

Арктика и Антарктика

Правильная ссылка на статью:

Васильчук Ю.К., Васильчук Д.Ю., Гинзбург А.П. — Криогенные почвы в районе Батагайского мегаоврага, север Якутии // Арктика и Антарктика. – 2020. – № 3. DOI: 10.7256/2453-8922.2020.3.33599 URL: https://nbpublish.com/library_read_article.php?id=33599

Криогенные почвы в районе Батагайского мегаоврага, север Якутии

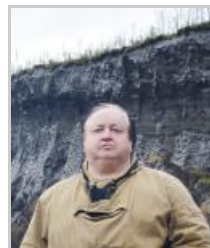
Васильчук Юрий Кириллович

доктор геолого-минералогических наук

профессор, Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова (МГУ)

119991, Россия, г. Москва, ул. Ленинские Горы, 1, оф. 2009

✉ vasilch_geo@mail.ru



Васильчук Джессика Юрьевна

младший научный сотрудник, Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра геохимии ландшафтов и географии почв

119991, Россия, Leninsky Gory область, г. Moscow, ул. Leninsky Gory, 1, оф. 2007

✉ jessica.vasilchuk@gmail.com



Гинзбург Александр Павлович

инженер, Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, географический факультет, кафедра геохимии ландшафтов и географии почв

119991, Россия, Leninsky Gory область, г. Moscow, ул. Leninsky Gory, 1, оф. 2007

✉ alexandrginzburg13154@yandex.ru



[Статья из рубрики "Почвы холодных равнинных и горных регионов"](#)

DOI:

10.7256/2453-8922.2020.3.33599

Дата направления статьи в редакцию:

03-08-2020

Аннотация.

Предметом исследования являются почвы и почвенные катены в районе Батагайского мегаоврага, располагающегося в Верхоянском районе на севере Якутии. Почвы представлены светлоселами и мерзлотными подбурями, которые сформированы на элювиальных и элюво-делювиальных отложениях под лиственничниками. Исследование почв выполнялось в 2017, 2018 и 2019 гг. Выше по склону от Батагайского мегаоврага заложена почвенно-геохимическая катена, включавшая привершинную поверхность

склона горы Киргиллях, среднюю часть склона, а также выровненные поверхности вблизи Батагайского оврага. Типы почв приведены в соответствии с классификацией почв России (2004) и Мировой реферативной базой почвенных ресурсов WRB (2014WRB). Основными выводами проведенного исследования являются: 1). Почвенный покров в районе Батагайского мегаоврага представлен различными типами почв, формирующихся на многолетнемерзлых породах, в основном это светлосырые глееватые (Cryosols Gleyic), встречающиеся в разнообразных ландшафтных условиях, также островное распространение в районе имеют подбуры иллювиально-железистые (Podzols Entic). На аллювиальных отложениях в долине р. Батагайки (в автономных позициях) могут развиваться подзолы иллювиально-железистые (Podzols Haplic) и светлосырые мерзлотные. а к повышениям рельефа с близким к поверхности залеганием коренных пород приурочены слаборазвитые почвы (Leptosols Lithic); 2). Основными процессами характерными для почв в районе Батагайского мегаоврага являются: криогенное оструктурирование, подстилкообразование, грубогумусово-аккумулятивный процесс, альфегумусовый процесс и оглеение; 3). Вблизи горизонта многолетнемерзлых пород у Батагайского мегаоврага отмечен локальный минимум значений pH как в подбурах, так и в светлосырых.

Ключевые слова: петрозем, глеезем мерзлотный, подбур мерзлотный, микроэлементы, тяжелые металлы, генетические горизонты почв, глеево-сорбционный барьер, Батагайский мегаовраг, Верхоянский район, Якутия Саха

Работа выполнена в рамках проекта:

Природные и антропогенные изменения ландшафтно-геохимических и почвенных систем (ГЗ) (госбюджет, раздел 0110, номер I.4., номер ЦИТИС АААА-А16- 116032810057-4)

Введение

Район посёлка Батагай расположен в тектонической Верхоянской антиклинальной зоне, краевой структуре Верхояно-Колымской складчатой области. На изучаемой территории распространены термокарстовые и криогенные формы рельефа, среди которых выделяется Батагайский овраг, являющийся наиболее крупной термокарстовой котловиной в Северном полушарии [\[1\]](#), а его обнаженные стенки (60-90°), имеющие высоту 70-100 м, считаются самым высоким обнажением сингенетических повторно-жильных льдов на Земле [\[2\]](#).

Изучение почвенного покрова вблизи Батагайского оврага имеет прикладное и важное общенаучное значение: 1). Это необходимо для понимания доли участия почв в сложении ледяных жил, вскрытых Батагайским мегаоврагом; 2). Интересно понять влияет ли развитие едомы на почвенный покров окружающего пространства. В связи с этим следует учитывать, что позднеплейстоценовые ледяные жилы подходят практически к подошве деятельного слоя, т.е. существенного сноса вещества с поверхности едомы с конца плейстоцена не происходило. Значит голоценовое почвообразование наследовало позднеплейстоценовые почвы и полностью их трансформировало.

Объект исследования и природные условия

Батагайский мегаовраг (67°34'49" с.ш., 134°46'19" в.д.), иногда называемый провалом или кратером, сформировался на склоне холма между горами Киргиллях и Хатыннах примерно за 60 лет [\[3\]](#). В 1960-х годах в 21 км от пос. Батагай (17 км по шоссе и около 4 км по тропе) был обнаружен небольшой овраг, имевший ширину 1,5 м и глубину 5 м [\[4\]](#).

С 1970-х провал начал стремительно увеличиваться в размерах [5] и в настоящее время булавовидная эрозионная форма имеет следующие размеры: площадь 81 га, длину более 1000 м, ширину около 800 м [1]. Главным рельефообразующим процессом в котловине Батагайского мегаоврага является термокарст [5], который усиливается вытаяванием ледового комплекса в тёплые сезоны года, при котором талые воды выносятся в р. Батагайку, а взвешенные в этих водах в большом количестве частицы оттаявших грунтов аккумулируются в днище котловины Батагайского мегаоврага, образуя там грядово-холмистый рельеф с различными высотами [1].

Существуют несколько версий того, как именно возник Батагайский мегаовраг. Со слов местных жителей, этому способствовали следующие события:

Произведённая в 1960-х годах на месте будущего оврага вырубка участка леса и, как следствие, значительное нарушение почвенно-растительного покрова и термического режима грунтов.

Случившийся в 1970-х годах природный пожар, приведший к просадке грунта, размытой водой из ручья. Вследствие этого интенсифицировалось оврагообразование, а затем началась деградация ледового комплекса [1].

Есть версия происхождения котловины Батагайского мегаоврага, согласно которой вблизи этого места располагался оловянный рудник, впоследствии заброшенный. В Верхоянском районе находятся месторождения олова, сурьмы, золота, серебра, вольфрама, меди, РЗЭ и др. минеральных ресурсов [6,7], активная добыча которых ведётся с 1940-х годов [8,9]. Основание посёлка Батагай в 1939 было напрямую связано со строительством на берегу р. Яны [в 4,5 км от впадения в неё р. Батагайки) Батагайской обогатительной фабрики, которая с 1940-х годов считалась флагманом всей оловодобывающей промышленности в СССР и обрабатывала оловянную руду, добываемую на многих окрестных рудниках, вплоть до 1973 г. [9]. Заложение рудника в многолетнемёрзлых породах привело к нарушению их термического режима и началу термоэрозионной деградации.

Высота поверхности мегаоврага над уровнем моря составляет 325 м, а стенки оврага представляют собой обнажения, высота которых варьирует от 50 до 85 м [3]. Разрез стенки провала состоит из двух контрастных толщ рыхлых отложений различного состава: верхняя толща – суглинистая (всего 4 пачки), расчленённая слоистыми супесями, высокольдистая; нижняя толща – желтовато-серая мелкозернисто-песчаная, подстилаемая тёмно-серыми песками, с массивной криогенной текстурой [5]. Рыхлые отложения Батагая подстилаются коренными породами триасового возраста Ладинского яруса (песчаниками, алевролитами и конгломератами), а четвертичный чехол представлен нерасчленёнными элювиальными отложениями в виде песчаных и глинистых алевролитов со щебнем [1]. С поверхности до глубины примерно 75 м стенки оврага вскрывают три яруса ледяных жил: верхний (320-315 м абсолютной высоты, возможно, простирающийся до 290 м), средний (290-260 м) и нижний ярусы (260-245 м). Головы ледяных жил иногда залегают практически у поверхности [10], часто глубина залегания повторно-жильных льдов составляет 1,7 м [11]. Между головами ледяных жил наблюдаются разделяющие их грунтовые полигоны шириной 1,5-3 м.

Возраст верхних 10 м отложений, вскрытых стенкой Батагайского мегаоврага, по данным Ю.К. Васильчука и Дж.Ю.Васильчук [10] составляет 27-34 тысячи лет. К. Ашатиной [12] с

соавторами было установлено, что верхние 20 м отложений Батагайского оврага характеризуются возрастом от 24,8 до 38,3 тысяч лет. На глубинах 14,8 м, 27,4 м и 12,8 м Ю.К.Васильчуком и др. [13] был определён радиоуглеродный возраст органики в ледяных жилах Батагайской едомы, значения которого были больше 49 998, 55 000 и 47 019 лет, соответственно.

Климат

Климат района, где расположен посёлок Батагай, относится к субарктическому климатическому поясу, в котором летом преобладают умеренные, а зимой – арктические воздушные массы [14]. Для него характерны продолжительные экстремально холодные зимы и короткие прохладные лета. На метеостанции Батагай (67,65° с.ш., 134,60° в.д., высота над уровнем моря – 214 м) в период с 1949 по 2020 среднегодовые температуры воздуха принимали значения от – 16,4 до – 11,4°C (табл. 1). Наиболее холодным месяцем в течение года является январь, средняя температура которого опускается до – 50,9°C (1982 г.) (рис. 1, а) [15], а наиболее тёплым месяцем – июль, средние температуры которого за период наблюдений принимали значения около 13,0– 15,0°C с максимумом 21,9°C (2000 г.) (рис. 1, б). За последние 20 лет (2000 – 2020 гг.) среднемесячная температура воздуха в Батагае варьировала от – 50,9 до 21,9°C. Графики хода среднемесячной температуры за последние 20 лет имели однообразные формы из года в год (рис. 1, в). По данным 1989 года, сумма температур выше 0°C за год в Батагае составляет 1383°C, а сумма температур выше 10°C = –1085°C. Положительная температура воздуха, как правило, устанавливается около 22 мая, а безморозный период продолжается в течение 109 дней. Сумма отрицательных температур в течение года составляет –6401°C, а сумма температур ниже 10°C достигает –6203°C [16].

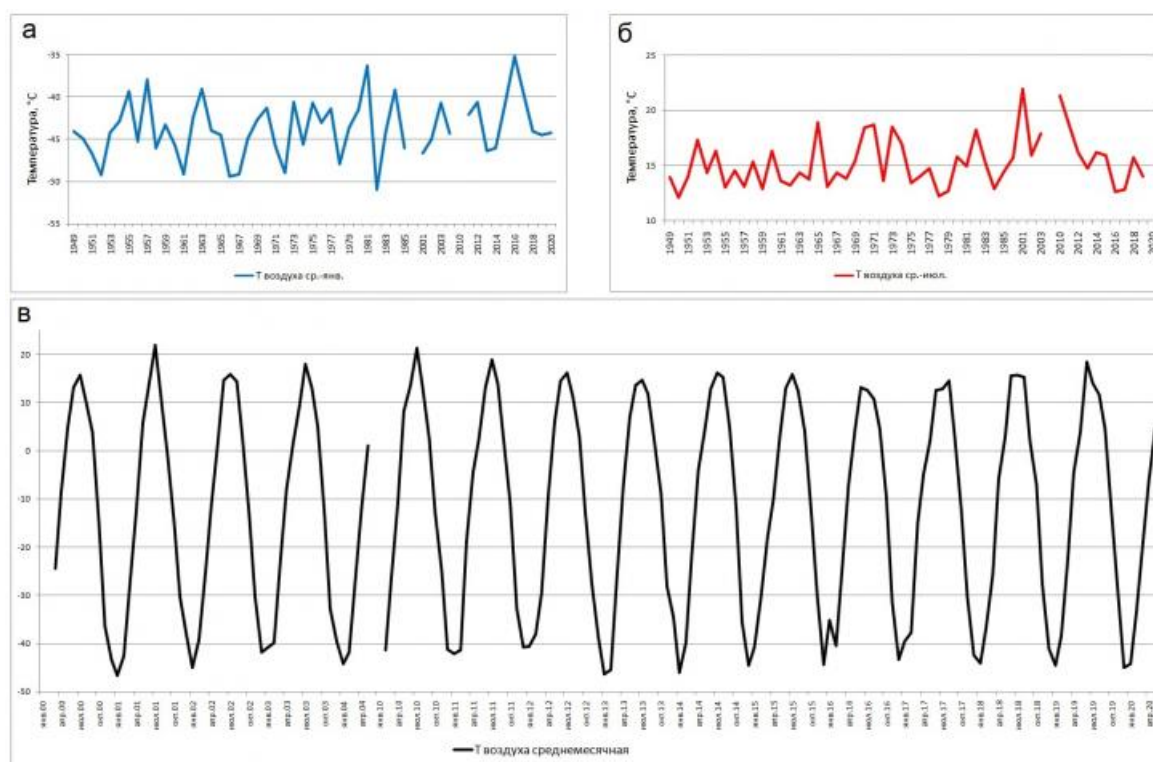


Рис. 1. Среднеянварская (а) и среднеиюльская (б) температура воздуха в Батагае в период с 1949 по 2020 гг. и среднемесячная температура воздуха (в) в период с 2000 по 2020 гг. Примечание: разрывы линий означают отсутствие данных

Таблица 1. Средняя месячная и годовая температура (в °С) воздуха в пос. Батагай. По данным из [\[17\]](#)

Год	Янв	Фев	Мар	Апр	Май	Июн	Июл	Авг	Сен	Окт	Ноя	Дек	За год
1949	- 44,1	- 35,7	- 25,2	-8,9	3,1	12,5	13,9	10,1	5,4	-7,3	- 36,1	- 40,1	- 12,7
1950	- 44,9	- 42,5	- 27,5	- 13,4	-1,2	10,4	12,1	7,8	0,4	- 13,8	- 38,1	- 45,8	- 16,4
1951	- 46,6	- 41,0	- 28,7	- 14,7	1,4	11,4	14,0	13,6	4,1	-9,9	- 29,3	- 36,1	- 13,5
1952	- 49,2	- 43,6	- 22,3	- 12,6	0,4	10,1	17,3	13,7	2,9	- 16,4	- 39,4	- 42,0	- 15,1
1953	- 44,2	- 41,8	- 20,6	- 11,9	5,9	11,6	14,3	10,2	3,9	- 11,1	- 33,7	- 39,0	- 13,0
1954	- 42,9	- 35,1	- 23,9	-9,4	- 0,7	12,8	16,3	10,5	0,7	-9,5	- 35,1	- 42,2	- 13,2
1955	- 39,3	- 40,3	- 32,0	- 15,9	2,9	12,9	13,0	12,9	2,3	- 11,9	- 33,1	- 43,0	- 14,3
1956	- 45,3	- 37,5	- 24,7	- 17,8	0,2	16,9	14,5	9,5	3,4	- 17,4	- 31,2	- 39,1	- 14,0
1957	- 38,0	- 40,5	- 27,7	- 10,7	3,0	12,6	13,1	10,4	0,6	- 17,7	- 36,3	- 34,9	- 13,8
1958	- 46,0	- 40,1	- 32,2	- 13,5	- 0,1	9,3	15,3	13,5	4,6	- 13,3	- 42,8	- 45,3	- 15,9
1959	- 43,3	- 36,5	- 18,1	- 12,5	3,6	13,8	12,9	10,6	4,4	- 12,5	- 31,1	- 47,0	- 13,0
1960	- 45,7	- 41,5	- 25,3	- 11,3	2,6	13,9	16,3	10,2	1,4	- 16,6	- 30,8	- 44,4	- 14,3
1961	- 49,1	- 37,0	- 29,1	- 16,0	-0,1	14,6	13,6	9,4	4,5	- 13,5	- 32,3	- 36,9	- 14,3
1962	- 42,4	- 40,2	- 27,4	- 10,0	3,2	9,7	13,2	11,4	0,4	-9,9	- 35,5	- 44,6	- 14,3
1963	- 39,1	- 31,2	- 22,7	- 13,6	-3,8	10,2	14,3	11,8	2,8	- 13,0	- 29,6	- 37,0	- 12,6
1964	- 44,0	- 34,0	- 23,1	- 12,6	0,3	15,3	13,7	10,1	0,2	- 15,3	- 39,5	- 42,7	- 14,3
1965	- 44,5	- 43,1	- 25,5	- 13,1	0,0	12,7	18,9	10,7	5,4	- 12,0	- 34,8	- 46,9	- 14,4
1966	- 49,4	- 46,7	- 30,0	- 15,2	4,5	14,0	13,1	12,9	2,4	- 12,1	- 33,1	- 41,8	- 15,1
1967	- 49,1	- 41,0	- 27,5	- 13,0	2,2	13,2	14,3	10,1	3,4	- 11,3	- 30,9	- 44,5	- 14,5
1968	- 44,9	- 31,5	- 19,8	-5,9	1,9	13,9	13,8	11,4	3,0	- 11,7	- 38,1	- 38,7	- 12,2
1969	- 42,7	- 45,8	- 29,6	- 14,1	0,9	13,8	15,4	13,1	1,2	- 14,0	- 35,3	- 39,2	- 14,7
	-	-	-	-						-	-	-	-

1970	41,3	40,5	27,7	14,7	-0,8	11,7	18,4	8,8	4,3	15,4	33,3	40,2	14,2
1971	-	-	-	-	5,2	11,3	18,7	12,4	5,9	-9,0	-	-	-
	45,9	40,6	26,3	12,8							32,0	41,8	12,9
1972	-	-	-	-9,9	3,0	10,1	13,6	8,1	3,0	-8,6	-	-	-
	49,0	42,3	24,7								39,0	38,8	14,5
1973	-	-	-	-	6,2	13,8	18,5	11,9	3,4	-	-	-	-
	40,6	35,6	26,3	13,1							11,8	34,8	43,1
1974	-	-	-	-8,4	3,9	12,5	17,0	11,7	2,2	-	-	-	-
	45,6	42,5	25,4								13,9	38,4	45,0
1975	-	-	-	-	6,0	15,3	13,4	10,6	1,9	-9,8	-	-	-
	40,7	38,6	20,2	10,3							26,3	33,1	11,0
1976	-	-	-	-6,7	3,2	11,7	14,0	10,8	2,8	-	-	-	-
	43,0	41,9	27,9								15,1	33,6	43,2
1977	-	-	-	-8,8	4,7	14,1	14,7	9,3	1,0	-	-	-	-
	41,4	41,8	29,2								17,3	35,4	42,6
1978	-	-	-	-	-2,2	12,2	12,2	11,4	3,0	-	-	-	-
	47,9	36,2	21,0	10,4							11,5	27,2	37,7
1979	-	-	-	-	1,6	11,2	12,7	8,8	0,3	-	-	-	-
	43,6	40,5	29,9	14,7							16,8	39,0	35,5
1980	-	-	-	-	2,5	11,1	15,8	14,4	3,9	-	-	-	-
	41,5	38,3	28,8	14,8							12,8	37,3	39,0
1981	-	-	-	-9,9	3,4	12,8	14,9	12,5	0,5	-	-	-	-
	36,3	34,5	26,6								13,3	34,8	35,7
1982	-	-	-	-8,3	-0,6	10,5	18,2	10,7	4,3	-	-	-	-
	50,9	39,6	29,2								16,3	42,1	44,5
1983	-	-	-	-	3,9	13,8	15,2	13,9	5,4	-	-	-	-
	44,2	37,5	24,9	14,1							13,8	24,7	39,3
1984	-	-	-	-8,6	4,8	9,5	12,9	8,0	- 0,9	-	-	-	-
	39,2	42,5	27,3								14,4	32,0	42,2
1985	-	-	-	-	2,3	12,1	14,4	9,5	3,6	-	-	-	-
	46,0	31,6	24,5	11,0							14,8	30,3	37,4
2000	нд	нд	-	-8,6	4,8	13,2	15,7	10,3	3,8	-	-	-	нд
			24,4								15,4	36,4	43,3
2001	-	-	-	-	5,8	13,3	21,9	9,6	-1,0	-	-	-	-
	46,6	42,6	26,4	12,5							15,0	30,4	38,3
2002	-	-	-	-	1,8	14,7	15,9	14,4	2,1	-	-	-	-
	45,0	39,3	25,2	11,4							13,5	30,4	41,9
2003	-	-	-	-8,1	1,3	9,4	17,9	13,0	5,0	-	-	-	-
	40,7	39,8	22,3								12,7	32,8	39,5
2004	-	-	-	-	1,1	нд	нд	нд	нд	нд	нд	нд	нд
	44,3	41,8	25,9	12,1									
2010	нд	-	-	-	8,2	13,5	21,3	13,0	2,4	-	-	-	нд
		41,3	26,3	10,6							12,8	24,9	41,2
2011	-	-	-	-4,5	2,4	13,2	18,8	13,9	0,8	-	-	-	-
	42,1	41,4	18,9								10,9	32,7	40,7
2012	-	-	-	-9,7	6,0	14,5	16,2	11,2	2,8	-	-	-	-
	40,6	38,0	29,6								12,9	27,7	38,8

2013	-	-	-	-7,6	7,0	13,6	14,7	11,8	1,7	-9,0	-	-	-
	46,4	45,5	27,2								28,1	34,6	12,5
2014	-	-	-	-4,1	4,4	12,9	16,2	15,2	4,8	-	-	-	-
	46,0	39,9	21,8							12,0	35,5	44,6	12,5
2015	-	-	-	-	3,1	13,0	15,9	12,4	4,1	-	-	-	-
	40,8	30,4	17,9	10,1						12,8	29,8	44,4	11,5
2016	-	-	-	-7,3	4,4	13,2	12,6	10,7	4,5	-9,7	-	-	-
	35,2	40,4	23,2								31,4	43,4	12,1
2017	-	-	-	-4,8	2,1	12,5	12,8	14,5	2,5	-	-	-	-
	39,5	37,7	14,9							12,7	30,2	42,5	11,5
2018	-	-	-	-5,9	2,9	15,5	15,7	15,2	2,0	-7,1	-	-	-
	44,1	36,5	25,7								27,8	41,0	11,4
2019	-	-	-	-4,5	3,8	18,4	14,0	11,6	4,5	-	-	-	-
	44,5	38,4	22,3							13,0	30,1	45,0	12,1
2020	-	-	-	-6,3	4,7	нд	нд	нд	нд	нд	нд	нд	нд
	44,2	33,5	19,0										

Примечание: «нд» в таблице означает - нет данных

Среднегодовое количество осадков составляет около 194 мм/год. Самыми сухими месяцами, для которых характерно количество осадков, равное примерно 5 мм/мес, считаются январь, февраль и март. Большая же часть осадков выпадает в июле – в среднем до 37 мм. В зимний период преобладают ветры юго-западного направления, а в летний – северные и северо-восточные ветры [16].

