным запахом
8	2.1–3.5	Супесь желто-серая с прослоями (до 5 см) серого песка, водонасыщенная
9	3.5–9.6	Песок темно-серый, мелкий с прослойками (1.5–3 мм) бурого растительного детрита, водонасыщенный с болотным запахом
10	9.6–11.5	Песок серый, средний с волнистой слоистостью и массивной криогенной текстурой

ры. Они здесь представлены торфом, суглинками, супесями и слагают выдержанный слой, мощность которого достигала 2.5 м. Возможно, в отдельные годы в районе буровой скв. 24 граница сезонно-промерзающего слоя опускается на глубину 3.0–3.5 м.

Сезоннопромерзающий слой дна исследуемого озера формируется в породах гидрогенного талика. В разрезе скв. 24 эти породы имеют в основном песчаный состав и являются водоносными образованиями.

Породы гидрогенного талика в рассматриваемом разрезе характеризуются низкими значениями положительной температуры. Так, в период 2010–2015 гг. эти значения на глубине 5 м находились в диапазоне от 0 до 2.7 °С. В тот же период температурный максимум вскрытого талика (3.1 °С) отмечен на глубине 3 м в разрезе буровой скв. 24. Подстилается гидрогенный талик в данном разрезе многолетнемерзлой толщей аллювия. Эта толща сложена преимущественно песками и в меньшей мере супесями, которые содержат лед-цемент. Температура мерзлого аллювия, вскрытого скважиной 24 на глубине 10 м, изменялась за 5 лет наблюдений от –0.1 до –0.3 °С.

К донной разновидности осадков культурного слоя в разрезе буровой скв. 24 относятся не только скопления торфа (к ним припаян покров озерного льда), но также илистый суглинок, который подстилает здесь торфяные скопления.

Мощность культурного слоя (сложенного торфом и илистым суглинком) определяется по химическому составу водной вытяжки грунтов, опробованных при проходке скв. 24 (см. табл. 6). Эти данные показывают, что все грунтовые пробы представлены практически незасоленным материалом. Для водной вытяжки его характерны сте-

пень засоленности менее 0.05 % и преимущественно гидрокарбонатно-натриевый состав.

В то же время отмечено относительно повышенное содержание антропогенных компонентов (катионы аммония и анионы нитратов) на глубине 3 м, можно предположить, что подошва донной разновидности культурного слоя залегает здесь на глубине около 3.5 м. Вероятно, толщина озерных техногенных осадков приблизительно равна мощности сезоннопромерзающего слоя в разрезе скв. 24.

Аналогичное строение свойственно донной разновидности отложений культурного слоя в разрезе буровой скв. 25.

Система геокриологического мониторинга на территории г. Якутска включает в себя пройденные с плавучего льда горные выработки, к которым, в частности, относится скв. 1.

Скважина 1 пройдена с плавучего льда в оз. Ытык-Кюель. Это бессточное озеро, уровень которого имеет абсолютную высоту около 95 м, находится в тыловом понижении поверхности сергеляхской террасы р. Лены и, вероятно, является старицей. Котловина ее неоднократно была местом несанкционированной свалки твердых бытовых отходов, а также сброса фекалий и загрязненных вод Якутской птицефабрики. В настоящее время техногенное загрязнение этого озера практически прекратилось.

Котловина оз. Ытык-Кюель расположена возле подножия крутого и высокого (100 м) уступа. Вдоль него урбанизированные ландшафты сергеляхской террасы граничат со среднетаежными ландшафтами увалистого плато.