Почва на метеостанции Батагай имеет песчаный гранулометрический состав. Усреднённые температуры приземного слоя атмосферного воздуха практически равны температурам на поверхности почвы, которые были измерены на метеостанции Батагай (рис. 2). В ноябре-апреле температуры воздуха и поверхности почвы совпадают, однако, с мая по октябрь поверхность почвы прогревается в среднем на 4-7°C сильнее, чем окружающий воздух [16].

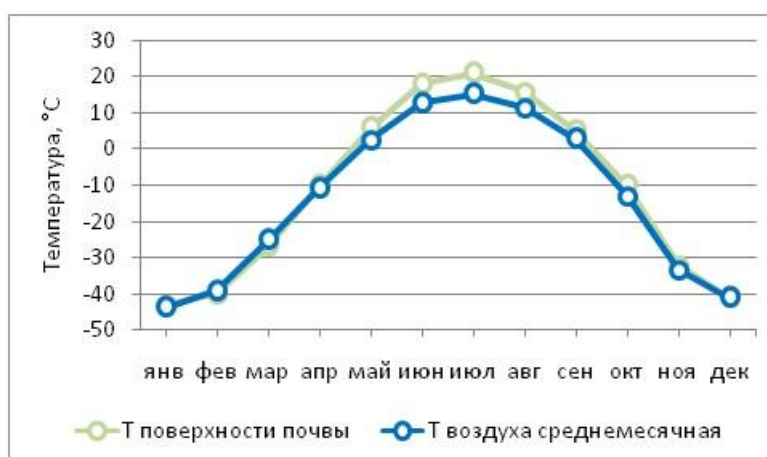


Рис. 2. Средняя температура поверхности почвы и среднемесячная температура воздуха в Батагае в период с 1949 по 2020 гг.

Среднегодовая температура почв (в период с 1961 по 1990 гг.) разного гранулометрического состава падает с глубиной, максимальная температура отмечается в верхних горизонтах (около 16-17°C), далее происходит уменьшение температуры почти на 20°C (до -5 - -10°C). Исключением из данной тенденции является температура

торфяных почв, для которой в течение летних периодов с 1961 по 1990 гг. характерно снижение температур от 10,5°C до -14,7°C, причём минимальная температура наблюдается не на самой большой глубине, а на глубине 160 см. Глубина горизонтов, на которых температура торфяных почв ниже 0°C, равна примерно 60 см, а для почв другого гранулометрического состава эта глубина больше – она составляет примерно 240 см (рис. 3).

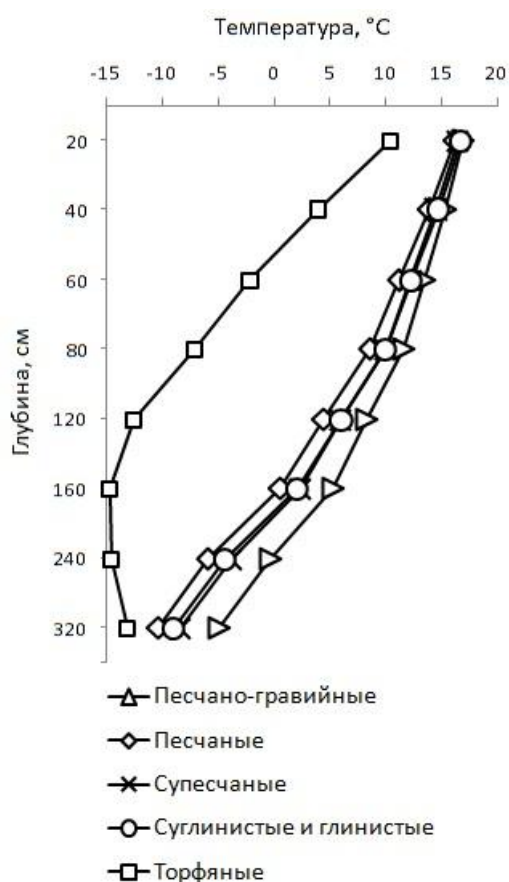


Рис. 3. Среднегодовая температура почв различного гранулометрического состава на глубинах в Батагае. По данным из [18]

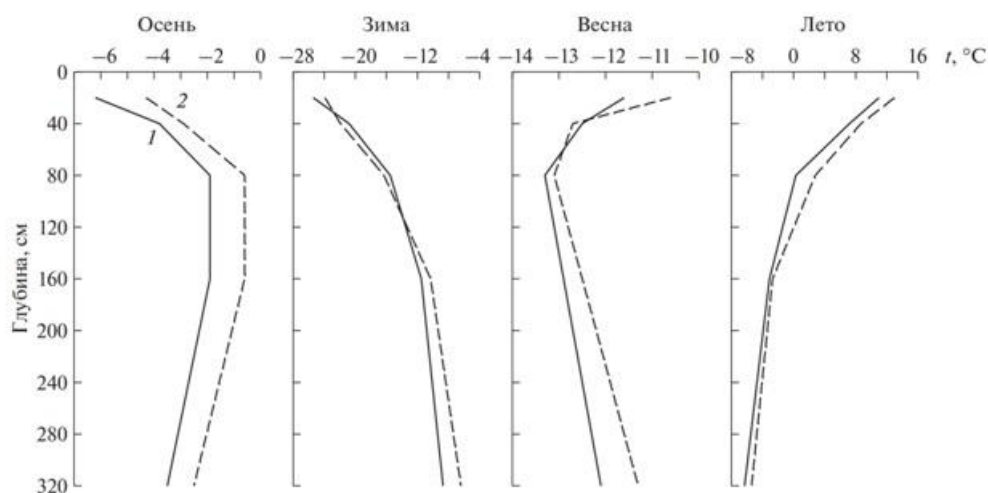


Рис. 4. Средняя температура песчаных почв в Верхоянске на глубинах: 1 – климатическая норма (1961-1990 гг.); 2 – средняя температура за 2001-2010 гг. [19]

В расположенном в 53 км от Батагая Верхоянске была измерена средняя температура

почв на глубинах от 20 до 320 см по сезонам [19]. Зимняя температура почв в Верхоянске характеризуется значениями около -24°C , а постоянно возрастает до глубины 320 см, где составляет примерно -8°C (рис. 4). Зимняя температура в течение периода с 2001 по 2010 гг. примерно совпадает с климатической нормой. Летняя температура, значения которой от 12°C (20 см) до -8°C (320 см), также схожи с климатическими нормами 1961-1990 гг. Средняя температура за весенний и осенний периоды 2001-2010 отличается от климатических норм второй половины 20-ого века: температура почв в осенний период превышает климатическую норму на 1°C в среднем, а весной на глубинах 20 и 120-320 см превышает климатическую норму на $0,5-1,0^{\circ}\text{C}$ [19].

Местоположение и геокриологические условия

Посёлок Батагай расположен в одном из наиболее крупных районов (улусов) Якутии – Верхоянском. Для данного региона в северо-восточной части Евразии характерно сплошное распространение многолетнемёрзлых пород, а также обширные территории, занятые комплексами повторно-жильных льдов. Мощность многолетнемёрзлых пород здесь составляет 200-500 м, а температуры мёрзлых грунтов опускаются до $-6... -10^{\circ}\text{C}$, под руслами р. Яны и её притоков развиты талики, имеющие мощность 12-27 м [5]. Активный слой (слой сезонного оттаивания) имеет мощность 0,2-0,4 м под лесо-луговой растительностью и 0,4-1,2 м на открытых участках [3]. Большая часть территорий бассейнов рек Кючюс, Кимпичи, Адычи, Батагайки и др. сложена рыхлыми отложениями, что способствует глубокому промерзанию и повсеместному распространению здесь подземных льдов [5].

Развитие повторно-жильных льдов происходит в результате криогенного растрескивания основного массива мёрзлых сцементированных пород в зимний период, после чего в трещины попадает снег и талые воды, которые, замерзая, образуют ледяные жилы, пронизывающие массивы мёрзлых пород. При многократном повторении данного процесса в течение сотен и тысяч лет, жилы могут достигать высоты нескольких десятков метров и ширины 3-4 м [3].

Растительность в районе Батагайского оврага

Развитие и функционирование ландшафтов в окрестностях посёлка Батагай предопределено условиями северной тайги в долине р. Яны и горных редколесий Янского плоскогорья [6]. Посёлок Батагай и окружающие его территории находятся в таёжной природной зоне, северотаёжной подзоне. Из-за горного рельефа, развитого в северо-восточной Якутии, эта подзона представлена островными ареалами в низменностях между хребтами Верхоянским и Черского, в Абыйской и Колымской низменностях [20]. Посёлок Батагай расположен в Яно-Колымской флористической подпровинции, расположенной в пределах крупной флористической провинции Якутии и Таймыра [21]. Виды циркумполярной фракции в северотаёжных флорах составляют менее 45% видового разнообразия, около трети видов (22-30%) растений принадлежит преимущественно евразийской фракции (что характерно для всех локальных флор северной Якутии), доля восточноазиатских видов растений во всех северо-якутских флорах невысока (3-7%) [21]. Преобладание евразийских (лиственница Каяндера – *Larix sibirica*, берёза повислая – *Betula pendula* и др. [22]) и отсутствие ведущей роли циркумполярных видов (лиственница Гмелина – *Larix gmelini*, ива монетолистная – *Salix nummularia* и т.п. [22]) растений в ботаническом составе северотаёжных флор Якутии даёт основания для присвоения этим флорам отдельного типа, однако участков с таким

типом флор немного всего три: верховья р. Мархи, окрестности посёлков Булун и Батагай. В окрестностях Батагай отмечена наименьшая (7%) среди всех якутских флор встречаемость арктических видов, а также выявлено, что в верхнем течении р. Яны широкое распространение имеют растения лугово-степного комплекса (по бортам речной долины) [21]. На территории Якутии степные участки находятся обособленно от основного ареала данного типа растительности между 45 и 55° с.ш. в пределах Восточно-Европейской Равнины и Западно-Сибирской Равнины, а также отдельными участками в районе 50° с.ш. [23] небольшими очагами в бассейнах р. Лены, Яны, Индигирки и др. [24]. Эти ландшафты считаются реликтами позднеплейстоценовой эпохи (эпохи мамонтовой фауны) [25]. К редким и эндемичным видам растений лугово-степного комплекса относятся следующие виды: вздутоплодник сибирский (*Phlojodicarpus sibiricus* (Steph. ex Spreng. et Mey. Ledeb.), вздутоплодник мохнатый (*Phlojodicarpus villosus* (Turcz. ex Fisch. et Mey.) Ledeb.), полынь субарктическая (*Artemisia subarctica* (Krasch.)), лапчатка Толля (*Potentilla tolli* (Trautv.)), одуванчик якутский (*Taraxacum jacuticum* (Tzvel.)), скрученноостник Крылова (*Helictotrichon Krylovii* (Pavl.) Hernard.), остролодочник седой (*Oxytropis incana* (Jurtz.)). Среди них некоторые, например, полынь субарктическая, являются эндемиками северо-востока Якутии, а лапчатка Толля – эндемиком бассейна р. Яны [24]. На склонах долины р. Яны в её среднем течении примерно 3-5% проективного покрытия занимают мхи и мохообразные, являющиеся наиболее приземистым нижним ярусом в составе разнотравно-овсяницевого, тимьяново-разнотравных и разнотравно-житняковых ассоциаций [26,27,28]. К таковым относятся виды: ритидиум морщинистый (*Rhytidium rugosum*), абиединелла пихтовидная (*Abietinella abietina*), дидимодон жёсткий (*Didymodon rigidulus* Hedw.), синтрихия сельская (*Syntrichia ruralis*), гриммия длинноклювая (*Grimmia longirostris*), тортелла ломкая (*Tortella fragilis* (Hook. et Wils.) Limpr.) и т.п. [26,29]. В долине р. Яны встречаются довольно крупные болота, соседствующие с озёрами и грядами мерзлотного вспучивания, ограниченными мерзлотными трещинами. В краевых областях таких болот встречаются ёрники – берёзовый (*Betula nana* L.) и ивовый (тальник), голубика обыкновенная (*Vaccinium uliginosum*), а мощность торфяного слоя в центральной части болота достигает 2-2,5 м. Ботанический состав торфа – сфагновые мхи (*Sphagnum lenense*, *Sphagnum girgensohnii*). По речным долинам здесь встречаются и осоковые (*Carex stans*, *Carex rariflora* и т.п.) болота со сфагновыми мхами. Процесс заболачивания чаще всего затрагивает лиственничники [30].

Для северотаёжных ландшафтов характерно широкое разнообразие растительных видов. Древесный ярус растительности в основном представлен видами, относящимися к семействам сосновых (*Pinaceae*) – лиственница Каяндера (*Larix cajanderi*); берёзовых (*Betulaceae*) – берёза повислая (*Betula pendula*), берёза тощая (*Betula exilis* Sukacz.) и др.; в подлеске встречаются берёза карликовая (*Betula nana*), сосна стланиковая (*Pinus pumila*), ольховник кустарниковый (*Duschekia fruticosa*) и др.; кустарничковый ярус составляет брусника (*Vaccinium* L.) (табл. 2).

Таблица 2. Ботанический состав растительности в окрестностях Батагайского мегаоврага на площадках вблизи заложённых почвенных разрезов

Разрез	Древесный ярус	Кустарниковый ярус	Кустарничковый ярус	Мохово-лишайниковый ярус
R1	Лиственница	Берёза	Багульник	Сфагновые мхи

--	Каяндера	карликовая	болотный	Лишайники
B2	Лиственница Каяндера, берёза повислая (угнетена)	Берёза карликовая	Багульник болотный	Злаковые, Кукушкин лён обыкновенный
B3	-	Сосна стланиковая	-	Лишайники
B4	-	Берёза карликовая, ольха кустарниковая	Багульник болотный Брусника	Злаковые
B5	Лиственница Каяндера	Берёза карликовая, сосна стланиковая	Багульник болотный	Злаковые, Лишайники
B6	Лиственница Каяндера	Берёза карликовая, ольха кустарниковая, ива монетолистная, сосна стланиковая	Багульник болотный, брусника	Осоки, Мхи сфагновые, Лишайники
B-VG- 2019/1	Лиственница Каяндера	Берёза карликовая, сосна стланиковая	Багульник болотный, брусника	Мхи сфагновые, Лишайники
B-VG- 2019/2	Лиственница Каяндера	Берёза карликовая, сосна стланиковая	Багульник болотный, брусника	Лишайники
B-VG- 2019/3	Лиственница Каяндера	-	Брусника	Мхи сфагновые, Лишайники
B-VG- 2019/4	Лиственница Каяндера	Сосна стланиковая	Багульник болотный, брусника	Мхи сфагновые, Лишайники, Осоки, Хвощи, Злаковые
B-VG- 2019/5	Лиственница Каяндера	-	Багульник болотный, брусника	Хвощи

Также для северотаёжной подзоны типичным является повсеместное развитие мохово-лишайниковых комплексов, которые составляют сфагновые (*Sphagnum*) и гипновые (*Hypnales*) мхи, а также многочисленные лишайниковые (*Lichenes*) [22,31]. Горные редколесья зачастую также представлены лиственничными редколесьями на мохово-лишайниковом покрове, чередующимися с каменистыми россыпями, на которых растительность отсутствует. Субгоризонтальные надпойменные террасы р. Яны и её притоков, занятые ерниками (зарослями карликовой берёзы), и пологонаклонные поверхности высоких террас с лиственничными редколесьями и подлеском из карликовой

берёзы занимают наибольшую площадь в пределах района исследований: 16,5 и 10%, соответственно [\[6\]](#).

Почвенный покров

Якутия представляет собой обширную территорию, условно разделённую на пять крупных почвенно-географических макрорегиона: 1 – зону горно– таёжных мерзлотных подбуров и подзолистых почв к югу от Алданско– Амгинского междуречья; 2 – зону среднетаёжных мерзлотных подзолистых и оподзоленных почв к северо– западу от Алданско–Ленского междуречья и с северной границей в районе верховий р. Вилуй; 3 – зону северотаёжных мерзлотных перегнойно– глеевых и карбонатных почв к северу от верхних течений рр. Марха и Вилуй до низовий рр. Анабар, Оленёк и Лена; 4 –зону с высокой пестротой почвенного покрова, вызванную расчленённым горным рельефом к востоку от Верхоянского хребта до восточных границ Якутии, в которой равнинные территории характеризуются северотаёжной растительностью и комплексом северотаёжных мерзлотных перегнойно-глеевых и мерзлотных болотных почв; а также 5 – зону мерзлотных тундровых глеевых и мерзлотных болотных почв тундровой природной зоны, протянувшуюся вдоль побережья Северного Ледовитого океана и включающую нижние течения и дельты таких крупных рек, как Анабар, Оленёк, Лена, Яна, Индигирка, Алазея и Колыма. В крупном масштабе различие почвенного покрова участков северотаёжной природной зоны, расположенных по разные стороны от долины р. Лены, заключается в том, что левобережный участок (западный) сложен почвами, которые, по сути, являются мерзлотными аналогами почв смешанных хвойно– широколиственных лесов и более южных природных зон (серыми лесными мерзлотными, мерзлотными бурозёмами, мерзлотными коричневыми почвами), в то время, как правобережный участок (восточный) характеризуется почвенным покровом, составленным из собственно мерзлотно-таёжных почв (криозёмов и т.п.) [\[32\]](#).

Яно-Адычское междуречье, на котором располагается район исследования, характеризуется распространением мерзлотных северотаёжных перегнойно-глеевых и мерзлотных болотных почв [\[33\]](#). По почвенно-географическому районированию в более крупном масштабе, этот район входит в Верхоянскую горную провинцию криозёмов, подбуров, горно-таёжных и горно-тундровых, горных примитивных, мерзлотно-таёжных и палевых почв Восточно-Сибирской мерзлотно-таёжной области бореального пояса [\[34\]](#). Сильное влияние на формирование почв как Верхоянья, так и всего северо-востока Якутии, оказывает совокупность гидролого-климатических и геофизиологических условий данного региона. В-первых, хребты Верхоянский и Черского, имеющие абсолютные высоты до 1500-3000 м, оказывают осушающее воздействие на площадь Яно-Индигирского нагорья, так как являются своеобразными климатическими барьерами на пути как западного, так и восточного переноса воздушных масс; во-вторых, минимальные температуры воздуха до –68,8°С, отрицательный радиационный баланс в зимние месяцы, а также продолжительность безморозного периода всего 1,5-2 месяца обеспечивает глубокое промерзание сезонно-талого слоя местных почв и проявление признаков криогенной деструкции в почвенных профилях; в-третьих, низкотемпературная (–5 – –6°С в среднем, до –0°С в долинах крупных рек) многолетняя мерзлота приводит к тому, что в почвах происходит длительный застой влаги [\[35\]](#) в 1,5-2 метровом сезонно-талом слое почв в летние месяцы. В результате взаимодействия всех перечисленных факторов создаётся особый криоаридный гидротермический режим почв, поэтому не случайно наличие здесь почв чернозёмовидного облика под участками криоаридных степей и карбонатных почв под лесом в долине р. Индигирки [\[36, 37, 38\]](#).

Мерзлотные северо-таёжные почвы данного региона обладают следующими специфическими особенностями: тиксотропностью, оглееностью и криогенной деструкцией, а процессы почвообразования наиболее интенсивны лишь в маломощном корнеобитаемом слое этих почв [39]. Своеобразные «криоаридные» почвы развиваются в замкнутых межгорных впадинах Яно-Индибирского нагорья [38]. Эти почвы по своему строению и свойствам близки мерзлотно-таёжным палевым почвам Центральной Якутии [36] – их профиль не дифференцирован на генетические горизонты, а преобладание в гранулометрическом составе крупнопылеватых частиц говорит об интенсивном криогенном дроблении частиц без участия биохимического разрушения [38]. Под степной растительностью на участках лугово-степных ландшафтов развиваются криоаридные маломощные чернозёмы с сильно укороченным генетическим профилем, но в то же время со всеми признаками чернозёмного почвообразования, чем способствует недостаток влаги и относительно высокие для данных широт тепловые ресурсы. Нейтральная реакция почвенной вытяжки, а также незначительная доля обменного Na и заметное преобладание Ca в составе поглощённых катионов делает эти почвы схожими с чернозёмами Забайкальских степей [38].

На надпойменных террасах р. Яны преобладающим типом почв являются криозёмы грубогумусовые палево-метаморфизованные (Turbic cryosols) [40]. Под лиственничными злаково-моховыми северотаёжными редкостойными лесами на древнеаллювиальной террасе на правом берегу р. Яны наблюдаются криозёмы грубогумусовые палево-метаморфизованные [41]. В зависимости от экспозиции склона, на возвышенных частях территории, относящихся к отрогам Кисилыхской гряды (входящей в состав Хребта Черского), наблюдаются различные типы литозёмов: на западном и северо-западном склонах гряды – литозёмы перегнойные и перегнойно-грубогумусовые (Cryic Histic Humic Leptosols) [39], а на склонах северной экспозиции – торфяно-литозёмы (Cryic Histic Leptosols [40, 41]). Криогенез, как фактор почвообразования наиболее отчётливо проявляется на выположенных участках склонов горно-тундрового пояса, в частности, в сочетании с особенностями микрорельефа, он приводит к образованию различных диагностических признаков в глеезёмах – мерзлотного растрескивания, криотурбации и т.п. [41]. На надпойменных террасах малых горных рек сформированы криозёмы глееватые (Turbic cryosols [40]), в аккумулятивных склонах и вогнутых частях подножий гор и высоких холмов – каменистые торфяно-глеезёмы (Histic Reductaquic Cryosols [40]), а пойменные ландшафты заняты аллювиальными серогумусовыми почвами (Skeletal Leptosols) [40, 41, 42].

Гора Киргилях и её подножье сложены алевролитами, аргиллитами и песчаниками триасового возраста. От восточной к западной части горы друг друга последовательно сменяют триасовые отложения, относящиеся к Нельгесинской плите (мощность 630 м), Няньдельгинской свите (520 м) и Кедровинской свите (650 м). Породы Нельгесинской плиты прорезаны большим количеством риолитовых интрузий (рис. 5, 6) [43]. Маломощный (до 1,5 м) чехол четвертичных образований представлен десерпционным материалом из глыбово-щебнистых обломков с супесчаным наполнителем (рис. 29). В верхней части склона и на самой привершинной поверхности мощности четвертичных отложений достигают всего нескольких десятков см, а максимальных мощностей достигают у подножья склона (рис. 6).

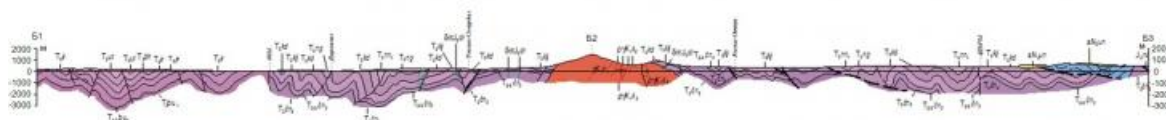


Рис. 5. Геологический разрез по линии Б1-Б3 на геологической карте [43]

Почвенные разрезы закладывались в 2018 и 2019 годах на обширной территории (рис. 7, 8), в состав которой входят окрестности Батагайского оврага (в том числе, в непосредственной близости от его краёв), подножья, склоны и привершинная поверхность г. Киргилях, а также участок в районе автодорожного моста через р. Батагайку (участок автомобильной дороги Батагай – Эсе-Хайя). Разрезы закладывались в различных ландшафтных условиях, в результате чего вскрываемые ими почвы относились к различным отделам [44].

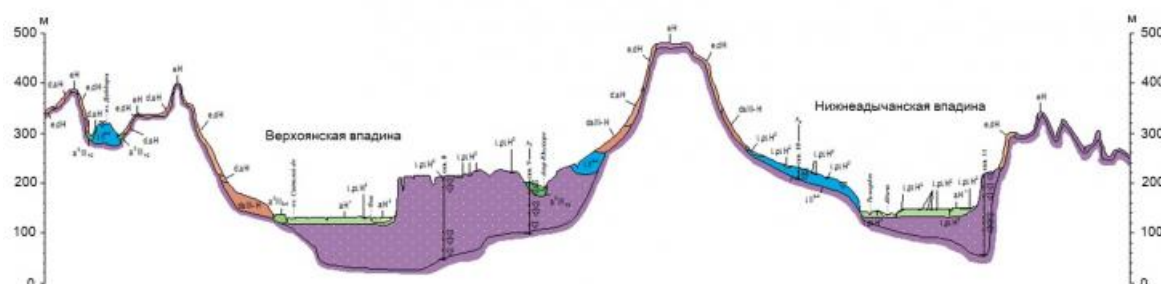
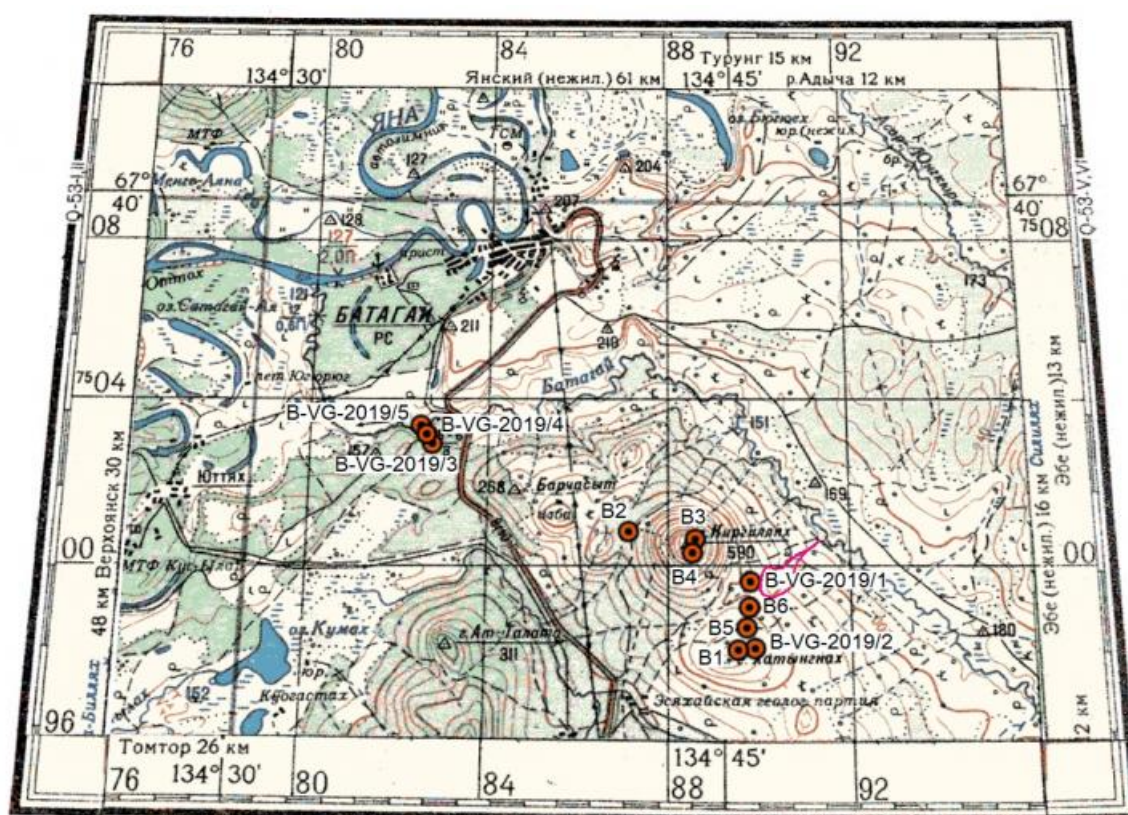


Рис. 6. Геологический разрез по линии А1-А4 на карте четвертичных образований [45]



● Точки заложения почвенных разрезов

👉 Современное положение Батагайского оврага

Рис. 7. Фрагмент топографической карты Q-53-V,VI м-ба 1: 200 000 с указанием местоположений заложённых почвенных разрезов и современного положения Батагайского оврага



Рис. 8. Фрагменты спутникового фотоснимка с указанием местоположений заложённых почвенных разрезов

Разрезы B1, B5, B6 (2018), B-VG-2019/1 и B-VG-2019/2 (2019) были заложены вблизи грунтовой пешеходной тропы, ведущей от бывшего сланцевого карьера вокруг юго-западного борта Батагайского оврага, они представляют собой почвенно-геохимическую катену (геохимически сопряжённый ряд почв) вдоль пологого склона (крутизной 3-4°). Разрезы B2, B3 и B4 были выкопаны на склонах г. Киргилых, относящихся к различным экспозициям (B2 – западная, B3 – северо-восточная, B4 – юго-восточная) на различных высотах относительно подножья горы (B2 – подножье – 329 м н.у.м.; B3 – привершинная поверхность – 522 м н.у.м.; B4 – середина склона – 490 м н.у.м.). Большой уклон поверхности (более 15°) определяет высокую интенсивность миграции вещества в сопряжённом ряду почв на склоне г. Киргилых. Третья почвенно-геохимическая катена, в которую вошли разрезы B-VG-2019/3, B-VG-2019/4 и B-VG-2019/5, была заложена на высоком берегу р. Батагайки, который сложен, скорее всего, аллювиальными наносами. Миграция веществ в данной катене происходит от плоских пологонаклонных вершин прирусловых гряд, прорезанных малыми эрозионными формами, по крутым (около 8°) склонам до вод р. Батагайки.

Наиболее часто встречающимся типом почв на исследованной территории являются светлосёмы (разрезы B-VG-2019/1, B-VG-2019/4, B-VG-2019/5, B6), характерной чертой которых является наличие в профиле признаков процесса криометаморфизации – криометаморфических горизонтов CRM, супесчаный или суглинистый гранулометрический состав и специфическую «икряную» структуру. Светлосёмы могут развиваться в широком диапазоне ландшафтных условий: как на пологонаклонных поверхностях вблизи Батагайского оврага, покрытых лесотундровой растительностью, так и на склонах прирусловых гряд у берегов р. Батагайки, растительность которых имеет больше признаков северотаёжных ассоциаций. В условиях же вершин прирусловых гряд, сложенных обеднёнными R_2O_3 аллювиальными отложениями, развиваются почвы, классифицированные как подзолы иллювиально-железистые, что также является более типичным для природной зоны тайги, нежели для лесотундры. Для подзолов характерно наличие в профиле осветлённого горизонта Е – признака протекания процесса оподзоливания. Именно интенсивность подзолистого процесса отличает подзолы от подбуров, которые также относятся к отделу альфегумусовых почв, однако, не имеют элювиального горизонта Е. Подбуры образуются на богатых основаниями породах. В

пределах исследованной нами территории подбуры были обнаружены в верхней части пологого склона от сланцевого карьера к Батагайскому оврагу (разрез В-VG-2019/2). Также ввиду близкого залегания коренных пород (сланцев) многие заложенные нами разрезы вскрывали почвы, относящиеся к отделу слаборазвитых. Они относились к типам петрозёмов и псаммозёмов, профиль которых и в том, и в другом случае представлен одним поверхностным органогенным горизонтом, подстилаемым слоем скелетного сланцевого материала практически без мелкозёма, который не затронут процессами почвообразования. Различие между петрозёмами и псаммозёмами заключается лишь в степени развития поверхностного органогенного горизонта: в случае петрозёмов это горизонт О (подстилочно-торфянистый) – слабогумусированная подстилка из неразложившихся остатков растений различного ботанического состава, а в случае псаммозёмов это горизонт W (маломощный грубоумусовый), который на 2/3 и более состоит из разложённой органики и затронутого процессом гумификации мелкозёма [44]. Петрозёмы были обнаружены при заложении разрезов вблизи отвалов сланцевого карьера (верхняя часть пологого склона к Батагайскому оврагу), а также на привершинной поверхности и у подножья г. Киргилях. Псаммозёмы были вскрыты разрезами в средней части склона Киргилях и также на середине пологого склона к Батагайскому оврагу. Интересной особенностью псаммозёма в разрезе В2 является строение его профиля, включающего серию погребённых торфяных горизонтов [О] на различных глубинах, что говорит о нескольких случаях погребения слаборазвитых почв под слоем материала, скатывавшегося со склонов г. Киргилях.

Часто встречающимся процессом в данных почвах является оглеение, которое обыкновенно характерно для надмерзлотных горизонтов. Причиной данного процесса является влагозастой, возникающий здесь из-за наличия в профилях почв горизонта многолетнемёрзлых пород, выступающего в качестве естественного механического барьера на пути радиальной миграции влаги. Также часто в почвах встречаются признаки ожелезнения, которое, наоборот, характерно для вышележащих горизонтов, особенно, для альфегумусового ВНФ (или его модификации ВФ).

Многолетнемёрзлые породы залегают в данных почвах на различной глубине. Мощность деятельного слоя почв, развивающихся в автономных позициях, выше, чем в почвах на склонах или понижениях. Так, в почвах автономных позиций глубина залегания ММП варьирует от 56 до 139 см, а в почвах на склонах снижается до 62-74 см. Причиной данного явления, возможно, является радиационный баланс склонов, который ниже, чем плоских привершинных поверхностей, из-за чего сезонное оттаивание не достигает таких больших глубин. Также, как выяснилось, на глубину оттаивания влияет и гранулометрический состав почв: чем он легче, тем глубже в профиле почв залегает горизонт ММП. В подзоле иллювиально-железистом (разрез В-VG-2019/3) мощность деятельного слоя составляет 139 см при песчаном и супесчаном гранулометрическом составе, а в светлосёме на привершинной части пологого склона от сланцевого карьера к Батагайскому оврагу, имеющем супесчаный и легкосуглинистый гранулометрический состав, эта глубина составляет 84 см.

Методы исследования

Полевые методы

Отбор образцов почв, вскрытых шурфами близ Батагайского оврага, производился в августе-сентябре 2017, 2018 и 2019 гг. В районе Батагайского оврага выше по склону была заложена почвенно-геохимическая катена, включавшая привершинную поверхность склона г. Киргилях, среднюю часть склона, а также выровненные

поверхности вблизи Батагайского оврага.

Разрезы выкапывались при помощи лопаты до глубины многолетнемёрзлого горизонта, после чего горизонты опробовались при помощи титановой коронки бура, приводимой в движение дрелью Bosch. Образцы деятельного слоя почв отбирались из срединной части генетических горизонтов при помощи ножей в пластиковые пакеты. Образцы многолетнемёрзлых пород (ММП) отбирались из выбуренных при помощи коронки кернов ММП. Отбор образцов почв сопровождался детальным описанием каждого опробуемого горизонта, включавшим описание цвета, равномерности окраски, влажности, гранулометрического состава, структуры, включений, новообразований, корней растений, сложения, характера перехода к нижележащему горизонту и ровности границы.

Почвенные образцы отбирались для определения содержания микроэлементов в них. Образцы почв отбирались из каждого почвенного генетического горизонта. Объём каждого образца составлял около 200 г. Отбор проб почвы сопровождался подробным описанием таких почвенных свойств, как цвет, влажность, сложение, структура, включения, новообразования (тела, образующиеся в почве в результате протекания физико-химических процессов в почвах; их отличие от включений в том, что новообразования развиваются исключительно вследствие внутрипочвенных процессов и не могут быть привнесены извне), корни, переход к нижележащему горизонту и характер границы. Почвы были классифицированы согласно Л.Л.Шишову и др. [\[44\]](#),

Почвы классифицировались в соответствии с Российской таксономической системой почв [\[44\]](#), согласно которой они были представлены отделами альфегумусовых (подбуры, подзолы), криометаморфических (светлозёмы) и слаборазвитых почв (псаммозёмы, петрозёмы). В тексте работы типы почв приводятся в соответствии с классификацией почв WRB [\[46\]](#).

Лабораторные методы

При обработке образцы почв высушивались в сушильном шкафу при температуре +40°C в течение 48 часов. Затем почвы растирались в агатовой ступке с помощью агатового пестика и просеивались сквозь сито с диаметром пор 0,25 мм.

Водородный показатель (рН) был измерен в 30 образцах, отобранных из генетических горизонтов почв, изученных вблизи Батагайского мегаоврага в августе 2019 г. Водные вытяжки почв изготавливались посредством смешивания заранее высушенного, растёртого фарфоровым пестиком в фарфоровой ступке и просеянного сквозь сито (с диаметром пор 1 мм) образца с дистиллированной водой. Смешивание производилось в соотношении 1:25 для образцов торфяных горизонтов О и 1:5 – для образцов всех остальных почвенных горизонтов.

Определение процентного содержания органического углерода и гумуса в образцах почв, отобранных вблизи Батагайского мегаоврага, было выполнено в лаборатории эколого-геохимического Центра географического факультета МГУ имени М. В. Ломоносова под руководством Е.В. Терской. Измерения проводились по методу И. В. Тюрина, в основе которого лежит реакция окисления органического углерода в почве избытком иона Cr^{6+} . Навески сухой просеянной через сито с диаметром пор 0,25 мм почвы помещались в колбы и заливались 10 мл 0,4 М раствора 1/6 хромовой смеси (бихромата калия – $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) в разбавленной (1:1) серной кислоте (H_2SO_4). После этого пробы оставлялись на 20 минут в прогревом до 150-160°C сушильном шкафу для того,

чтобы ускорить процесс окисления органического углерода. Затем остаток Cr в растворе оттитровывался 0,2 М раствором соли Мора - сульфата аммония железа ($\text{FeSO}_4 \cdot (\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) в присутствии 5 капель фенолантраниловой кислоты ($\text{C}_{13}\text{H}_{11}\text{NO}_2$). Процентное содержание $\text{C}_{\text{орг}}$ и гумуса вычислялось по формулам:

$$\text{C}_{\text{орг}}, \% = (V_1 - V_2) \times M \times 0,003 \times 100 / m;$$

$$\text{Гумус}, \% = \text{C}_{\text{орг}} \times 1,72,$$

где V_1 – количество раствора соли Мора (см^3), пошедшее на титрование Cr^{6+} , содержащегося в аликвоте хромовой смеси ($1/6 \text{ K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$) – холостой пробе; V_2 – количество соли Мора (см^3), пошедшее на титрование Cr^{6+} , оставшегося после взаимодействия навески почвы с аликвотой хромовой смеси ($1/6 \text{ K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$); M – молярность раствора соли Мора; 0,003 – молярная масса $1/4 \text{ C}$ (г/моль); 100 – коэффициент перевода на 100 г почвы; m – масса сухой навески почвы; 1,72 – коэффициент для пересчёта $\text{C}_{\text{орг}}$ в гумус.

Процентное содержание органического углерода и гумуса проанализировано в 27 образцах почв.

Результаты

Описание почвенных профилей

Описание почвенного профиля В - VG -2019/1

Описание условий заложения разреза В - VG -2019/1 ($67^\circ 34' 56,66''$ с.ш., $134^\circ 45' 46,43''$ в.д.). Рельеф представляет собой ровную площадку, расположенную между склонами двух оврагов. Ширина площадки около 10-15 м, превышение над днищами оврагов – 3-4,5 м, в 80-100 м к востоку от разреза пологонаклонная поверхность обрывается на уступ высотой более 50 м у края Батагайского оврага (рис. 9, 10).

Растительность представлена мохово-лишайниковой ассоциацией, выделяется 3 яруса: 1) мохово-лишайниковый ярус (мох зелёный, лишайник, брусника, багульник); 2) кустарниковый ярус (берёзка карликовая, кедровый стланик - примерно 1 м высотой); 3) древесный ярус (лиственница - примерно 6-7 м высотой).

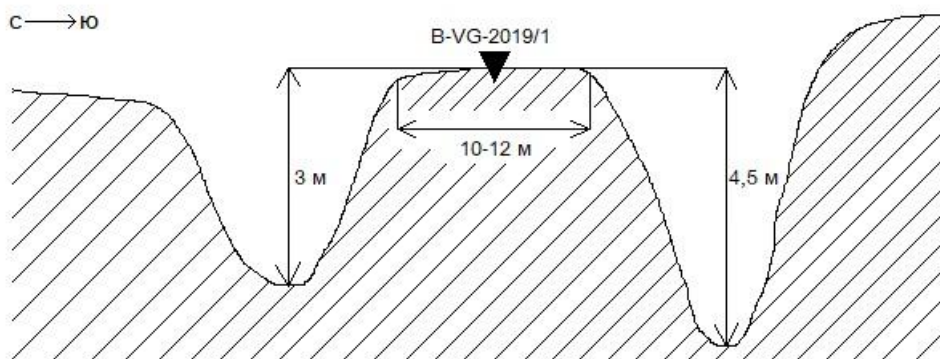


Рис. 9. Положение разреза В-VG-2019/1 в рельефе (поперечное сечение)

3 → В

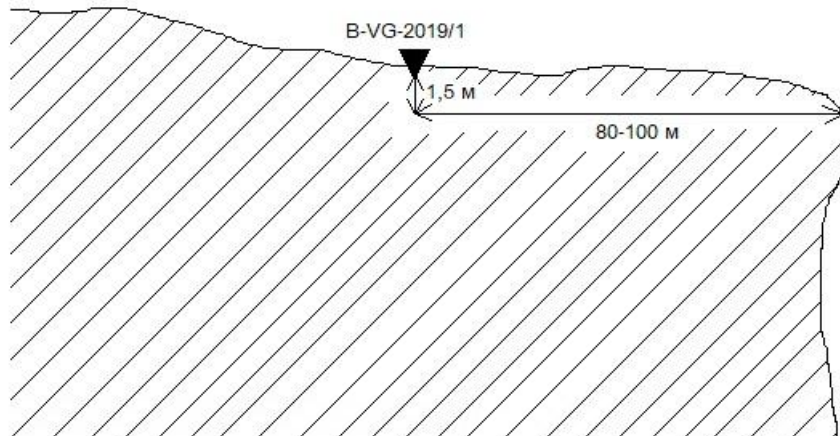


Рис. 10. Положение разреза B-VG-2019/1 в рельефе (продольное сечение)

Описание разреза В - VG -2019/1 по почвенным горизонтам. Разрез выкопан до глубины 84 см, ниже образцы отобраны при помощи бура (рис. 11).