Скважина 1, пройденная в оз. Ытык-Кюель в начале апреля 2009 г., вскрыла геокриологический разрез (сверху вниз), приведенный в табл. 8. Дан-

Таблица 8. Описание геокриологического разреза буровой скважины 1

Номер слоя	Глубина, м	Краткая характеристика пород
1	0–0.8	Лед озерный
2	0.8–1.4	Вода озерная
3	1.4–6.6	Суглинок темно-серый с горизонтальной и волнистой слоистостью за счет прослоев песка, талый
4	6.6–11.7	Песок серый с прослоями (2–3 мм) илов; в интервале глубин 8.5–8.8 м прослой темно-коричневого суглинка; грунт талый
5	11.7–15.2	Песчаник серый с тонкоплитчатой (1–3 см) отдельностью
6	15.2–22.2	Супесь серая с почти горизонтальной слоистостью; на глубине 16.0–16.2 и 16.5 м пятна углистого материала; имеются прослой суглинка (1–2 мм); глубже 20 м толщина подобных прослоев до 5 мм и они встречаются реже (с интервалом 1 см); грунт талый
7	22.2–22.5	Песок серый, мелкозернистый, талый
8	22.5–24.4	Суглинок серый с горизонтальной и волнистой слоистостью, талый
9	24.4–28.0	Чередование серой супеси и коричневого суглинка; слоистость наклонная; толщина прослоев от 1 до 10 мм; на глубине 25.9 м вкрапление светло-серых пятен песчаного состава диаметром 1–3 мм; грунт талый
10	28.0–29.25	Песок темно-серый, мелкий с наклонными прослоями темно-коричневого суглинка; толщина прослоев от 0.5 до 1.5 см
11	29.25–32.0	Супесь серая с прослоями коричневого суглинка; слоистость почти горизонтальная

ные о гранулометрическом составе и весовой влажности проб, отобранных в разрезе буровой скв. 1, представлены в табл. 3, 4.

В литологическом отношении разрез буровой скв. 1 подразделяется на три части. Одну из них в интервале глубин 11.7–32.0 м следует относить, вероятно, к донному криогенному элювию [Катасонов, 1961; Katasonov, 1969]. Здесь элювий состоит из оставшихся на месте продуктов разрушения подстилающих песчаников, алевролитов, аргиллитов и других мезозойских пород. По-видимому, их выветривание, происходившее в подводной обстановке, сопровождалось размоканием плотных пород. Этим можно объяснить значительную дисперсность и достаточно высокую влажность вскрытых здесь грунтов. Перекрыт донный криогенный элювий в данном разрезе отложениями русловой фации. Озерно-аллювиальные фации периодически проточной старицы в разрезе буровой скв. 1 представлены песками с прослоями илов и слоистыми песками (глубина 6.6–11.7 м).

Озерные фации бессточной старицы выделяются в верхней части разреза донных отложений оз. Ытык-Кюель. По керну скв. 1 они представлены легкими пылеватыми суглинками (интервал глубин 1.4–6.6 м). Вблизи поверхности дна эти суглинки содержат значительную примесь органики.

По результатам геотермических наблюдений, проведенных в буровой скв. 1, установлено существование гидрогенного, по-видимому замкнутого, талика под оз. Ытык-Кюель. Мощность его, судя по данным температурных измерений, составляет около 28 м (см. рис. 2, в). Температура пород верхней части гидрогенного талика на глу-

бине от поверхности дна 0.6 м в разные годы изменялась от 1.7 до 5.5 °С.

По имеющимся данным, озеро Ытык-Кюель – солоноватый бассейн. Воды его характеризуются степенью засоленности более 1 % (см. табл. 6), обладают континентальным типом засоления и гидрокарбонатно-магниевого минерализацией. Наличие катионов аммония и анионов нитратов в составе подледной и придонной пробы этих вод может свидетельствовать об их криогенной метаморфизации [Анисимова, 1981] и техногенном загрязнении.

Культурный слой на дне оз. Ытык-Кюель по разрезу скв. 1 имеет мощность 1.5 м и представлен пылеватыми суглинками. Их водная вытяжка характеризуется сульфатно-натриевым составом и степенью засоленности около 0.28 % (см. табл. 6).

Ограниченный объем настоящей статьи не позволяет привести в ней весь имеющийся материал о строении озерных осадков культурного слоя в границах г. Якутска. Следует лишь отметить, что, согласно этому материалу и некоторым литературным данным [Соловьев, 1975], такие отложения образуются не только в гидрогенных таликах, но и в смежной с ними береговой зоне загрязненных человеком озер. Эта зона состоит из природно-территориальных геокриологических комплексов двух типов. К первому относятся криогенные ландшафты, отличающиеся наличием в них сезоннопротаивающего слоя [Федоров и др., 1989]. Второй тип природных комплексов береговой зоны тех же озер представлен так называемыми паракриогенными ландшафтами. В отличие от криогенных ландшафтов, они характеризуются образованием в них сезоннопромерзающего слоя.