О (0-4 см): состоит из плохоразложившейся органики, тёмно-бурого цвета, (7,5YR 25/3 very dark brown (очень тёмно-бурый)), обильно пронизан корнями.

BF (4-13 см): неоднородно окрашенный, на белёсовато-охристом фоне тёмно-бурые чуть красноватые пятна неправильной формы размерами от 2X3 до 4X5 см, фон – 2,5Y 4/4 olive brown, пятна – 7,5Y 2,5/3 very dark brown (очень тёмно-бурый), пятна состоят из материала горизонта О, свежий к влажному, слабоуплотнённый, пятна более рыхлые, супесчано-пылеватый, комковатый, включения мелких неокатанных обломков (дресвы) сланцев, обильно пронизанный корнями

C1f (13-30 см): однородно окрашенный, серовато-охристый 2,5Y 5/3 light olive brown (светло-оливково-бурый), свежий, супесчаный, комковато-плитчатый, уплотнённый, включения дресвы сланцев размером до 2 мм, дресва мельче, чем в вышележащем горизонте, включения корней до 1 мм толщиной, одиночные Fe конкреции, переход постепенный.

C2fr (30-40 (42) см): однородно окрашенный, серовато-охристый, но более серый, чем в вышележащем горизонте, 2,5Y 4/3 olive brown (оливково-бурый), от свежего к влажному, супесчано-легкосуглинистый, крупноплитчатый, выраженная горизонтальная делимость, сильно уплотнённый, включения более крупной дресвы, чем в вышележащем горизонте (до 10 мм), единичные Fe пятна до 3 мм вытянутые вертикально, малочисленные включения корней

C3 (40 (42) – 52 (54) см): однородно окрашенный, серо-охристый, 2,5Y 4,5/3 между light olive brown и olive brown (светло-оливково-бурый и оливково-бурый), влажный, супесчано-легкосуглинистый, ореховато-плитчатый, плотный, плохо выветрелые обильные обломки дресвы размером до 5 мм, единичные корни

CRMfr (40-50 см): однородно окрашенный, 5,4Y 4/2 olive-gray (оливково-серый), влажный, легко-среднесуглинистый, ярко выраженная шлировая структура, включения дресвы метаморфических пород, единичные корни

C4 (52 (54) – 84 см): неоднородно окрашенный, на сером фоне рыжевато-бурые горизонтальные прослои толщиной до 7 см длиной во всю стенку разреза, 2,5Y 4/2 dark

grayish-brown (фон) и 2,5Y 2/2 very dark grayish-brown (очень тёмно-серо-бурый), свежий, легкосуглинистый, плитчатый, шлировидный, легко-среднесуглинистый, фон плотный, прослой сильно уплотнённые, часто встречаются Fe пятна до 5-6 см длиной и до 2 см толщиной, в прослоях ярко выражены Fe-Mn затёки, редки включения дресвы сланцев, корни до 1 мм толщиной, переход ясный по границе ММП, граница ровная.

C₁ (84... см): однородно окрашенный, G1 4/104 (4/1) dark greenish-gray (тёмно-зелёно-серый), мёрзлый, плотный, влажный.

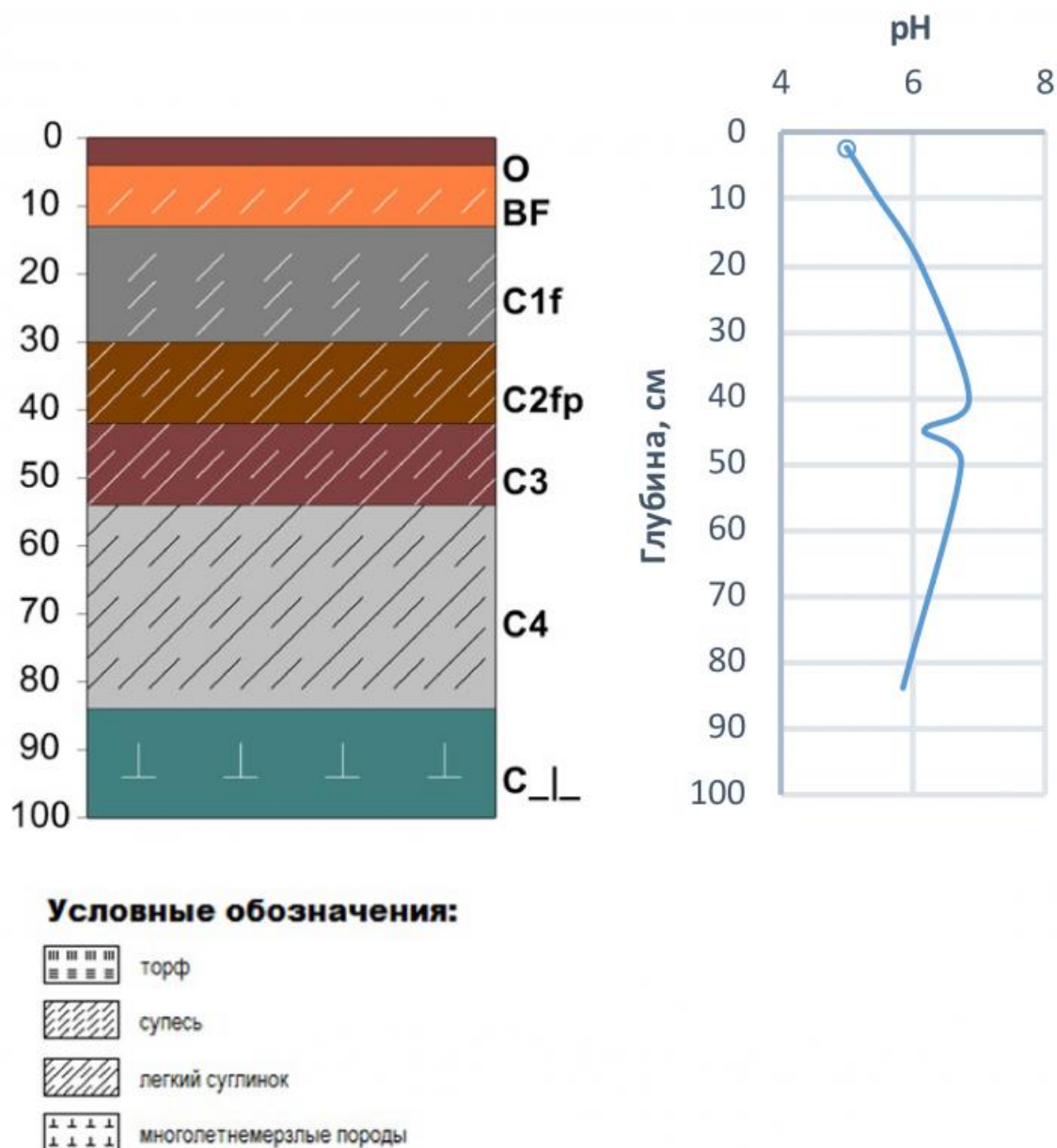


Рис. 11. Схематическое изображение почвенного разреза В-VG-2019/1. Предполагаемое название почвы: Светлозём иллювиально-железистый мерзлотный

Описание почвенного профиля В - VG -2019/2

Описание условий заложения разреза В - VG -2019/2 (67°34'7,16" с.ш., 134°45'47,79" в.д.). Разрез заложен примерно в 150-200 м от таблички «Закреплённая территория...» и в 20 м к востоку от пешеходной тропы вдоль западного борта Батагайского оврага.

Рельеф представлен ровной площадкой на субгоризонтальной поверхности, наклонённой

с севера на юг, в раннем предгорье г. Киргиллях (рис. 12). Выражена кочкарность, кочки высотой до 20 см и диаметром примерно 50-60 см, также выражены продольные понижения (глубиной около 30 см) (рис. 13).

Растительность представлена мохово-лишайниковой ассоциацией с ярко выраженными ярусами: 1) лишайниковый ярус (бледно-зелёный лишайник (Сор3 – есть везде)); 2) кустарничковый ярус (Багульник (30 см), Брусника (10 см) – оба Сор1); 3) кустарниковый ярус (берёзка карликовая (50 см – Сор2), кедровый стланик (70 см – Сор1)); 4) древесный ярус (лиственница - высотой 5-6 м).

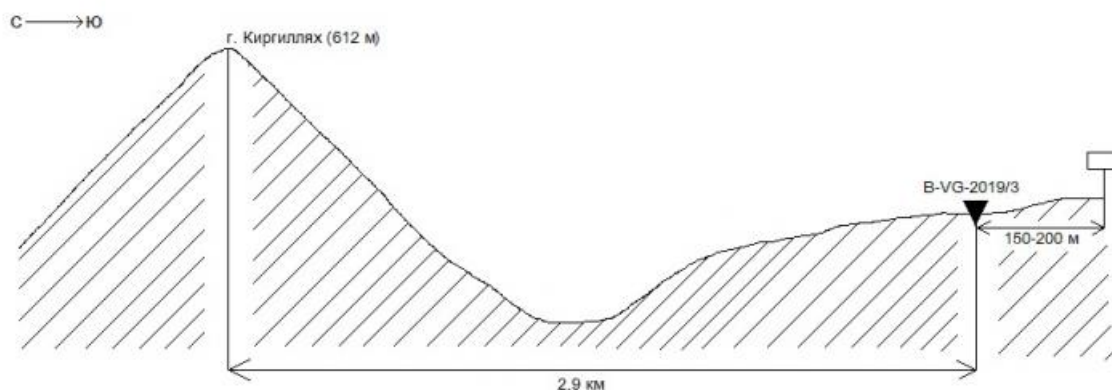


Рис. 12. Положение разреза B-VG-2019/2 в рельефе (поперечное сечение)

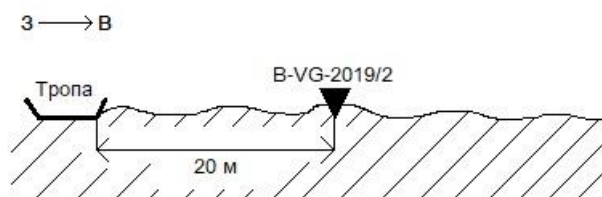


Рис. 13. Положение разреза B-VG-2019/2 в рельефе (продольное сечение)

Описание разреза В - VG -2019/2 по почвенным горизонтам. Разрез выкопан до глубины 56 (58) см, ниже до глубины 105 см образцы отобраны при помощи бура (рис. 14).

О (0-5 см): неоднородно окрашенный, на красновато-буром фоне частые тёмно-бурые пятна, цвет 7,5YR 3/3 dark brown (тёмно-бурый), состоит из плохоразложившейся органики, обильно пронизан корнями толщиной 2-3 мм, содержание мелкозёма – 40% от всей массы, рыхлый, переход резкий по цвету и сложению, граница ровная.

BF (5-12 см): комковатый с едва заметными признаками горизонтальной делимости, рыхлый, чуть более плотный, чем вышележащий, мелкозёма примерно 80%, обильно пронизан корнями до 2,5 мм толщиной, цвет – 4/3 olive brown (оливково-бурый), частыми включениями тёмно-серой дресвы с признаками ожелезнения, переход постепенный.

C1f (12-25 см): однородно окрашенный, светло-буровато-палевый, 2,5Y 4/4 olive brown (оливково-бурый), влажный, супесчаный, с единичными корнями до 1 мм толщиной, уплотнённый, комковатый с признаками горизонтальной делимости, с частыми грубо окатанными включениями тёмно-серой породы, встречаются признаки ожелезнения включений, переход резкий по цвету, структуре и сложению, граница ровная.

C2f (25-47 (56) см): светловато-буро-палевый, однородно окрашенный, цвет 2,5Y 4/4 olive brown (оливково-бурый), влажный, супесчаный, ближе к низу горизонта – почти

легкосуглинистый, уплотнённый, к низу сильно уплотнённый, комковато-призматический, к низу больше выражена плитчатость, с обильными включениями дресвы тёмно-серой породы и розовато-белой галькой (плохо окатанными), присутствуют ржавые подтёки Fe длиной 3 мм и шириной 1 мм, переход резкий по цвету, структуре и сложению, граница сильно волнистая.

C3f (47-56 (58) см): буровато-палево-серый, однородно окрашенный, 2,5Y 3/2 very dark grayish-brown (очень тёмно-серо-бурый), сильно уплотнённый, влажный, супесчано-легкосуглинистый, с единичными включениями тёмно-серой дресвы, с незначительными признаками мерзлотной деформации, граница ровная – по кровле ММП.

C_— (56-105 см): тёмно-серый, мёрзлый, с кристаллами льда, не очень плотный, новообразования и включения отсутствуют.

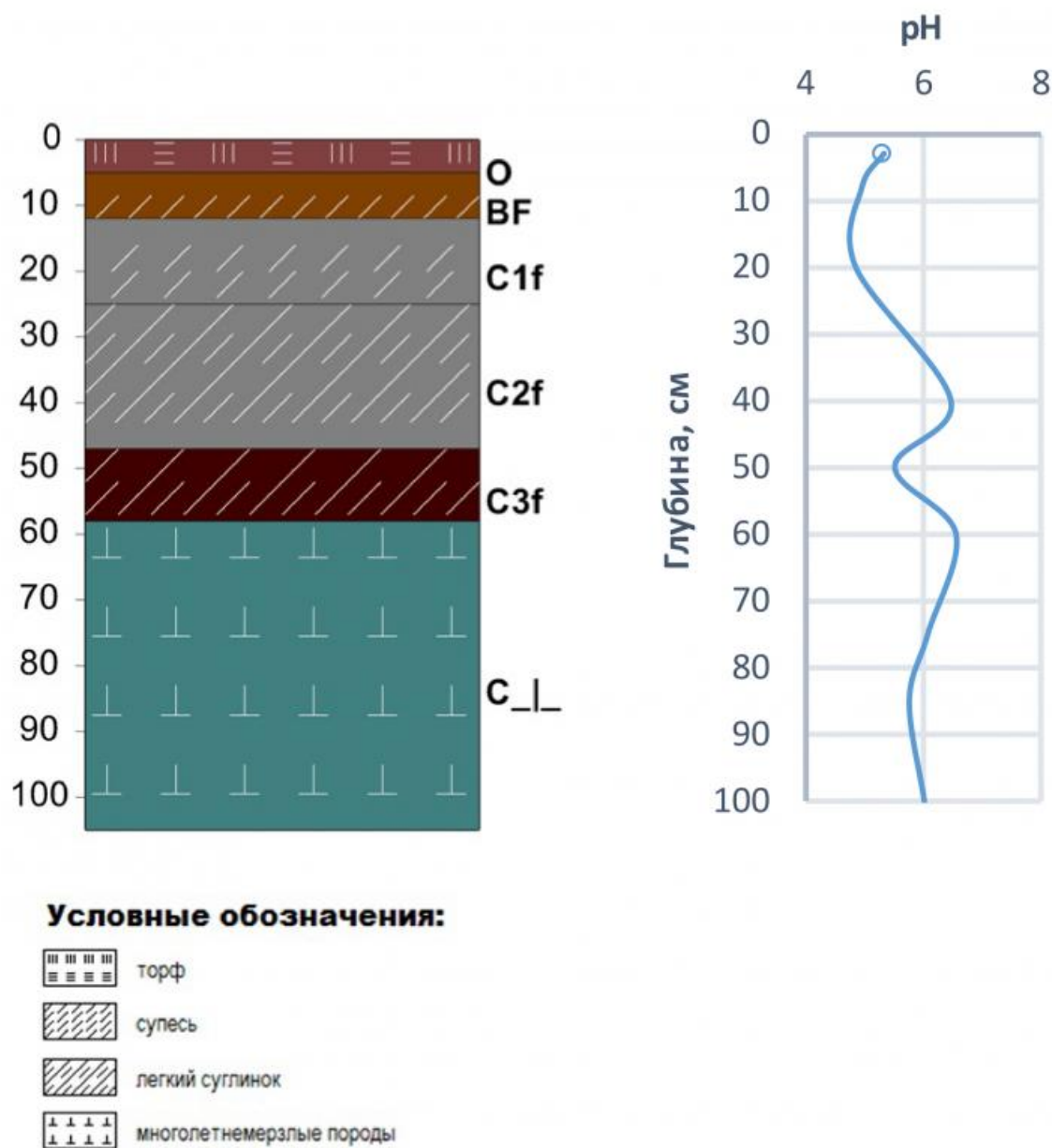


Рис. 14. Схематическое изображение почвенного разреза В-VG-2019/2. Предполагаемое название почвы: Подбур иллювиально-железистый мерзлотный

Описание почвенного профиля В - VG -2019/3

Описание условий заложения разреза В - VG -2019/3 (рис. 16). Разрез заложен (N 67,61832; E 134,60942) в 3 км к югу от пос. Батагай, в 200 м к западу от автодороги Батагай-Верхоянск.

Рельеф представлен ровной площадкой на крутом коренном левом берегу р. Батагайки (рис. 15 (а)). Превышение над уровнем уреза реки составляет примерно 15 м, расстояние по прямой до уреза реки около 200 м. Перпендикулярно руслу реки берег прорезан оврагами к западу и востоку от разреза (рис. 15, б). Превышения над днищами соседних оврагов составляет 3-5 м.

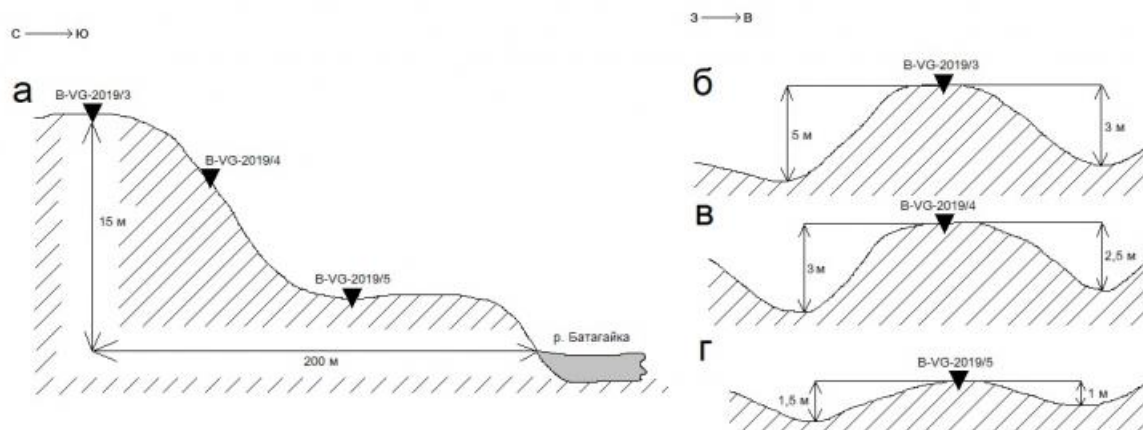


Рис. 15. Положение почвенных разрезов B-VG-2019/3, B-VG-2019/4 и B-VG-2019/5 в рельефе: (а) продольное сечение, (б, в, г) поперечное сечение

Растительность представлена лиственничным редколесьем (примерно 7 м высотой), подрост из лиственниц (0,5-1,7 м высотой), брусника, лишайники и зелёные мхи.

Описание разреза В - VG -2019/3 по почвенным горизонтам. O_{pi}r (0-3 см): неоднородно окрашенный, местами серый, местами светло-серо-бурый, 10YR 4/2 dark grayish brown (тёмно-серо-бурый) – фон, 10YR 3/3 dark brown (тёмно-бурый) – пятна, сухой, супесчаный, комковатый, рыхлый, обильные включения древесного угля, обильно пронизан корнями толщиной от 1 до 4 мм, переход резкий по цвету, граница слабоволнистая.

E (3-9 (15 см)): слабо неоднородно окрашенный, от красновато-жёлтого до светло-серо-палевого, 70YR 7/6 yellow (жёлтый) и 10YR 5/6 yellowish brown (жёлто-бурый), сухой, супесчаный, выраженная горизонтальная делимость, рыхлый, единичные включения угольков, обильные включения корней от 1 до 3 мм, переход ясный по цвету, граница языковатая.

B_hF (9 (15) – 29 (34) см): однородно окрашенный, светло-коричневый, 2,5Y 4/4 olive brown (оливково-бурый), свежий, супесчано-пылеватый, плитчатый, слабоуплотнённый, включения мелких угольков серого цвета, мелкие корни до 2 мм, переход постепенный.

C₁ (29 (34) – 80 см): однородно окрашенный, палево-серый, 2,5Y 4/4 olive brown (оливково-бурый), влажный, супесчано-пылеватый, непрочная структура, от слабо уплотнённого до уплотнённого, уплотнение к низу горизонта, одиночные корни около 3-4 мм, переход резкий по цвету.

C₂ (80-139 см): однородно окрашенный, тёмно-палево-серый, 2,5Y 4/3 olive brown (оливково-бурый), влажный, супесчаный, структура призматическая, плотный, переход резкий по кровле ММП, граница ровная.

C₁ (139... см): однородно окрашенный, тёмно-серо-коричневый, 2,5Y 3/2 very dark grayish brown (очень тёмно-серо-бурый), мёрзлый.

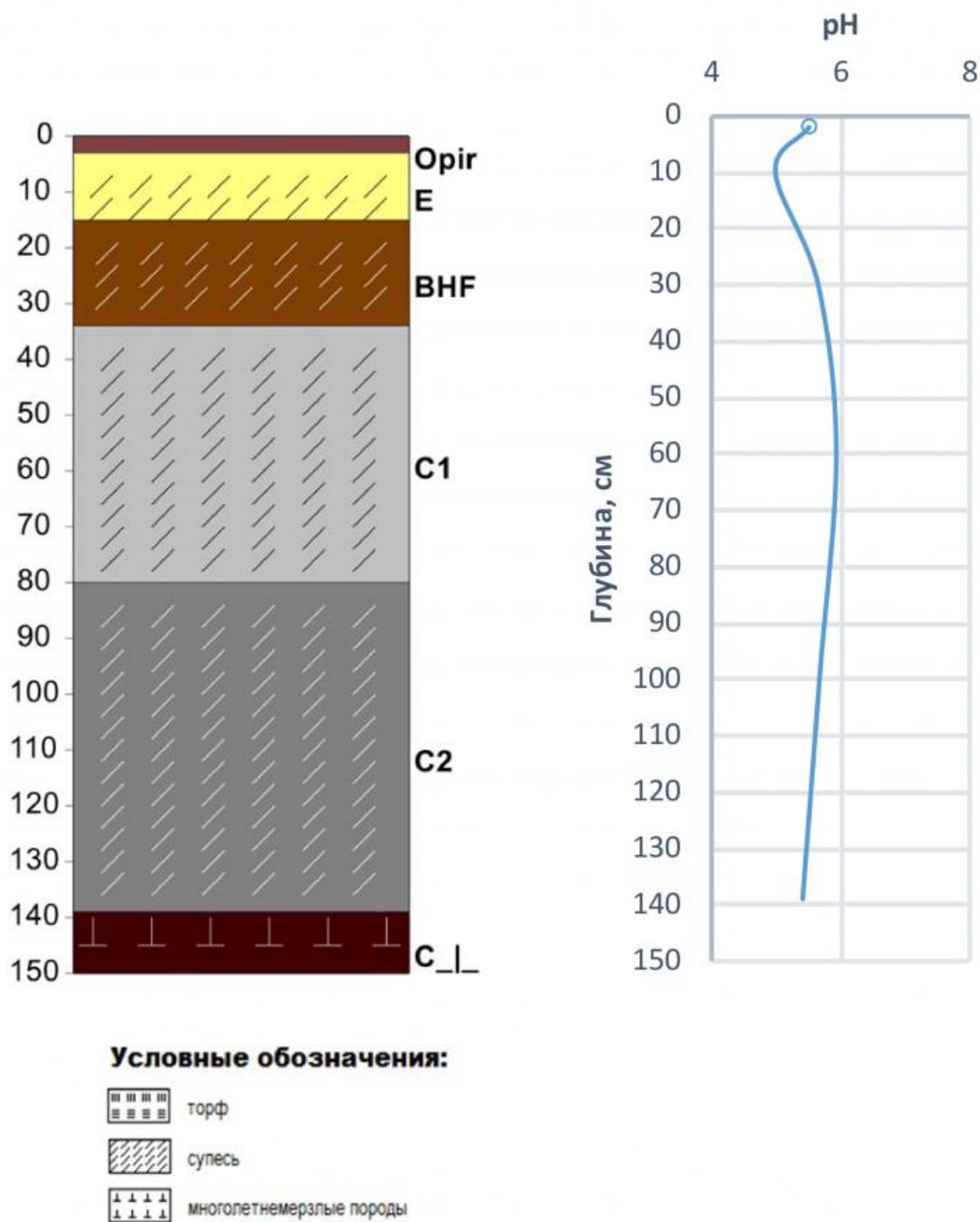


Рис. 16. Схематическое изображение почвенного разреза B-VG-2019/3. Предполагаемое название почвы: Подзол иллювиально-железистый постпирогенный мерзлотный

Описание почвенного профиля B - VG -2019/4

Описание условий заложения разреза B - VG -2019/4. Разрез (N 67,61859; E 134,60939) заложен в 29 м к северу от разреза B-VG-2019/3.

Рельеф представляет собой крутой склон 15° коренного левого берега р. Батагайки (рис. 15, а, 15, в). Выражена кочкарность, высота кочек 10 см, диаметр 30 см.

Растительность – лиственница, кедровый стланик, багульник, осоки, хвои, злаки,

брусника, мхи зелёные, лишайники.

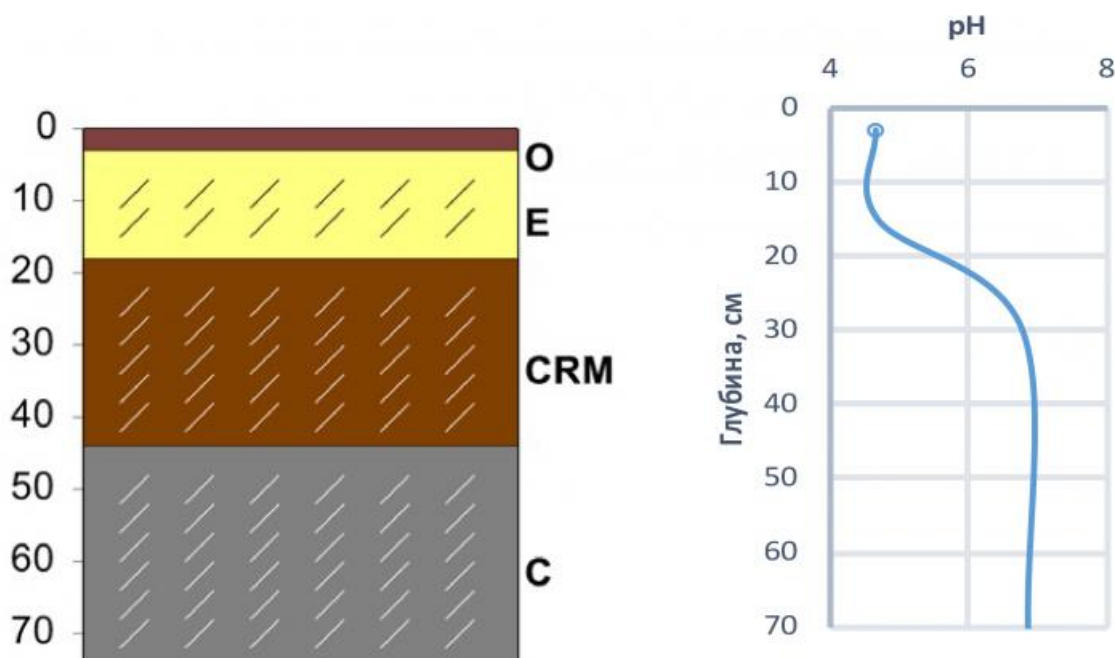
Описание разреза В - VG -2019/4 по почвенным горизонтам. Разрез выкопан до глубины 77 см (рис. 17):

О (0-3 см): однородно окрашенный, тёмно-серо-бурый (2,5Y 5/3 light olive brown (светло-оливково-бурый); 2,5Y 3/2 very dark grayish brown (очень тёмно-серо-бурый)), состоит из оторфованного материала, свежий, большое количество неразложившихся остатков органики (лишайников, мхов), мелкозёмистый, легкосуглинистый, бесструктурный, пронизан корнями толщиной 1-3 мм, с признаками криогенного оструктуривания, переход ясный по цвету, граница волнистая.

Е (3 (5) – 18 см): однородно окрашенный, палево-жёлтый, 2,5Y 5/4 light olive brown (светло-оливково-бурый), влажный, супесчаный, слабо оструктуренный, комковатый, уплотнённый, пронизан корнями растений меньше 1 мм и единичными корнями толще 1 см, граница ровная, переход ясный по цвету.

CRM (18-44 см): неоднородно окрашенный, на желтовато-сером фоне (2,5Y 4/4 olive brown (оливково-бурый)) палево-жёлтые пятна (2,5Y 4/3 olive brown (оливково-бурый)), слабо оструктуренный, ближе к плитчатому, субгоризонтальные полосы шириной около 4 см и длиной 10-12 см, среднее количество корней тоньше 1 мм, переход постепенный.

С (44-74 см): однородно окрашенный, желтовато-серый, 2,5Y 4/3 olive brown (оливково-бурый), супесчаный, влажный, более влажный, чем вышележащий горизонт, уплотнённый, структура близкая к призматической, редкие корни тоньше 1 мм, переход ясный по кровле ММП, граница ровная.



Условные обозначения:



Рис. 17. Схематическое изображение почвенного разреза В-VG-2019/4. Предполагаемое название почвы: Светлозём мерзлотный

Описание почвенного профиля В - VG -2019/5

Описание условий заложения разреза В - VG -2019/5. Разрез (N 67,61899; E 134,60988) заложен в 51 м к северу от разреза В-VG-2019/4.

Рельеф – низкая пойма р. Батагайки, левый берег, подножие. Растительность – осоково-кустарничковая ассоциация под лиственницами, хвощи.

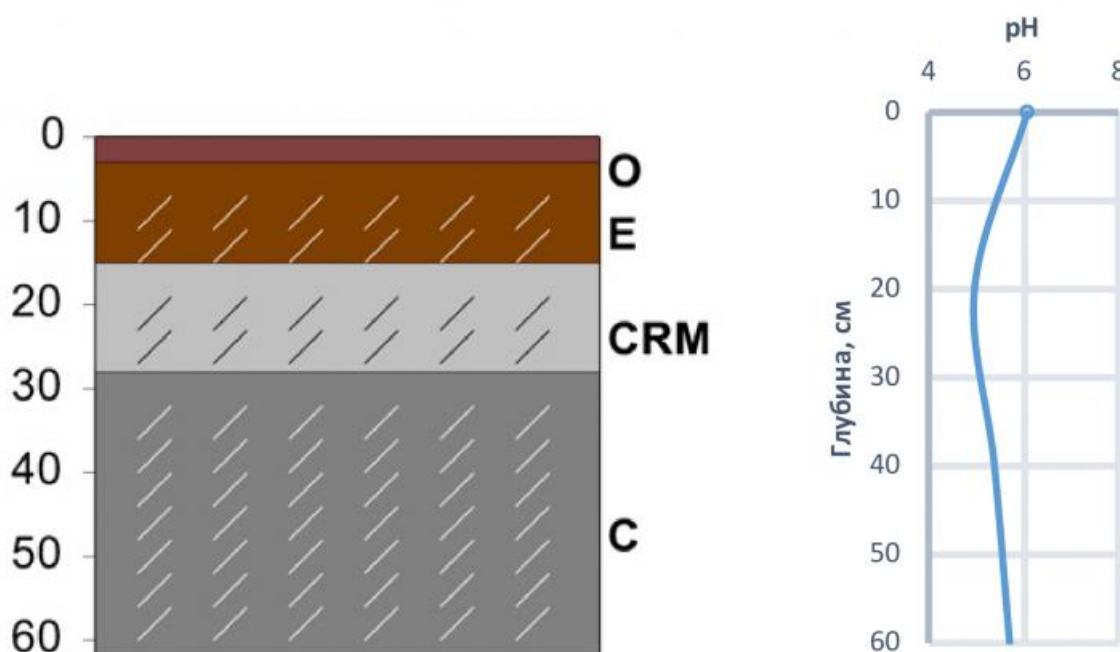
Описание разреза В - VG -2019/5 по почвенным горизонтам. Разрез выкопан до глубины 62 см (рис. 18):

О (0-2 (3) см): состоит из плохоразложившейся органики различного ботанического состава, пронизан большим количеством корней тоньше 2 мм, переход резкий по цвету и сложению.

Е (2 (3) – 12 (15) см): однородно окрашенный, буровато-серый, 2,5Y 4/3 olive brown (оливково-бурый), сухой, супесчано-пылеватый, бесструктурный, рыхлый, редкие корни от 1 до 4 мм, переход постепенный.

CRM (12 (15) – 25 (28) см): однородно окрашенный, более тёмно-серый, чем вышележащий, 2,5Y 4/2 dark grayish brown (тёмно-серо-бурый), свежий, супесчано-пылеватый, комковатый, пронизан корнями от 1 до 3 мм, рыхлый, переход ясный по цвету, граница волнистая.

С (25 (28) – 62 см): неоднородно окрашенный, на тёмно-сером фоне серовато-рыжие прослои толщиной до 1 мм толщиной (2,5Y 4/3 olive brown (оливково-бурый) – фон, 2,5Y – 5/6 light olive brown (светло-оливково-бурый) – прослои), длина прослоев во всю стенку разреза, бесструктурный, влажный, супесчаный, слабоуплотнённый, переход ясный, граница ровная по кровле ММП.



Условные обозначения:



Рис. 18. Схематическое изображение почвенного разреза B-VG-2019/5. Предполагаемое название почвы: Светлозём мерзлотный

Описание почвенного профиля B1

Описание условий заложения разреза B 1. Привязка: около 50 от таблички «Закреплённая территория...» и начала пешеходной тропы вдоль западного борта Батагайского оврага (67°34'6.60"; 134°45'14.90"; h абс. = 361 м).

Рельеф: плоская с многочисленными эрозионными бороздами поверхность.

Растительность: лесотундровая ассоциация из лиственницы, берёзки карликовой и мохово-лишайникового покрова.

Описание разреза B 1 по почвенным горизонтам. Разрез выкопан до глубины 21 см (рис. 19):

O (0-10 см): подстильно-торфяной горизонт, состоит из неразложившихся остатков растений различного ботанического состава (мхи, лишайники, ветви берёзы карликовой), мелкозёмистый, свежий, буровато-серый, супесчаный, структура неясная, переход ясный по количеству включений пород, граница ровная.

R (10-21 см): сланцевый скелетный материал с небольшим количеством супесчаного мелкозёма, свежий, буровато-серый.

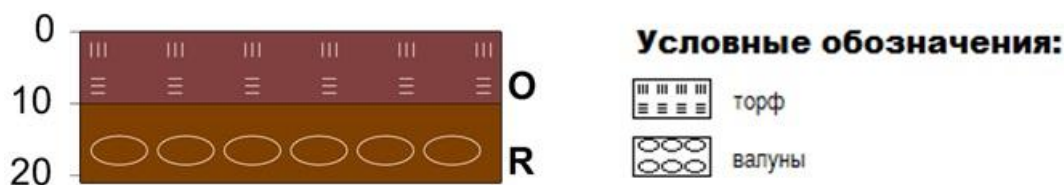


Рис. 19. Схематическое изображение почвенного разреза В1. Предполагаемое название почвы: Петрозём на элювии сланцев

Описание почвенного профиля В 2

Описание условий заложения разреза В 2 . Привязка: примерно в 2,5 км от автомобильной дороги Батагай – Эсе-Хайя, в 1,5 км (по плоскости) от вершины г. Киргилях (67°35'38.60"; 134°41'52.80"; h абс = 329 м).

Рельеф: подножье г. Киргилях в северо-восточной части, плоская наклонная поверхность.

Растительность: лесотундровая ассоциация из лиственничного леса с берёзами (часть древостоя угнетена), карликовой берёзкой, багульником, злаками, кукушкиным льном.

Описание разреза В 2 по почвенным горизонтам. Разрез выкопан до глубины 80 см (рис. 20):

О (0-5 см): подстильно-торфяной горизонт, состоит из неразложившихся органических остатков, практически не содержит мелкозёма, переход ясный по цвету, гранулометрическому составу, граница ровная.

О/Се (5-6 см): переходный к почвообразующей породе, признак оподзоленности, супесчаный, серый, бесструктурный, переход ясный по цвету, граница ровная.

С (6-14 и 18-74 см): желтовато-серый, супесчаный, бесструктурный, влажный, переход ясный по цвету, граница ровная.

Сg (14-15 и 25-27 см): сизовато-серый с охристыми пятнами в верхней части, супесчаный, бесструктурный, переход ясный по цвету, граница ровная.

[О] (15-18, 41-42 и 49-54 см): погребённый, тёмно-серый, оторфованный.

С_||_ (74... см): почвообразующая порода, мёрзлая, признаки такие же, как у С (6-14 и 18-74 см).

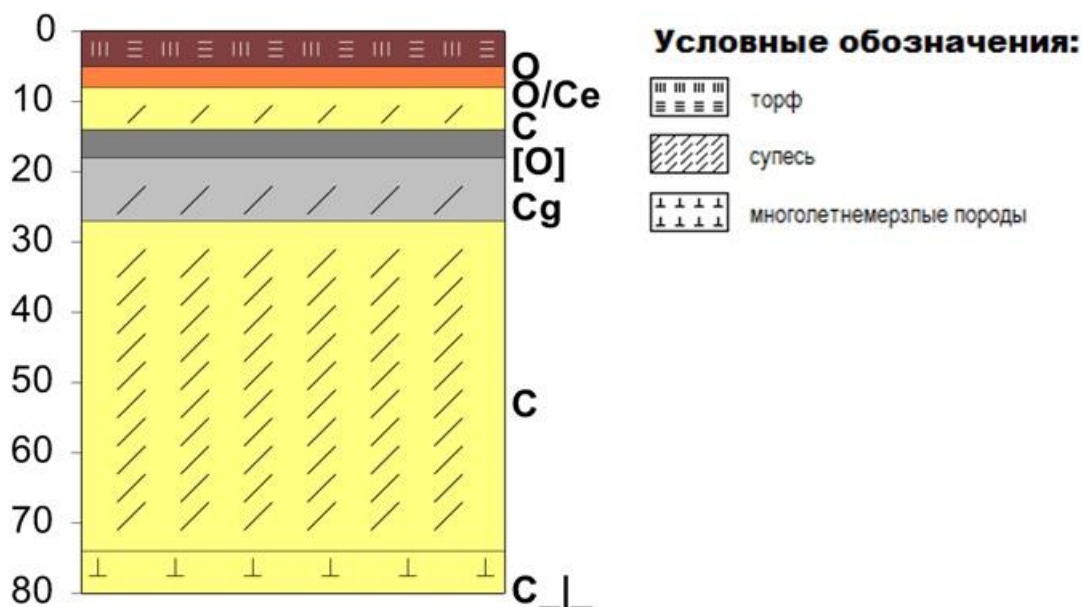


Рис. 20. Схематическое изображение почвенного разреза В2. Предполагаемое название почвы: Псаммозём оподзоленный оглеенный на погребённом псаммозёме мерзлотном

Описание почвенного профиля В 3

Описание условий заложения разреза В 3 . Привязка: в 130 м (по плоскости) от вершины г. Киргилях на северо-восточном склоне ($67^{\circ}35'30.40''$; $134^{\circ}44'3.30''$; $h_{abc} = 522$ м).

Рельеф: привершинная часть г. Киргилях на склоне крутизной $10-12^{\circ}$, северо-восточной экспозиции.

Растительность: тундровая, состоящая из лишайника и кедрового стланика, проективное покрытие – 30%.

Описание разреза В 3 по почвенным горизонтам. Разрез выкопан до глубины 10 см (рис. 21):

Профиль почвы состоит из щебня различных размеров (макс. до 30 см диаметром). Между обломками щебня находится мелкозём, составляющий почвенный профиль в эмбриональной стадии развития.

O (0-5 см): мелкозём серовато-бурый, супесчано-легкосуглинистый, бесструктурный, сухой.

R (5... см): сланцевый скелетный материал с небольшим количеством супесчаного мелкозёма, свежий, буровато-серый.



Рис. 21. Схематическое изображение почвенного разреза В3. Предполагаемое название почвы: Петрозём на элювии сланцев

Описание почвенного профиля В 4

Описание условий заложения разреза В 4 . Привязка: в 330 м (по плоскости) от вершины г. Киргилях, рядом с автомобильной дорогой вокруг склонов г. Киргилях, на юго-восточной стороне горы ($67^{\circ}34'22.70''$; $134^{\circ}45'34.20''$; $h_{абс} = 490$ м). Рельеф: склон крутизной около 15° юго-восточной экспозиции. Растительность: Берёзово-ольхово-злаковая ассоциация.

Описание разреза В 4 по почвенным горизонтам. Разрез выкопан до глубины 10 см (рис. 22):

W (0-5 см): мелкозём бурый, супесчано-легкосуглинистый, бесструктурный, свежий.

R (5... см): сланцевый скелетный материал с небольшим количеством супесчаного мелкозёма, свежий, буровато-серый.



Рис. 22. Схематическое изображение почвенного разреза В4. Предполагаемое название почвы: Петрозём гумусовый на элювии сланцев

Описание почвенного профиля В 5

Описание условий заложения разреза В 5 . Привязка: в 550 м к юго-западу от вершины длинного линейного оврага, впадающего в Батагайский овраг в его юго-западной части, в 500 м от таблички «Закреплённая территория...» ($67^{\circ}34'22.70''$ С; $134^{\circ}45'34.20''$ В; $h_{абс} = 352$ м). Рельеф: ровная пологонаклонная поверхность, наклонённая в сторону Батагайского оврага (северо-восточная экспозиция). Растительность: лесотундровая ассоциация с редкими лиственницами, карликовой берёзкой, кедровым стлаником, багульником, злаками и лишайниками.

Описание разреза В 5 по почвенным горизонтам. Разрез выкопан до глубины 100 см (рис. 23):

W/AУ (0-7 (9) см): уплотнённый, сухой, пронизан корнями, оторфованный, серовато-желтовато-бурый с белесоватостью (отмерший лишайник), в нижней части увлажнён (свежий) за счёт контакта с глееватой супесью, по гран. составу между супесчаным и легкосуглинистым (ближе к супесчаному), есть признаки комковатости, включения мелкого щебня и дресвы, переход ясный по цвету, граница волнистая.

Сg1 (7 (9) – 27 см): влажный, уплотнённый, на сизовато-сером фоне хаотично расположенные буровато-рыжие пятна (пятна светлее фона), гран. состав между супесью и мелким песком, обильные корни, (тонкие до 1 мм диаметром), включения дресвы, переход постепенный.

Сg2 (27-77 см): влажный, уплотнённый, сизовато-тёмно-серый мелкий песок, переход постепенный.

Сg3 (77-93 см): уплотнённая. пятнистая сизовато-серая супесь с яркими рыжими пятнами, влажная, включения щебня.