ВЫВОДЫ

1. Отложения культурного слоя имеют широкое распространение и являются достаточно представительной частью урбанизированных экосистем исследуемой территории криолитозоны.

2. Строение культурного слоя этой территории определяется наличием в нем не только субаэральные фаций [Салтыков, 1946; Мельников, 1950; Макаров, Торговкин, 2018], но и озерных отложений.

3. Озерные фации культурного слоя криолитозоны характеризуются значительным разнообразием в геокриологическом отношении. Иногда они формируются в мокроморозной толще. Другие разрезы показывают, что озерные отложения культурного слоя являются сезоннопромерзающими образованиями. Полученные результаты свидетельствуют о том, что местами озерные фации культурного слоя имеют положительную температуру и принадлежат к осадкам, венчающим разрезы гидрогенных таликов рассматриваемой территории.

4. Озерные отложения культурного слоя криолитозоны часто имеют повышенную влажность (льдиность), поэтому представляют собой арену развития опасных инженерно-геологических процессов (морозное пучение, крип, морозобойное трещинообразование, просадка при оттаивании и др.).

5. Геокриологическая специфика урбанизированных ландшафтов исследуемой территории определяется наличием в них техногенных осадков; отчасти эти осадки принадлежат к озерным фациям культурного слоя.

6. Представленные в статье материалы о культурном слое следует учитывать при проектировании и строительстве объектов инженерной инфраструктуры, а также при решении экологических и природоохранных задач на территории г. Якутска.

Литература

Анисимова Н.П. Криогидрогеохимические особенности мерзлой зоны. Новосибирск, Наука, 1981, 153 с.

Анисимова Н.П. Гидрогеохимические исследования криолитозоны Центральной Якутии / Н.П. Анисимова, Н.А. Павлова. Новосибирск, Академ. изд-во "Гео", 2014, 189 с.

Каздым А.А. Техногенные отложения древних и современных урбанизированных территорий. Палеоэкологический аспект. М., Наука, 2006, 158 с.

Катасонов Е.М. Исследование состава и криогенного строения многолетнемерзлых горных пород // Полевые геокриологические (мерзлотные) исследования: Метод. руководство. М., Изд-во АН СССР, 1961, с. 69–88.

Катасонов Е.М. Закономерности развития криогенных явлений // Актуальные вопросы советской географической науки. М., Наука, 1972, с. 28–35.

Костюкевич В.В., Днепровская О.А. Радиоуглеродные данные лаборатории геохимии мерзлой зоны Института

мерзлотоведения СО АН СССР. Сообщение IX // Бюл. Комиссии по изучению четвертичного периода, 1988, № 57, с. 143–145.

Костюкевич В.В., Днепровская О.А. Радиоуглеродные данные лаборатории геохимии Института мерзлотоведения СО АН СССР. Сообщение X // Бюл. Комиссии по изучению четвертичного периода, 1990, № 59, с. 180–182.

Леггет Р. Города и геология: Пер. с англ. М., Мир, 1976, 560 с.

Макаров В.Н. Экогеохимия городских озер Якутска / В.Н. Макаров, А.Л. Седелникова. Якутск, ИМЗ СО РАН, 2016, 210 с.

Макаров В.Н., Торговкин Н.В. Геохимические особенности техногенных отложений в городе Якутске // Криосфера Земли, 2018, т. XXII, № 3, с. 27–39.

Мартьянов А.И. Археология. М., Высш. шк., 2005, 447 с.

Мельников П.И. Вечная мерзлота в районе Якутска // Исследование вечной мерзлоты в Якутской Республике. М., Изд-во АН СССР, 1950, вып. 2, с. 53–70.

Роман Л.Т., Аксенов В.И., Иоспа А.В. Классификация мерзлых грунтов // Материалы Четвертой конф. геокриологов России (Москва, 7–9 июня 2011 г.). М., Унив. книга, 2011, т. 1, с. 118–124.

Саваренский Ф.П. Строительство Москвы и ее геология (1937) // Избр. сочинения. М.; Л., Изд-во АН СССР, 1950, с. 374–380.

Салтыков Н.И. О фундаментах зданий г. Якутска // Труды ИНМЕРО. М.; Л., Изд-во АН СССР, 1946, т. I, с. 102–136.

Соловьев П.А. Криолитозона северной части Лено-Амгинского междуречья. М., Изд-во АН СССР, 1959, 144 с.

Соловьев П.А. Классификация типов сезонного промерзания и протаивания в геолого-географическом аспекте // Региональные и тематические геокриологические исследования. Новосибирск, Наука, 1975, с. 86–98.

Соловьев П.А. Антропогенные факторы эволюции рельефа котловины оз. Сайсары в г. Якутске // Устойчивость поверхности к техногенному воздействию в области вечной мерзлоты. Якутск, ИМЗ СО РАН, 1980, с. 127–135.

Толстухин Н.И. Терминология. Предмет. Метод. Место мерзлотоведения среди других наук // Общее мерзлотоведение. Новосибирск, Наука, 1974, с. 5–14.

Федоров А.Н., Ботулу Т.А., Варламов С.П. и др. Мерзлотные ландшафты Якутии (Пояснит. записка к "Мерзлотно-ландшафтной карте Якутской АССР" м-ба 1:12 500 000). Новосибирск, ГУГК, 1989, 170 с.

Харламьева П.И., Николаева М.В. Озеро Сайсары как культурно-ландшафтная зона рекреации // Успехи соврем. естествознания, 2014, № 8, с. 54–55.

Швецов П.Ф. Основные понятия и определения // Основы геокриологии (мерзлотоведения). Ч. I. Общая геокриология. М., Изд-во АН СССР, 1959, с. 7–19.

Katsonov E.M. The typical features of cryogenic eluvium on slopes // Biuletyn Peryglacjalny. Lodz, 1969, p. 11–14.

References

Anisimova N.P. Kriogidrogeokhicheskie osobennosti merzloy zony [Cryohydrogeochemistry of the Frozen Zone]. Novosibirsk, Nauka, 1981, 153 p. (in Russian).

Anisimova N.P., Pavlova N.A. Hidrogeokhicheskie issledovaniya kriolitozony Tsentralnoi Yakutii [Hydrogeochemical Studies of Permafrost in Central Yakutia]. Novosibirsk, Academic Publishing House "Geo", 2014, 189 p. (in Russian).