С₁|_ (93... см): та же супесь, что и в вышележащем горизонте, но мёрзлая.



Рис. 23. Схематическое изображение почвенного разреза В5. Предполагаемое название почвы: Псаммозём серогумусовый глееватый мерзлотный

Описание почвенного профиля В 6

Описание условий заложения разреза В 6 (рис. 24). Привязка В6: в 28 м к юго-западу от края Батагайского оврага (67°34'37.70"; 134°45'41.40"; h абс = 324 м) и обнажения ледяной жилы ПЖЛ-6. Рельеф: плоская пологонаклонная поверхность, которая в 28 м к северо-востоку обрывается отвесной стенкой борта Батагайского оврага. Растительность: лесотундровое лиственничное редколесье, с карликовой берёзкой, ольхой и ивой (монетолистной), кедровым стлаником, брусникой, багульником, осокой, зелёным мохом, белыми лишайниками.

Описание разреза В 6 по почвенным горизонтам. Разрез выкопан до глубины 100 см (рис. 24):

О (0-8 (9) см): бурый, легкосуглинистый, пронизанный корнями лишайника, свежий, легкосуглинистый, уплотнённый, переход ясный по цвету, граница языковатая.

Е (8 (9) – 34 (37) см): желтоватый с бурыми пятнами и светло-желтыми субгоризонтальными полосами, влажный, супесчаный, горизонт уплотнён, но менее плотный чем вышележащий, есть включения корней, переход ясный по цвету, граница волнистая.

CRMg (34 (37) – 92 см): темно-серый со слабым сизым оттенком, влажный, супесчаный, включения дресвы и гравия, редкие включения корней, переход ясный по кровле ММП, граница ровная.

С₁|_ (92... см): сизовато-серый, супесчаный, вязко-пластичный, влажный, мёрзлый.

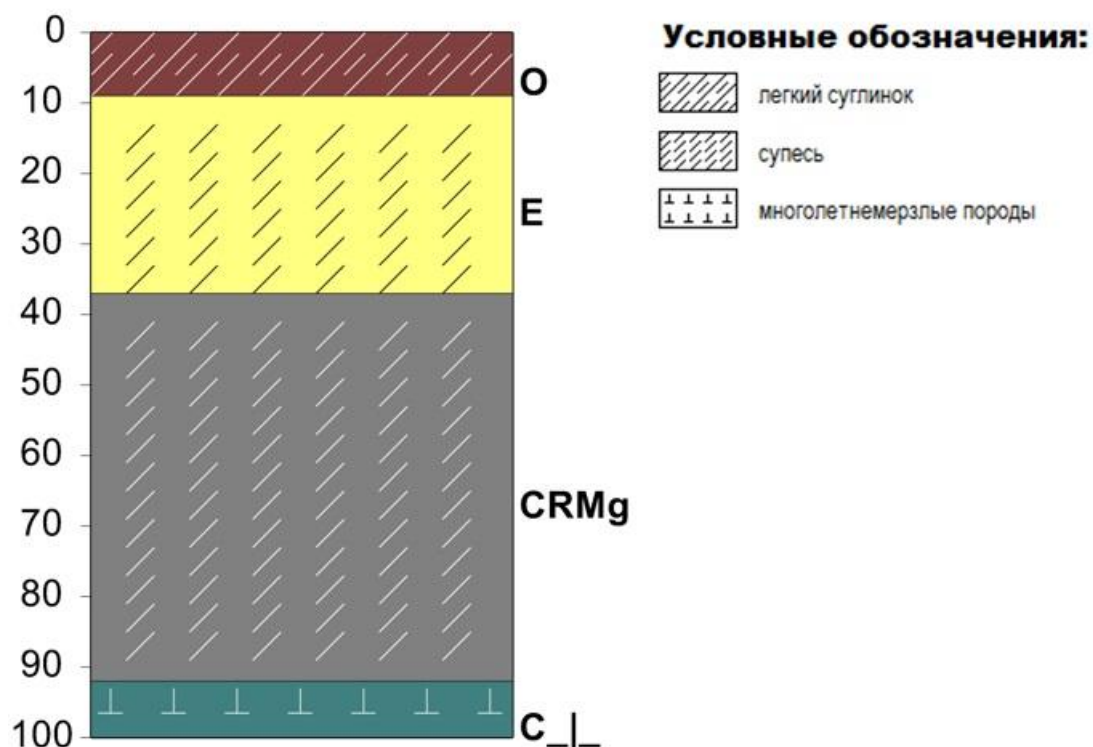


Рис. 24. Схематическое изображение почвенного разреза В6. Предполагаемое название почвы: Светлосём глееватый мерзлотный

Описание ландшафтных катен

Катена 1. Ландшафтно-геохимическая катена 1 заложена на пологом склоне от сланцевого карьера до юго-западного края Батагайского оврага и включает почвенные разрезы В1, В-VG-2019/2, В5 и В6. Разрез В1 заложен на плоской пологонаклонной поверхности (рис. 25), прорезанной многочисленными эрозионными бороздами. Данная позиция относится к трансэлювиальному элементарному геохимическому ландшафту с умеренным выносом. Почвенный разрез В-VG-2019/2 заложен в пониженной поверхности седловины на пологом склоне с выраженной кочкарностью (рис. 25), относящейся к элювиально-аккумулятивному геохимическому ландшафту. Разрез В5 заложен на выпуклой поверхности элювиального геохимического ландшафта второго порядка, ниже по рельефу от которого в 28 м от Батагайского оврага заложен разрез В6 – на пологонаклонной поверхности (рис. 25), относящейся к трансэлювиальному геохимическому ландшафту 2-ого порядка (рис. 25). Таким образом, рельеф и топографические особенности пологого склона, вдоль которого заложена ландшафтно-геохимическая катена 1, обеспечивают латеральную миграцию веществ с выносом на участках вершин и пологих склонов (элювиальный и трансэлювиальные ландшафты) и промежуточной аккумуляцией в середине склона (участок пониженной седловины – элювиально-аккумулятивный ландшафт).

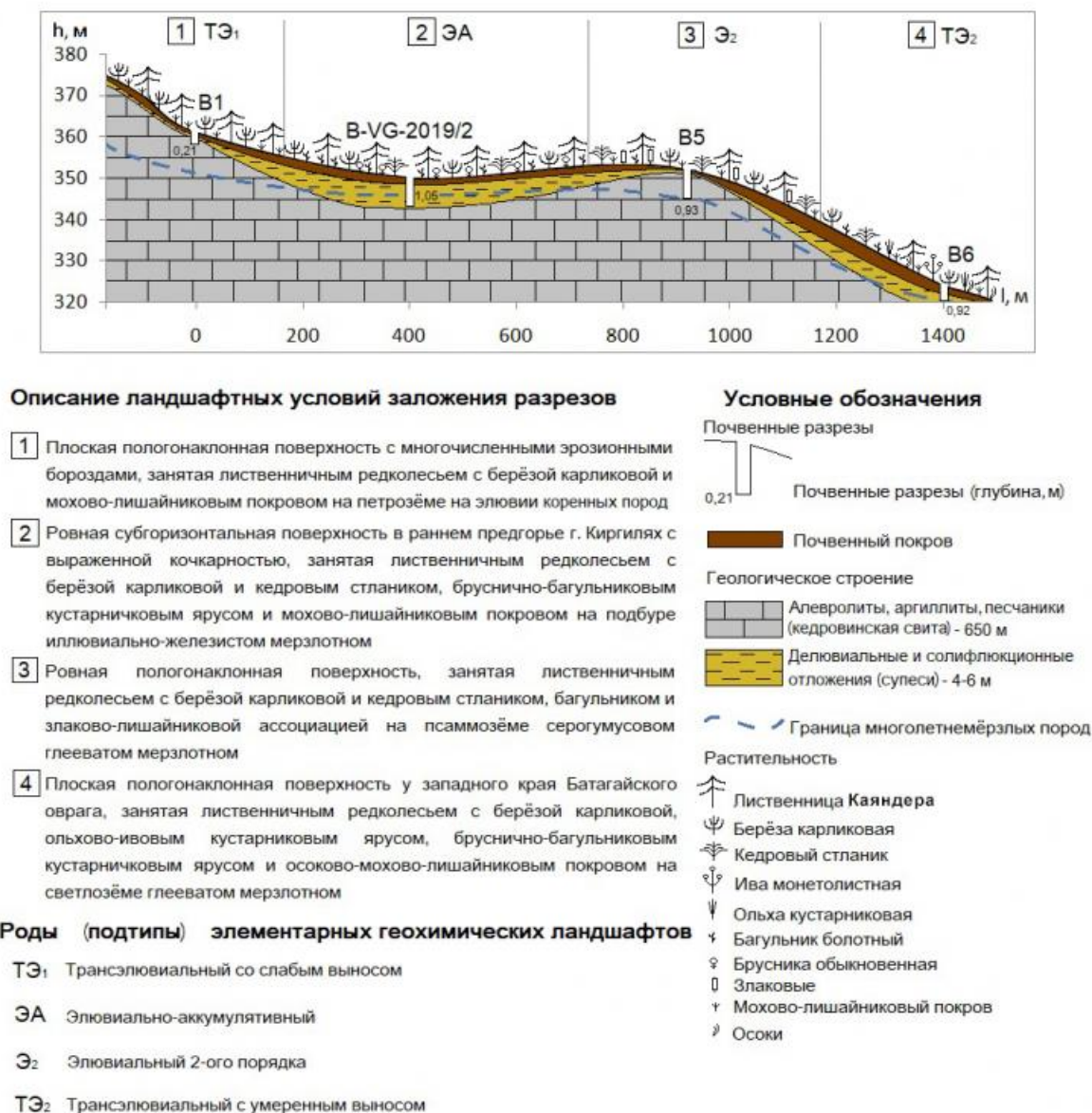


Рис. 25. Ландшафтно-геохимическая catena 1

В геологическом плане участок склона, на котором заложена catena 1 (рис. 26), представляет собой фундамент, сложенный твёрдыми породами (алевролитами, аргиллитами, песчаниками кедровинской свиты) триасового возраста, имеющими в данном районе мощность до 650 м (рис. 26). Сверху они перекрыты маломощным чехлом четвертичных делювиальных и солифлюкционных отложений мощностями от 4 до 6 м (рис. 27). На участках вблизи вершин склонов мощности делювиальных супесей минимальны, а наибольших мощностей достигают в седловинном понижении в середине склона и в нижней части пологого склона (место заложения разреза B6) [45].

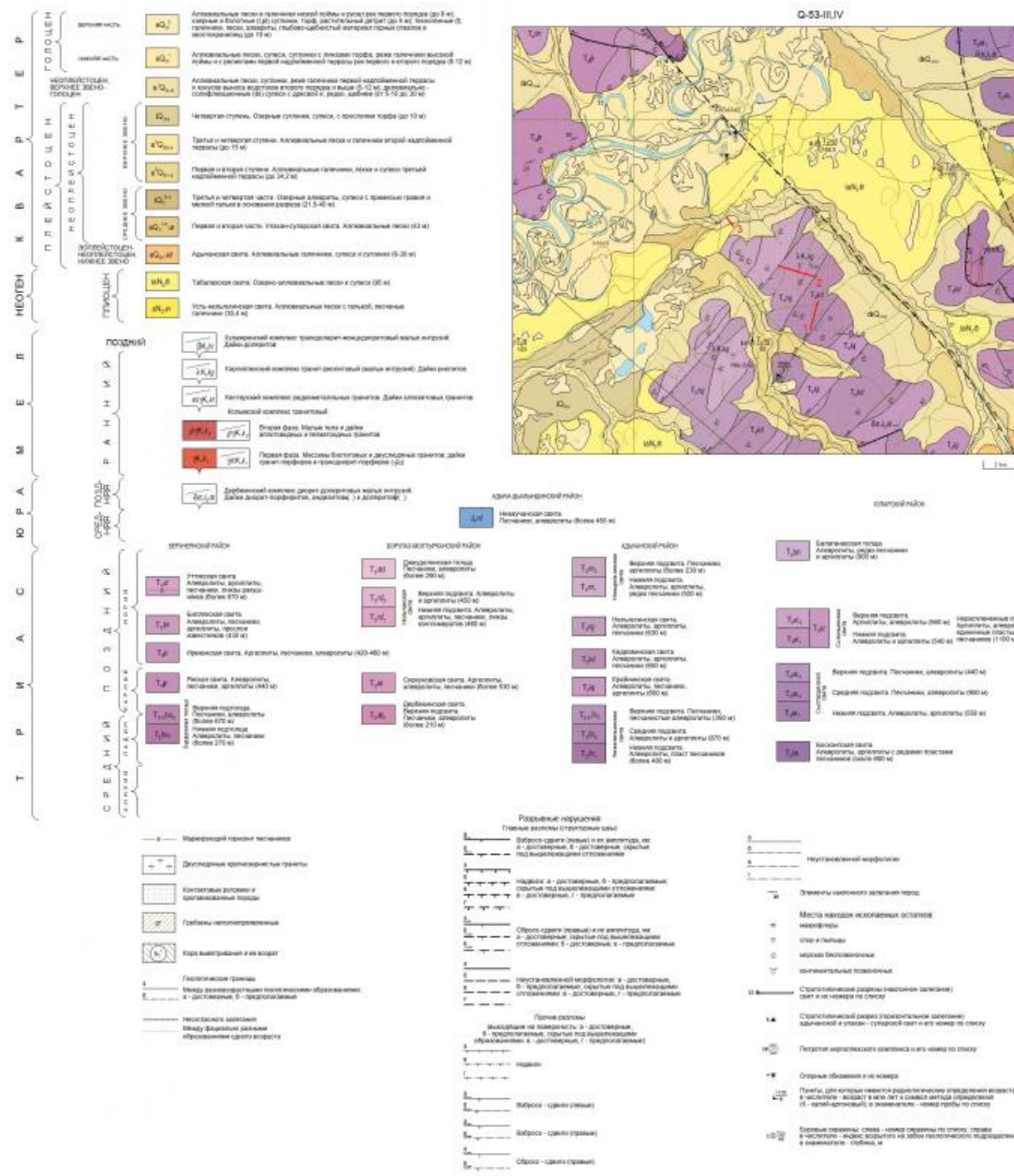


Рис. 26. Фрагмент геологической карты Q-53-III, IV (м-ба 1:200 000) [43]

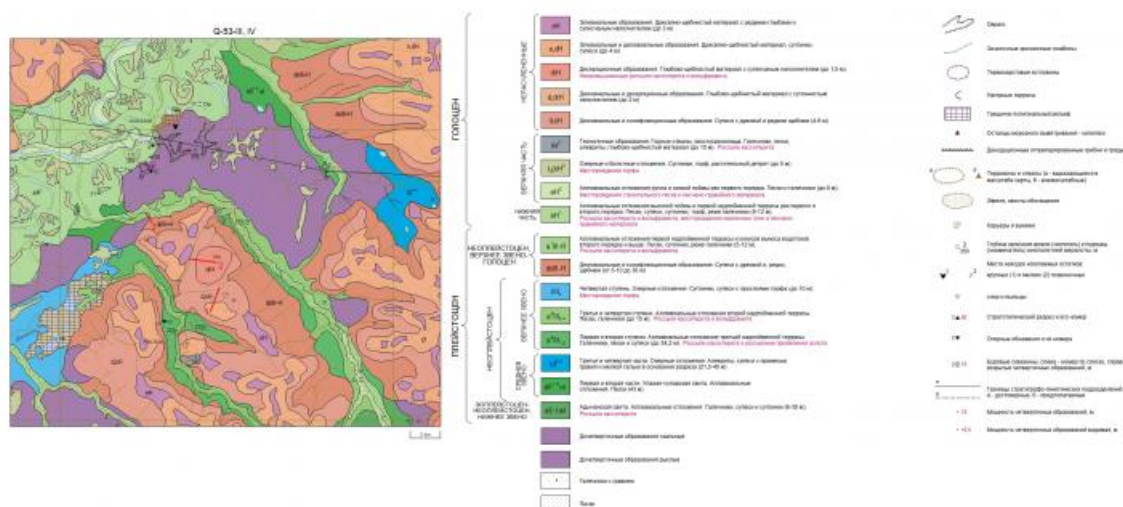


Рис. 27. Фрагмент карты четвертичных образований Q-53-III,IV (м-ба 1:200 000) [45]

В 3 из 4 заложённых почвенных разрезов была вскрыта верхняя граница слоя

многолетнемёрзлых пород. Форма кровли ММП в целом повторяет форму залегания твёрдых пород. Средняя глубина залегания кровли ММП составляет от 0,6 до 2,0 м от поверхности. Многолетнемёрзлыми являются как четвертичные, так и триасовые породы, составляющие геологическую основу территории.

Растительная ассоциация ввиду небольшой контрастности рельефа и топографических условий незначительно изменяет свой ботанический состав от верхней части склона к подножью. На всех четырёх ландшафтных участках растительность имеет черты, характерные для природной зоны лесотундры – наличие в древесном ярусе редкорастущей лиственницы даурской, а также кустарниковый ярус из берёзы карликовой и кедрового стланика с кустарничками (багульников, брусничкой и т.п.) и мохово-лишайниковым покровом из сфагновых мхов и белых лишайников. Наибольшее видовое разнообразие характеризует вогнутый участок у подножия пологого склона, где упомянутые выше растения соседствуют также с ивой монетолистной и ольхой кустарниковой (кустарниковый ярус), а также представителями семейств злаковые и осоковые (травяной ярус).

Верхняя часть пологого склона, а также выпуклая часть в середине склона, для которых характерно близкое залегание плотных пород, характеризуются слабо развитыми почвами (петрозёмами и псаммозёмами), для которых характерно наличие маломощного подстильно-торфянистого горизонта О (петрозёмы) или грубогумусового горизонта W (псаммозёмы), ниже которого залегает горизонт, слабо затронутые почвообразовательными процессами и состоящий из небольшого количества мелкозём с обильными включениями дресвы и гальки коренных пород. В седловинном понижении в середине склона разрезом В-VG-2019/2 был вскрыт генетический профиль подбур иллювиально-железистого, ведущим процессом в котором является торфоаккумулятивный – наслоение отмерших растительных остатков, формирующих горизонт О. В нижней части пологого склона разрезом В6 был вскрыт профиль почвы, характеризующейся наличием криометаморфического горизонта CRM [\[44\]](#), что позволило отнести её к светлосёмам.

Катена 2. Ландшафтно-геохимическая катена 2, заложенная на склонах г. Киргилях (рис. 28), пересекает поверхность в привершинной части горы, поверхность в средней части крутого склона и пологонаклонную поверхность у подножья г. Киргилях. В таких условиях рельефа заложены почвенные разрезы В3, В4 и В2, соответственно. Привершинная поверхность г. Киргилях относится к элювиальному (автономному) элементарному геохимическому ландшафту, а подчинённые ему трансэлювиальные ландшафты имеют умеренный (крутой склон) и слабый (пологий склон) вынос веществ. Таким образом, особенности рельефа и топографического положения обеспечивают вынос вещества из элювиального ландшафта привершинной поверхности и его транзит вдоль крутого и пологого склонов (рис. 28).

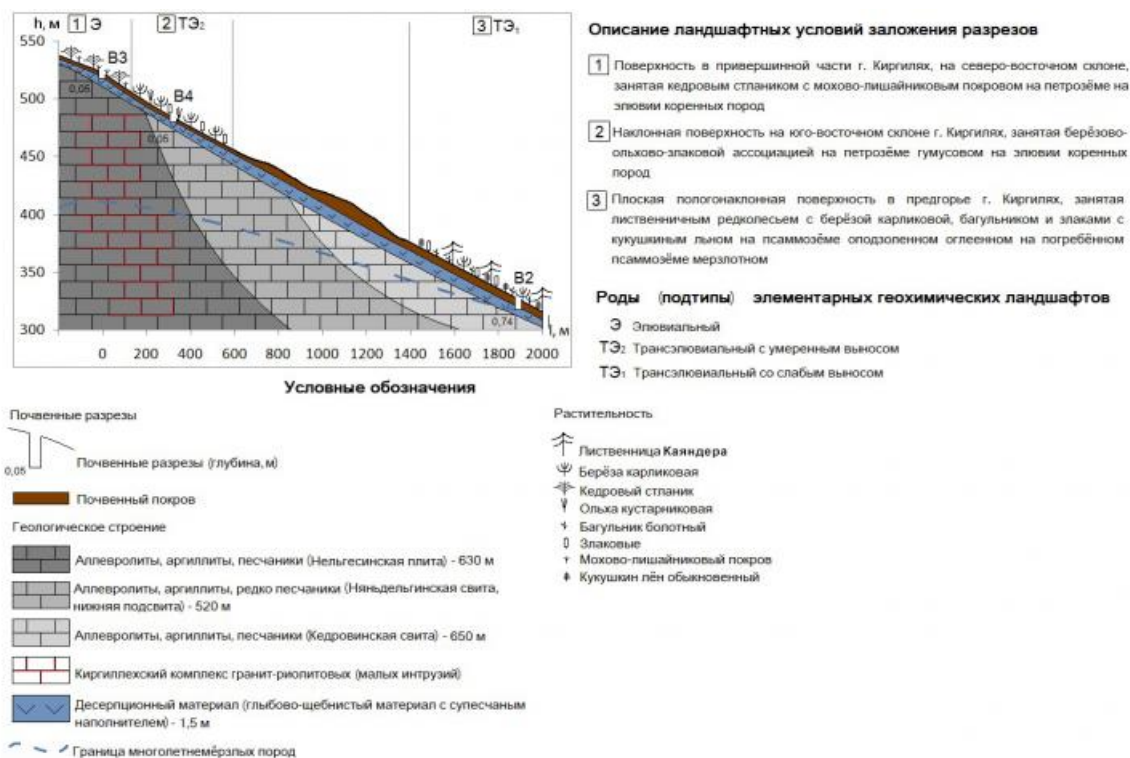


Рис. 28. Ландшафтно-геохимическая catena 2

Почвенные разрезы В3 и В4 не вскрывают горизонтов многолетней мерзлоты, так как имеют мощность всего 0,05 м. Средняя глубина залегания ММП здесь составляет около 5-10 м, что обеспечивается лёгким гранулометрическим составом отложений [43]. Граница ММП вскрыта почвенным разрезом В2 на глубине 0,74 м.

Растительная ассоциация на привершинной поверхности и в верхней части склона г. Киргилях имеет видовой состав, близкий к горно-тундровой ассоциации. Древесный ярус отсутствует, а кустарниковый ярус включает берёзу карликовую и кедровый стланик с мохово-лишайниковым покровом. Ниже по склону к ботаническому составу добавляются злаки. В нижней части склона растительная ассоциация становится ближе к лесотундровой – лиственничному редколесью с берёзой карликовой и травяным ярусом из злаков и кукушкина льна.

Почвенные разрезы в верхней части склона вскрывают слаборазвитые почвы – петрозёмы, профиль которых состоит из подстильно-торфянистого горизонта О и горизонта почвообразующей породы С, характеризующегося большим количеством включений крупных обломков пород. В разрезе В2, расположенном в подножье горы, вскрывается почва со сложным генетическим профилем псаммозёма оглеенного с признаком оподзоленности, который развивается на погребённом псаммозёме мерзлотном.

Катена 3. Ландшафтно-геохимическая catena 3, заложенная перпендикулярно руслу р. Батагайки вдоль склона прирусловой гряды. Вершина этой гряды представлена субгоризонтальной поверхностью (элювиальный геохимический ландшафт), а ниже по склону расположены участки крутого склона (трансэлювиальный ландшафт с интенсивным выносом) и пологонаклонная поверхность низкой поймы р. Батагайки (супераквальный транзитный ландшафт). Таким образом, вещества, поступающие в элювиальный ландшафт, выносятся из него через крутой склон и аккумулируются в низкой пойме (рис. 29).

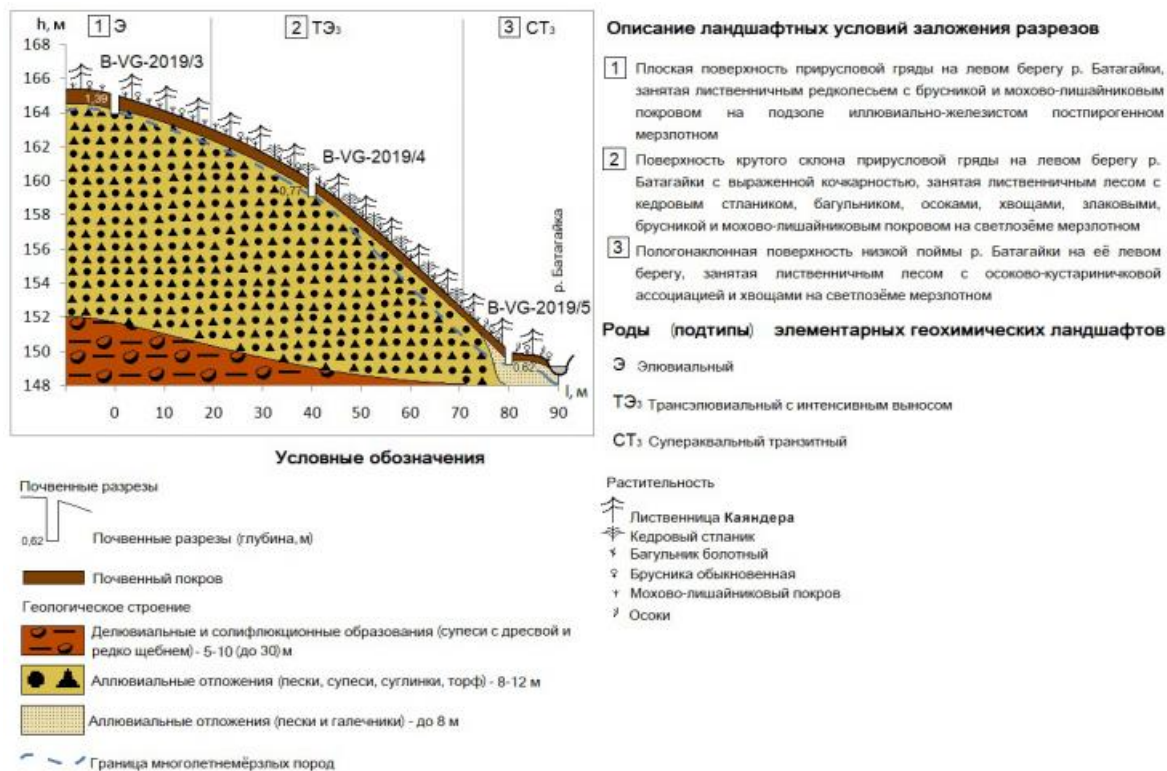


Рис. 29. Ландшафтно-геохимическая catena 3

Геологический разрез четвертичных отложений [5] показывает, что на глубинах 8-12 м здесь наблюдаются аллювиальные отложения (пески, супеси, суглинки и торф), а низкая пойма сложена русловой фацией аллювия мощностью до 8 м (пески и галечники). На глубине около 12 м аллювиальные отложения подстилаются делювиальными и солифлюкционными супесями с дресвой и щебнем (мощностью примерно 5-10 м, редко до 30 м) (рис. 27, 29).

Все три почвенных разреза, составляющие эту catena, вскрывают верхнюю границу кровли ММП. Средние глубины залегания ММП здесь составляют от 0,62 до 1,39. Под руслом Батагайки и других рек данного региона мощность талой зоны достигает 12 м [5].

Растительность здесь по видовому составу является северотаёжной. Древесный ярус составляет лиственничный лес, под которым развивается мохово-лишайниковый покров (в верхней части склона), а в нижней части склона и на пойме развит кустарниковый ярус из кедрового стланика и кустарничковый ярус из багульника и брусники. Пойма также занята травяным ярусом из злаков и осок.

Верхняя часть склона прирусловой гряды характеризуется почвенным покровом, состоящим из подзолов иллювиально-железистых (разрез B-VG-2019/3), а ниже по склону располагаются разрезы B-VG-2019/4 и B-VG-2019/5, вскрывающие генетические профили светлосе́мов, имеющих признаки криометаморфизации.

рН водных почвенных вытяжек

Значения рН почв в районе Батагайского мегаоврага варьируют в пределах от 4,65 до 6,88, что соответствует диапазону кислотности почв от среднекислых до близких к нейтральным. Профильное распределение значений рН по каждому из 5 разрезов своеобразно, формы кривых распределения практически не имеют общих черт. Значения рН светлосе́ма иллювиально-железистого мерзлотного распределены по разрезу B-VG-2019/1 таким образом, что на глубинах 0-40 (42) см они возрастают от 4,99 до 6,84,

после чего начинают убывать до 5,84, обнаруживая срединный максимум на глубине 40 (42) см. Подбур иллювиально-железистый мерзлотный в разрезе B-VG-2019/2 характеризуется волнообразной формой кривой распределения значений pH по профилю, при которой повышенные значения чередуются с пониженными. Имеется общая тенденция к уменьшению кислотности с глубиной: значения pH изменяются от 4,94-5,32 (в верхних 12 см почвы) до 5,76-6,02 (на глубинах 80-100 см).). В обоих случаях отмечены локальные минимумы значений pH над горизонтом многолетнемерзлых пород. Подзол иллювиально-железистый постпирогенный мерзлотный в разрезе B-VG-2019/3 также демонстрирует генеральную тенденцию к увеличению pH с глубиной, при этом максимум значений наблюдается на глубине 29 (34) – 80 см (в горизонте C1) – 5,93. Значения pH в светлосёме мерзлотном в разрезе B-VG-2019/4 постоянно убывают с глубиной от 4,65 (в верхних 5 см почвы) до 6,88 (на глубине около 62 см), а в псаммозёме серогумусовом глееватом мерзлотном в разрезе B-VG-2019/5 из аналогичной картины выбивается подстильно-торфянистый горизонт O (pH = 6,10), который является наименее кислым из всех 5 торфяных горизонтов.

Таблица 3. Значения pH водных почвенных вытяжек из образцов, отобранных вблизи Батагайского оврага в августе 2019 г.

№ образца	Почвенный разрез	Почвенный горизонт (глубина, см)	pH (водный)
1	B-VG-2019/1	O (0-4)	4,99
2		BF (4-13)	5,43
3		C1f (13-30)	6,12
4		C2fp (30-40 (42))	6,84
5		C3 (40 (42) – 50 (52))	6,72
6		CRM (40-45)	6,16
7		C4 (50 (52) – 84...)	5,84
8	B-VG-2019/2	O (0-5)	5,32
9		BF (5-12)	4,94
10		C1f (12-25)	4,83
11		C2f (25-47 (56))	6,48
12		C3f (47 – 56 (58))	5,51
13		C1_ _ (56 (58) - 61)	6,57
14		C2_ _ (70-80)	6,08
15		C3_ _ (80-95)	5,76
16		C4_ _ (95-100)	6,02
17	B-VG-2019/3	Opir (0-3)	5,51
18		E (3-9 (15))	4,99
19		BHF (9 (15) – 29 (34))	5,65
20		C1 (29 (34) – 80)	5,93
21		C2 (80-139)	5,67
22		C_ _ (139...)	5,41
23	B-VG-2019/4	O (0-3 (5))	4,65
24		E (3 (5) – 18)	4,68
25		CRM (18-44)	6,80
26		C (44...)	6,88
27		O (2 (3) – 12 (15))	6,10
28		E (12 (15) – 25 (28))	4,99

29	B-VG-2019/5	CRM (25 (28) – 62))	5,41
30		C (62...)	5,76

Содержание органического углерода и углерода гумусовых веществ в почвах

Содержание органического углерода в исследованных образцах почв варьирует в пределах от 0,97 до 7,32%. Большая часть органического углерода данных почв, как правило, сосредоточена в поверхностных подстильно-торфянистых горизонтах О, полностью состоящих из органического материала разной степени разложенности. В нижележащих горизонтах количество $C_{орг.}$ не превышает 1,61%, а чаще колеблется на уровне примерно 1% (табл. 4).

Таблица 4. Содержание органического углерода и углерода гумусовых веществ (%) в образцах почв, отобранных вблизи Батагайского мегаоврага

Код разреза	№ Образца	Горизонт	Глубина, см	$C_{орг.}$, %	Гумус, %
B-VG-2019/1	1	O	0-4	7,20	12,39
	2	BF	4-13	1,01	1,74
	3	C1f	13-30	1,05	1,81
	4	C2fp	30-40 (42)	1,00	1,72
	5	C3	40 (42) -50 (52)	1,21	2,09
	6	CRM	40-45	1,15	1,98
	7	C4	50 (52) - 84	1,11	1,91
B-VG-2019/2	8	O	0-5	3,39	5,82
	9	BF	5-12	1,09	1,88
	10	C1f	12-25	0,98	1,69
	11	C2fp	25-47 (56)	1,32	2,28
	12	C3f	47 (56) - 58	1,18	2,03
	13	C1_ _	58-61	1,61	2,78
	14	C3_ _	80-95	1,02	1,76
	15	C4_ _	95-100	1,60	2,75
B-VG-2019/3	16	Opir	0-3	7,32	12,60
	17	E	3-9 (15)	1,48	2,55
	18	BHF	9 (15) - 29 (34)	1,00	1,72
	19	C1	29 (34) - 80	0,97	1,67
	20	C2	80 - 139	0,99	1,70
B-VG-2019/4	21	O	0 (3) - 5	3,19	5,48
	22	E	3 (5) - 18	1,07	1,84
	23	CRM	18-44	1,00	1,71
	24	C	44-74	0,99	1,70
B-VG-2019/5	25	O	2 (3) - 12 (15)	1,18	2,04
	26	E	12 (15) - 25 (28)	1,74	3,00
	27	CRM	25 (28) - 62	2,05	3,52

Профильное распределение $C_{орг.}$ в данных почвах можно охарактеризовать как монотонное с ярко выраженным максимумом в верхних 3-5 см почвы. Тем не менее, светлосём мерзлотный, вскрывающийся в разрезе B-VG-2019/5, отличается от остальных почв картиной профильного распределения $C_{орг.}$, варьируя в узких пределах от 1,18 до

2,05%, концентрация $C_{орг.}$ в профиле светлосёма, напротив, возрастает с глубиной. Такую картину профильного распределения можно назвать иллювиально-элювиальной. Также заметными являются волнообразные колебания процентного содержания $C_{орг.}$ в горизонтах почвообразующей породы подбур иллювиально-железистого мерзлотного (разрез B-VG-2019/2) на глубинах 40-100 см (рис. 30). По видимому, различные свойства почв и криогенные процессы способствовали перераспределению $C_{орг.}$ в профиле подбур. Визуально выделяются срединный максимум содержания $C_{орг.}$ на глубине 59 см (C1_|_), а ниже – резкое падение уровня содержания органического углерода на глубине 82 см (C3_|_). Основываясь на таком распределении, можно сделать вывод о наличии радиального геохимического барьера на границе двух горизонтов многолетнемёрзлой почвообразующей породы.

Кривые процентного содержания гумуса в исследованных почвах в общих чертах повторяют форму графиков процентного содержания $C_{орг.}$ (см. рис. 30). Концентрации гумуса варьируют в пределах от 1,67 до 12,60%. Профильное распределение также в 4-м из 5-м почвенных разрезах показывает наибольшую концентрацию гумуса в поверхностных горизонтах O, за исключением светлосёма мерзлотного в разрезе B-VG-2019/5, где содержание гумуса, по аналогии с $C_{орг.}$, увеличивается с глубиной от 2,04 до 3,52%. В остальных разрезах уровень концентрации гумуса в горизонтах, лежащих под верхними 3-5 см почвы колеблется в районе 2-3%.

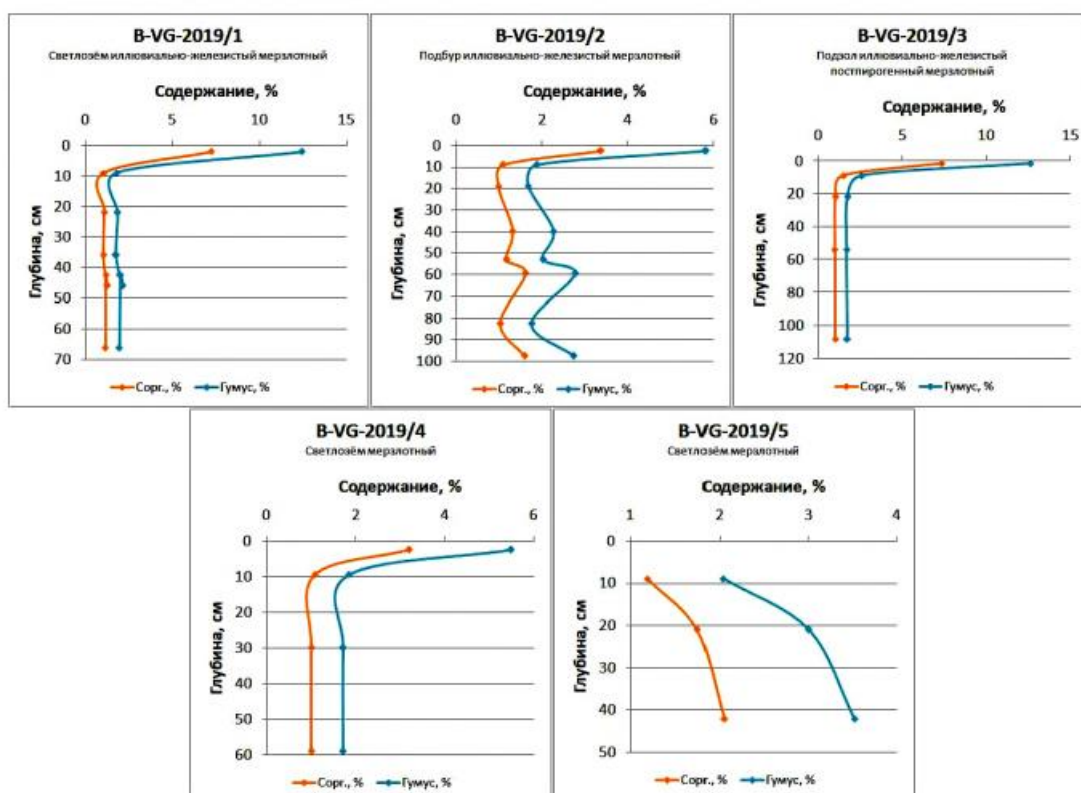


Рис. 30. Профильное распределение содержаний $C_{орг.}$ и гумуса (%) в профилях почв вблизи Батагайского мегаоврага

5. Дискуссия

А.Шепелевым и др. [47] были проведены полевые исследования сезонно-талого слоя

почв и залегающих под ним мёрзлых отложений, скрывааемых в стенках Батагайского оврага, в процессе которых были сделаны подробные криолитологические описания обнажений оврага в четырёх точках (нижнего ледового комплекса, верхнего ледового комплекса вблизи главной стенки оврага, обнажения на склоне южной экспозиции и верхнего ледового комплекса в обнажении северной экспозиции). Также данными авторами была произведена оценка содержания общего углерода (ТС), органического углерода (ОС) и неорганического углерода (IC) в отложениях, слагающих сезонно-талый слой почв и слои мёрзлых отложений.

Обнажения Батагайского оврага характеризуется наличием верхнего (мощностью 3-7 м) и нижнего (мощностью 20-25 м) ледовых комплексов, сложенных сильнольдистыми отложениями. Два ледовых комплекса (датируемых от 27,1 до 33,8 калибр. тыс. лет [\[10\]](#) и от 42 до 49 калибр. тыс. лет [\[49,50\]](#)) разделены песчаным слоем мощностью около 20 м и ярко выраженным 3-метровым слоем древесных остатков в основании верхнего ледового комплекса. Вышележащий чехол осадочных отложений, перекрывающий верхний ледовый комплекс, имел мощность 1,5 м. Отложения верхнего ледового комплекса содержали большое количество мёрзлых растительных остатков, представленных как корневыми частями растений, так и крупным фрагментами древесных стволов, а также ледяные жилы на глубинах 14-24 м от поверхности оврага. Под отложениями верхнего ледового комплекса, начиная с глубины 23-24 м, друг за другом последовательно залегали три маломощных (1-2 м) слоя, состоящие (сверху вниз) из супесчаного материала с песчаными прослоями, мёрзлого торфа с единичными фрагментами остатков древесной растительности и супесчаного материала с ожелезнёнными песчаными прослоями и небольшим количеством тонких древесных корней, соответственно. Также между ледовыми комплексами наблюдались тонкие бурые прослои органогенных отложений, имеющих резкий запах тухлятины и содержащий крупные включения древесного угля. Под ними, залегает слой жёлто-серого песчаного материала примерно 25 м мощностью, под которым наблюдается слой красно-рыжего ожелезнённого песка (0,4-0,5 м), а ниже находится видимая часть нижнего ледового комплекса (6-7 м). Нижний ледовый комплекс также содержит ледяные жилы, головы (верхние части которых) располагаются на глубине 0,4-1,2 м от верхней границы отложений нижнего ледового комплекса.

Содержание ОС в сезонно-талом слое почв варьировало в широких пределах от 0,3 до 12,5%, среднее содержание ОС в обнажениях на южном склоне составляло 3,5%, тогда как в обнажениях на склоне северной экспозиции оно было ниже (2,1%). В слое, располагавшемся под сезонно-талым, криостратиграфические свойства которого были близки к свойствам сезонно-талого слоя, среднее содержание ОС было в разы ниже и достигало всего 0,3%. Объяснить столь малое количество ОС в нём можно низким содержанием в нём влаги и замедленной, по сравнению с вышележащим слоем, скоростью протекания химических реакций разложения органических веществ. В отложениях верхнего ледового комплекса среднее количество ОС составило 1,04%, а в отложениях нижнего – 0,65%. Содержание IC было стабильно низким во всех точках отбора проб (чаще всего, не превышало 0,2-0,3%), что говорит о низкой концентрации углеродсодержащих соединений (карбонатов) в отложениях Батагайского оврага, что, как отметили авторы, является типичной чертой как сезонно-талого слоя, так и многолетнемёрзлых пород всего северо-востока Якутии. Основными породообразующими минералами здесь являются минералы группы оксидов. ТС, содержание которого складывалось из концентраций неорганической и органической форм углерода, из-за значительного преобладания последней во всех без исключения образцах отложений был распределён по вертикальному разрезу отложений Батагайского оврага

приблизительно схоже с ОС. Запасы углерода были наибольшими в верхней 15-сантиметровой толще сезонно-талого слоя почв, где составляли от 2,36 до 11,85 кг С/м², а в слое, находящемся непосредственно под сезонно-талым, наоборот, наименьшими – 1,8 кг С/м².

Используя спутниковые снимки систем Landsat и Sentinel, а также цифровую модель рельефа (ЦМР) ASTER, Vadakkedath et al. [48] провели геоморфометрический анализ Батагайского мегаоврага с акцентом на его внутренней части, рассмотрели, как изменялась форма, а также основные морфометрические параметры оврага – длина, ширина и глубина. Дополнительно были изучены пространственные распределения температур земной поверхности внутренней части оврага в наиболее жаркие дни и значения нормализованного дифференциального вегетационного индекса (NDVI) растительности, покрывавшей дно оврага в период с 1991 по 2018 гг. В 2018 г. максимальная длина Батагайского оврага равнялась 2104 м, ширина – 979 м, а глубина – 70 м. Площадь оврага стремительно увеличивалась за последние 27 лет. Авторы сообщают [48], что за это время она возросла втрое – с 0,19 км² до 0,78 км². В период наблюдений скорость роста оврага не была одинаковой. С 1991 по 1999 гг. она была равна 0,016 км²/год, с 2010 по 2014 гг. – 0,039 км²/год, а с 2014 по 2018 гг. – 0,022 км²/год. Средняя скорость роста оврага за весь период наблюдений составила 0,026 км²/год. Будучи наибольшей в период 2010-2014 гг., в следующие 4 года скорость расширения замедлилась. Авторы предполагают, что наряду с геологическими и климатическими причинами появление сукцессий растительности во внутренней части Батагайского оврага также является одним из факторов, предотвращающих столь стремительное таяние ММП и, как следствие, разрастание оврага.