- Kazdym A.A. The Technogenic Deposits of Ancient and Modern Urban Areas. The Paleoenvironmental Aspect. Moscow, Nauka, 2006, 158 p. (in Russian).
- Katasonov E.M. Investigation of permafrost composition and cryogenic structure. In: Polevye geokriologicheskie (merzlotnye) issledovaniya [Field Geocryological (Permafrost) Investigations: Methodological Guidelines]. Moscow, Izd-vo AN SSSR, 1961, p. 69–88 (in Russian).
- Katasonov E.M. Patterns of development of cryogenic phenomena. In: Aktualnye voprosy sovetskoj geograficheskoi nauki [Current Issues of the Soviet Geographical Science]. Moscow, Nauka, 1972, p. 28–35 (in Russian).
- Kostyukovich V.V., Dneprovskaya O.A. Radiocarbon data from the Laboratory of Frozen Zone Geochemistry, Permafrost Institute, Sib. Branch USSR Acad. Sci. Report. Bulletin Komissii po izucheniyu Chetvertichnogo perioda [Bull. Quaternary Research Commission], 1988, No. 57, p. 143–145 (in Russian).
- Kostyukovich V.V., Dneprovskaya O.A. Radiocarbon data of the Geochemistry Laboratory of the Permafrost Institute, Siberian Branch of the USSR Academy of Sciences. Communication X. Bulletin Komissii po izucheniyu Chetvertichnogo perioda [Bull. Quaternary Research Commission], 1990, No. 59, p. 180–182 (in Russian).
- Legget R. Cities and Geology. New York, McGraw-Hill Book Company, 1973, 560 p.
- Makarov V.N., Sedelnikova A.L. Ekogeochemiya gorodskikh ozer Yakutska [Ecogeochemistry of the Urban Lakes of Yakutsk]. Yakutsk, Izd-vo IMZ SO RAN, 2016, 210 p. (in Russian).
- Makarov V.N., Torgovkin N.V. The geochemistry of anthropogenic deposits in Yakutsk. Earth's Cryosphere, 2018, vol. XXII, No. 3, p. 24–35.
- Martynov A.I. Arkheologia [Archeology]. Moscow, Vysshaya Shkola, 2005, 447 p. (in Russian).
- Melnikov P.I. Permafrost in the Yakutsk area. In: Issledovanie vechnoi merzloty v Yakutskoi Respublike [Permafrost Studies in the Yakutian Republic]. Moscow, Izd-vo AN SSSR, 1950, issue 2, p. 53–70 (in Russian).
- Roman L.T., Aksenov V.I., Iospa A.V. Classification of frozen soils. In: Proceedings of the Fourth Conference of Russian Geocryologists (Moscow, June 7–9, 2011). Moscow, Universitetskaya Kniga, 2011, vol. 1, p. 118–124 (in Russian).
- Savarensky F.P. Construction of Moscow and its geology (1937). Izbrannye Sochineniya [Selected Works]. Moscow; Leningrad, Izd-vo AN SSSR, 1950, p. 374–380 (in Russian).
- Saltykov N.I. About building foundations in Yakutsk. Trudy INMERO [Proceedings of the Obruchev Institute of Permafrost Studies]. Moscow; Leningrad, Izd-vo AN SSSR, 1946, p. 102–136 (in Russian).
- Soloviev P.A. Kriolitozona severnoi chasti Leno-Amginskogo mezhdurechia [Permafrost in the northern part of the Lena-Amga interfluve]. Moscow, Izd-vo AN SSSR, 1959, 144 p. (in Russian).
- Soloviev P.A. Classification of the types of seasonal freezing and thawing in geological and geographical aspects. In: Regionalnye i tematicheskie geokriologicheskie issledovaniya [Regional and Thematic Geocryological Studies]. Novosibirsk, Nauka, 1975, p. 86–98 (in Russian).
- Soloviev P.A. Anthropogenic factors in the landform evolution of Saisar Lake, Yakutsk. In: Ustoichivost' poverkhnosti k tekhnogennomu vozdeistviyu v oblasti vechnoi merzloty [Surface Resistance to the Anthropogenic Impact in the Permafrost Region]. Yakutsk, IMZ SO RAN, 1980, p. 127–135 (in Russian).
- Tolstikhin N.I. The terminology, subject, method, and place of the permafrost science among other disciplines. In: Obshchee merzlotovedenie [General Geocryology]. Novosibirsk, Nauka, 1974, p. 5–14 (in Russian).
- Fedorov A.N., Botulu T.A., Varlamov S.P. et al. Permafrost Landscapes in Yakutia (The explanatory note to the Permafrost-Landscape Map of the Yakutian ASSR at a 1:2,500,000 scale). Novosibirsk, GUGK, 1989, 170 p. (in Russian).
- Kharlampyeva P.I., Nikolaeva M.V. Saisary Lake as a cultural-landscape recreation area. Uspekhi Sovremennogo Estestvoznaniya, 2014, No. 8, p. 54–55 (in Russian).
- Shvetsov P.F. Basic concepts and definitions. In: Osnovy geokriologii (merzlotovedeniya) [Fundamentals of Geocryology (Permafrost Science)]. Part I. General Geocryology]. Moscow, Izd-vo AN SSSR, 1959, p. 7–19 (in Russian).
- Katasonov E.M. The typical features of cryogenic eluvium on slopes. In: Biuletyn Peryglacjalny. Lodz, 1969, p. 11–14.

*Поступила в редакцию 15 мая 2015 г.,
после доработки – 12 марта 2019 г.,
принята к публикации 10 апреля 2019 г.*