То, что сильный нагрев поверхности земли является основной причиной увеличения площади оврага, авторы подтверждают данными спутниковых измерений температур поверхности в наиболее жаркие дни лета с 2010 по 2018 гг., согласно которым в 2010-2014 гг. наблюдались как наивысшие за весь период наблюдений скорости роста оврага, так и наибольшие температуры земной поверхности. Дополнительно эти данные подтверждаются тем, что на всей территории северной Сибири глубины оттаивания почв в 2010-2014 гг. были больше, чем в следующие 4 года. Анализ рельефа дна Батагайского оврага, проведенный по спутниковому снимку, показал, что наибольшей глубины овраг достигает в своих центральной и северной частях, где на данный момент уже растаяла значительная часть ММП, что согласуется с картиной пространственного распределения значений температур земной поверхности и тем самым подтверждает гипотезу о действующей силе этого фактора.

До 2014 г. значения индекса NDVI были близки к 0, что характерно для грубых слаборазвитых почв, песков, снега и т.п., однако, после 2014 значения начали быстро и уверенно возрастать от года к году, что сигнализировало о создании на дне Батагайского оврага относительно устойчивой растительной сукцессии. В 2018 г. среднее значение NDVI составило примерно 0,24, что значительно выше, чем в 2005 (0,16), 2010 (0) и 2014 (0,09). Сопоставление картин пространственного распределения значений NDVI и температуры земной поверхности показало, что чем больше было значение вегетационного индекса, тем слабее солнечные лучи прогревали поверхность почвы. Таким образом, авторы сделали предположение [48], что устойчивый плотный растительный покров способен замедлить темп таяния многолетнемерзлых пород, и, как следствие, предотвратить образование аналогичных Батагайскому термоэрозионному

мегаоврагу.

Согласно исследованиям Г.Н.Саввинова и др. [51] проведенных в 2010 г. структура современного почвенного покрова Киргиллях-Хатынгнахского горного массива представлена такими типами почв как: мерзлотные слаборазвитые (примитивные) каменистые почвы на горных плакорах и их склонах, на каменистых или щебнистых отложениях под кедрово-сланниковой и редкостойно-таежной растительностью, ниже по рельефу, на склонах почвы сменяются на мерзлотные подбуры, которые сформированы на элювиальных и элюво-делювиальных отложениях под лиственничниками с ерниковым и брусничным лишайниково-моховым покровом, в ложбинах стока, днищах долин малых рек (мелкодолинные типы местности) сформированы мерзлотные торфяно- и перегнойно-глеевые почвы, представлены мерзлотными аллювиальными слоистыми слабо развитыми (примитивными) песчаными почвами и разнообразностью мерзлотных аллювиальных почв. Наши исследования также выявили наличие примитивных петроземов на каменистых склонах. В почвенном покрове террасы р.Батагайка выявлены подзолы и светлосемы с оглеением на участках низкой поймы. И только вблизи оврага выявлены подбуры.

Заключение

Авторами в пределах района исследования были заложены 11 почвенных разрезов: четыре из них (разрезы В1, В-VG-2019/2, В5 и В6) составили почвенно-геохимическую катену вдоль пологого склона от сланцевых россыпей в районе бывшей промышленной добычи олова до практически вертикального обрыва на краю Батагайского оврага, три (разрезы В3, В4 и В2) – геохимическую катену вдоль крутого склона и подножья г. Киргиллях, и также три (разрезы В-VG-2019/3, В-VG-2019/4, В-VG-2019/5) – геохимическую катену вдоль крутого склона прирусловой гряды на правом берегу р. Батагайки. Почвообразующими породами районе Батагайского оврага являются в основном делювиально-солифлюкционные отложения супесчано-легкосуглинистого гранулометрического состава, подстилаемые алевролитами, аргиллитами и песчаниками триасового возраста, а прирусловая гряда была сложена 8-12-метровой толщиной аллювиальных песчано-супесчаных отложений, перекрывающих делювиальные супесчаные отложения с многочисленными включениями валунов и гальки. Горизонты многолетней мерзлоты были вскрыты в разрезах В-VG-2019/1, В-VG-2019/2, В-VG-2019/3, В-VG-2019/4, В-VG-2019/5, В2, В5 и В6 на глубинах от 62 до 139 см. Замечено, что глубина сезонно-талого слоя почв зависит от их гранулометрического состава: чем он легче, тем меньшую мощность имеет сезонно-талый слой. Многолетняя мерзлота представлена слабодистыми слитыми отложениями, чаще всего имеющими супесчано-легкосуглинистый состав, содержащими большое количество влаги и мало различных включений, имеющими окраску, как правило, более темную, чем вышележащие горизонты. Разрезы В1, В2, В3 и В4 вскрывают профили почв, которые были классифицированы, как петрозёмы и псаммозёмы (отдел слабо развитых почв), по наличию подстильно-торфянистого и грубогумусового горизонта в почвенном профиле, соответственно. Мощность данных почв не превышала 10 см, резко переходя на этой глубине в грубообломочный материал с небольшими количеством мелкозёма – вероятно, делювий коренных трассовых пород. Разрез В-VG-2019/2 в седловине на пологом склоне к Батагайскому оврагу вскрывает почвенный профиль подбура иллювиально-железистого мерзлотного. Разрез В-VG-2019/3 на вершине прирусловой гряды р. Батагайки – почвенный профиль подзола иллювиально-железистого мерзлотного. Остальные разрезы представлены светлосёмами различной мощности профиля, для которых диагностическим признаком является наличие горизонта криометаморфизации – CRM. Таким образом, фоновыми почвами в районе нашего исследования являются

светлозёмы, встречающиеся в разнообразных ландшафтных условиях, островное распространение в районе имеют подбурь, а к повышениям рельефа с близким к поверхности залеганием коренных пород приурочены слаборазвитые почвы. На аллювиальных отложениях в долине р. Батагайки (в автономных позициях) могут развиваться подзолы.

Основными процессами характерными для почв в районе Батагайского оврага являются: подстилкообразование, грубогумусово-аккумулятивный процесс, альфегумусовый процесс, оглеение и криогенное оструктуривание.

Библиография

1. Шепелев А.Г., Черепанова А.М., Мерзлотные ландшафты Верхоянского района на примере Батагайского провала и Кисильхской гряды (Северная Якутия) [Электронный ресурс] // Современные проблемы территориального развития: электрон. журн., 2019. №3, 13 с.
2. Vasil'chuk Yu K., Vasil'chuk J.Yu, Budantseva N.A., Vasil'chuk A.C., Trishin A. Yu. High-Resolution Oxygen Isotope and Deuterium Diagrams for Ice Wedges of the Batagay Yedoma, Northern Central Yakutia // Doklady Earth Sciences, 2019, vol. 487, part 2, p. 975-978. doi: 10.1134/S1028334X19080312
3. Васильчук Ю.К., Васильчук Дж.Ю., Буданцева Н.А., Васильчук А.К. Батагайская едома – уникальный криолитологический объект // Материалы докладов XIII Общероссийской научно-практической конференции и выставки «Перспективы развития инженерных изысканий в строительстве в Российской Федерации», 2017, с. 294-304.
4. Васильчук Ю.К., Васильчук Д.Ю., Буданцева Н.А., Васильчук А.К., Тришин А.Ю. Изотопно-геохимические особенности Батагайской едомы (предварительные результаты) // Арктика и Антарктика, 2017, № 3, с.69–96. doi: 10.7256/2453-8922.2017.3.24433.
5. Мурзин Ю.А. Термокарст восточного Верхоянья // Вестник СВФУ. Серия «Науки о земле», 2019, №1 (13), с. 48–54. doi: 10.25587/SVFU.2019.13.27556
6. Горохов А.Н., Иванов В.В., Кудинова З.А., Петров А.А. Оценка степени техногенного воздействия на природные комплексы Верхоянского района Республики Саха (Якутия) // Горный журнал, 2016, №9, с. 109-114. doi: dx.doi.org/10.17580/gzh.2016.09.22
7. Аристов В.В., Рыжов О.Б., Вольфсон А.А., Сидорова Н.В., Курмаев А.В. Орогенная золотая минерализация Адычанского рудного района (Восточная Якутия, Россия). Геологические условия локализации и геохимические особенности золото-кварцевых руд // Тихоокеанская геология, 2019, том 38, №5, с. 56-75.
8. Карпухина Е. Якутское олово на костях // Историческая Память, XX век (Радио Свобода), 2017. 7 с.
9. Павлов В.Г. Верхоянский улус (район) // Государственное управление и местное самоуправление, 2003, с. 316-319.
10. Vasil'chuk Yu.K., Vasil'chuk J.Yu. The first AMS dating of organic matter microinclusions in an ice wedge of the upper part of the Batagay yedoma megaslump (Yakutia) // Doklady Earth Sciences, 2019, vol. 489, Part 1, p. 1318–1321. doi: 10.1134/S1028334X19110096
11. 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 в Якутии //

- Вестник СВФУ. Серия «Науки о Земле», 2019, №2 (14), с. 36-49. doi 10.25587/SVFU.2019.14.35445
12. Ashastina K., Schirrmeister L., Fuchs M., Kienast F. // *Climate of the Past*, 2017, vol. 13, p. 795–818. <https://doi.org/10.5194/cp-13-795-2017>
 13. Vasil'chuk Yu. K., Belik A. D., Budantseva N. A., Gennadiev A. N., Vasil'chuk J. Yu. Carbon Isotope Signatures and Polyarenes in the Pedogenic Material of Ice Wedges of the Batagay Yedoma (Yakutia) // *Eurasian Soil Science*, 2020, vol. 53, No. 2, p. 187–196. doi: 10.1134/S1064229320020143
 14. Алисов Б.П. Климат СССР. Учебное пособие для высших учебных заведений. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1956, 126 с.
 15. Справочник по климату СССР // Гидрометеиздат, 1966. Вып. 24, Ч. 2, 105 с.
 16. Научно-прикладной справочник по климату СССР. Серия 3: многолетние данные. Гидрометеиздат, 1989. Вып. 24, Книга 1, Ч. 1-6, 303 с.
 17. Данные метеорологических измерений на метеостанции Батагай (<http://www.pogodaiklimat.ru/history/24263.htm>)
 18. Данные термометрических измерений на глубинах почв в Батагае (https://climate-energy.ru/weather/spravochnik/temp_grunt/climate_sprav-temp_grunt_242630112.php)
 19. Худяков О.И., Решоткин О.В. Динамика температуры мерзлотных почв в вегетационный период на фоне повышения среднегодовой температуры воздуха // *Почвоведение*, 2020, № 5, с. 576–589. doi: 10.31857/S0032180X2005007X
 20. Исаченко А.Г. Ландшафты СССР Л.: Изд-во ЛГУ, 1985. 320 с.
 21. Королёва Т.М., Хитун О.В., Чиненко С.В., Гоголева П.А., Зверев А.А., Петровский В.В., Пospelова Е.Б., Пospelов И.Н. Подходы к районированию на основе сходства географической структуры и видового состава локальных флор северной Якутии // *Вестник Удмуртского Ун-та. Биология. Науки о Земле*, 2016, том 26, вып. 2, с. 59–70.
 22. Захарова В.И., Кузнецова Л.В., Сосина Н.К., Егорова А.А. Список высших сосудистых растений // *Разнообразие растительного мира Якутии*. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2005, с. 42–91.
 23. Карта физико-географического районирования СССР. М-6: 1:24 000 000. Атлас СССР. Карты природы. Физико-географическое районирования. Главное управление геодезии и картографии при Совете Министров СССР, 1983, с. 120.
 24. Захарова В.И. Редкие и эндемичные растения реликтовых степей Якутии // *Вестник СВФУ*, 2011, том 8, №3, с. 16–22.
 25. Украинцева В.В. Флоры позднего плейстоцена и голоцена Сибири // *Ботанический журнал*, 1996, том 81, №12, с. 37–48.
 26. Ignatov M.S., Afonina O.M., Ignatova E.A. et al. Check-list of mosses of East Europe and North Asia // *Arctoa*, 2006, vol. 15, p. 1-130.
 27. Murton Ju.B., Edwards M.E., Lozhkin A.V., Anderson P.M., Savvinov G.N., Bakulina N., Bondarenko O.V., Cherepanova M.V., Danilov P.P., Boeskorov V., Goslar T., Grigoriev S., Gubin S.V., Korzun Ju.A., Lupachev A.V., Tikhonov A., Tsygankova V.I., Vasilieva G.V., Zanina O.G. // *Quaternary Research*, 2017, vol. 87, p. 314–330.
 28. Юрцев Б.А., Толмачёв А.И., Ребристая О.В. Флористическое разделение и районирование Арктики (арктической флористической области). Л.: Наука, 1978, с. 9–104.
 29. Исакова В.Г. Бриофлора степных сообществ среднего течения р. Яна (Северо-Восточная Якутия) // *Вестник СВНЦ ДВО РАН*, 2010, №4, с. 106–109.

30. Панов В.В., Протопопов А.В. Торфяники Табалахской впадины Республики Саха (Якутия) // Труды Инсторфа, 2012. №5 (58), с. 3-10.
31. Тимофеев П.А. Деревья и кустарники Якутии (под ред. А.П. Исаева) // Ин-т биологических проблем криолитозоны СО РАН, 2003, 64 с.
32. Pesterev A.P., Vasilyeva A.I., Ammosova M.N., Sobolev D.B. Unexplored soils of the Western Yakutia // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering, 2018, vol. 463, 022001. doi:10.1088/1757-899X/463/2/022001
33. Почвенная карта Якутской АССР м-ба 1:10 000 000 (Атлас Якутской АССР). Главное Управление Геодезии и Картографии при Совете Министров СССР, 1981. С. 18.
34. Национальный атлас почв Российской Федерации. М.: ООО Астрель, 2011, 631 с.
35. Собакин П.И. Миграция Cs137 в мерзлотных почвах Якутии // Радиационная биология. Радиоэкология, 2010, том 50, №5, с. 590-598.
36. Волковницер В.И. Некоторые особенности сухостепных почв северных и центральных районов Якутии // Биологические проблемы Севера, Якутск, 1974, с. 26-29.
37. Еловская Л.Г., Петрова Е.И., Тетерина Л.В. Почвы северной Якутии // Новосибирск: Наука, 1979, 304 с.
38. Саввинов Д.Д., Винокуров А.А. Климатические и геоэкологические условия формирования почв Северо-Востока Якутии // Наука и Образование, 2007, №2, с. 73-76.
39. Саввинов Д.Д. Почвы Якутии. Якутск, 1989, 152 с.
40. IUSS Working Group WRB. 2014. World reference base for soil resources 2014. International soil classification system for naming soil and creating legends for soil maps. World Soil Resources Reports No. 106. FAO, Rome, 181 p.
41. Оконешникова М.В., Десяткин Р.В. Почвы северных отрогов Хребта Черского в районе Полюса Холода: морфология, свойства, классификация // Почвоведение, 2017, №8, с. 926-935. doi: 10.7868/S0032180X17080093
42. Оконешникова М.В., Иванова А.З., Десяткин Р.В. Почвы Верхоянского хребта в пределах Аркачанского плато // Почвоведение, 2020, № 5, с. 509-518. doi: 10.31857/S0032180X2005010X
43. Геологическая карта Q-53-III,IV (м-ба 1:200 000). ВСЕГЕИ им. Карпинского, 2018.
44. Шишов Л.Л., Тонконогов В.Д., Лебедева И.И. Классификация и диагностика почв России. Изд-во Ойкумена, 2004, 342 с.
45. Карта четвертичных образований Q-53-III,IV (м-ба 1:200 000). ВСЕГЕИ им. Карпинского, 2018.
46. IUSS Working Group WRB Update 2015. World reference base for soil resources 2014. International soil classification system for naming soil and creating legends for soil maps. World Soil Resources Reports No. 106. FAO, Rome, 181 p.
47. Shepelev A.G., Kizyakov A.I., Wetterich S., Cherepanova A.M., Opel T., Jongejans L.L., Courtin J., Fedorov A.N., Meyer H., Ahn J., Syromyatnikov I.I., Savvinov G.N. Sub-surface Carbon Stocks in Northern Taiga Landscapes Exposed in the Batagay Megaslump, Yana Upland, Yakutia. Preprints 2020, 2020070525. doi:10.20944/preprints202007.0525.v1.
48. Vadakkedath V., Zawadzki J., Przeździecki K. Multisensory satellite observations of the expansion of the Batagaika crater and succession of vegetation in its interior from 1991 to 2018 // Environmental Earth Sciences, 2020, vol. 79, 150. <https://doi.org/10.1007/s12665-020-8895-7>

49. Vasil'chuk Yu.K., Vasil'chuk J.Yu., Budantseva N.A., Vasil'chuk A.C. New AMS dates of organic microinclusions in ice wedges of the lower part of Batagay yedoma, Yakutia // Doklady Earth Sciences, 2020, Vol. 490, Part 2, p. 100–103. doi: 10.1134/S1028334X20020154.
50. Vasil'chuk Yu.K., Vasil'chuk J.Yu., Budantseva N.A., Vasil'chuk A.C., Belik A.D., Bludushkina L.B., Ginzburg A.P., Krechetov P.P., Terskaya E.V. Major and trace elements, $\delta^{13}\text{C}$, and polycyclic aromatic hydrocarbons in the Late Pleistocene ice wedges: A case-study of Batagay yedoma, Central Yakutia // Applied Geochemistry, 2020, vol. 120, 104669. doi: 10.1016/j.apgeochem.2020.104669.
51. Саввинов Г.Н., Данилов П.П., Петров А.А., Макаров В.С., Боескоров В.С., Григорьев С.Е. Экологические проблемы Верхоянского района // Вестник Северо-Восточного федерального университета им. М.К. Аммосова, 2018, № 6 (68), с.18-33.

Результаты процедуры рецензирования статьи

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

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

Рецензия на статью «Криогенные почвы в районе Батагайского мегаоврага, север Якутии» Предметом исследования статьи является почвенный покров вблизи Батагайского мега оврага. Выбор объекта имеет важное прикладное и общенаучное значение, связанные с изучением участия почв в сложении ледяных жил и выявлением влияния развития едомы на почвенный покров окружающего пространства. Хорошее впечатление оставляет комплексность проведённых исследований. Тщательно проанализированы климатические, ландшафтные и геокриологические условия территории. Рассмотрены особенности растительных сообществ и проведена типизация почв. Был проведён обширный комплекс полевых и лабораторных исследований. В районе Батагайского оврага выше по склону была заложена почвенно-геохимические разрезы, включавшие привершинную поверхность склона, среднюю часть склона, а также выровненные поверхности вблизи Батагайского мега оврага. Образцы деятельного слоя почв отбирались из срединной части генетических горизонтов. Образцы многолетнемёрзлых пород (ММП) отбирались из выбуренных при помощи коронки кернов ММП. Отбор образцов почв сопровождался детальным описанием каждого опробуемого горизонта, включавшим описание цвета, равномерности окраски, влажности, гранулометрического состава, структуры, включений, новообразований, корней растений, сложения, характера перехода к нижележащему горизонту и ровности границы. Для определения содержания микроэлементов отбирались образцы из каждого почвенного генетического горизонта. Был проведён комплекс лабораторных методов для определения процентного содержания органического углерода и гумуса в образцах почв, отобранных вблизи Батагайского мегаоврага. Актуальность публикации определяется слабой изученностью почвообразовательных процессов деятельного слоя и верхнего горизонта многолетнемёрзлых пород в различных ландшафтных условиях на территории северной тайги. Научная новизна заключается в анализе особенностей почвообразования в условиях высокой интенсивности миграции вещества при больших уклонах поверхности (более 15°) на территории криолитозоны. Результаты, приводимые в статье, показывает её высокий научный уровень. Работа написана понятным для специалиста языком. Стиль изложения соответствует принятому для научных статей и свидетельствует о высоком уровне и широком научном кругозоре авторов. Структура работы логичная, изложение последовательное. Содержание статьи отражает проведённые исследования и позволяет сравнить полученные результаты с данными

других исследователей. Библиография насчитывает 51 источника. Широко представлены работы зарубежных исследователей. Большинство работ опубликовано в последнем десятилетии. В публикации собраны обширные данные о почвообразовании в условиях высокой интенсивности миграции вещества на территории северной тайги. Приведенные материалы привлекут внимание специалистов геокриологов, экологов, почвоведов, климатологов, физико-географов, а также всех интересующихся необычными природными явлениями к которым относится Батагайский мегаовраг, являющийся наиболее крупной термокарстовой котловиной в Северном полушарии. По поводу содержания статьи необходимо сделать некоторые замечания. В начале статьи высказано положение, что: «...позднеплейстоценовые ледяные жилы подходят практически к подошве деятельного слоя, т.е. существенного сноса вещества с поверхности едомы с конца плейстоцена не происходило. Значит, голоценовое почвообразование наследовало позднеплейстоценовые почвы и полностью их трансформировало». Данный тезис в тексте не раскрыт. Несмотря на это, статья имеет самостоятельную научную и практическую ценность, и может быть опубликована в журнале «Арктика и Антарктика».