

## ГЕНЕЗИС И ГЕОГРАФИЯ ПОЧВ

УДК 631.4

### ПОЧВЫ И ОТЛОЖЕНИЯ ОЗЕРНО-АЛАСНЫХ КОТЛОВИН ТУНДР КОЛЫМСКОЙ НИЗМЕННОСТИ

© 2020 г. С. В. Губин<sup>а</sup>, \*, А. В. Лупачев<sup>а</sup>

<sup>а</sup>Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН,  
ул. Институтская, 2, Пущино, Московская область, 142290 Россия

\*e-mail: [gubin.stas@mail.ru](mailto:gubin.stas@mail.ru)

Поступила в редакцию 28.05.2019 г.

После доработки 29.10.2019 г.

Принята к публикации 27.12.2019 г.

Почвообразование на террасах озерно-аласных котловин в тундровой зоне Колымской низменности протекает на отложениях, различающихся своим происхождением, но обладающих достаточно высоким сходством состава и свойств материала. Строение почв и почвенного покрова террас и склонов котловин отражает основные тренды протекающего здесь в голоцене почвообразования и происходящей перестройки ландшафтной обстановки. На террасах высокого и среднего уровней четко прослеживается тенденция развития почв в направлении формирования криоземов, доминирующая и на территории водораздельных поверхностей. На террасах низкого уровня и днищах озерно-аласных котловин идут оглеение и торфонакопление, имеющие здесь устойчивый и прогрессирующий характер. Почвообразование протекает при близком залегании границы многолетней мерзлоты, расположенной на глубине менее метра, и все формирующиеся на рассматриваемой территории почвы, относятся к мерзлотным (Cryosols).

*Ключевые слова:* криозем, Cryosol, торфяные почвы, Histosol, криогенный массообмен, термокарст, террасы

**DOI:** 10.31857/S0032180X20070047

#### ВВЕДЕНИЕ

Обширные территории приморских низменностей Севера Якутии сложены высокольдистыми позднеплейстоценовыми отложениями ледового комплекса (ЛК) или продуктами их переработки в голоцене — озерно-аласными и, в меньшей степени, аллювиальными отложениями. Масштабное потепление на границе голоцена и плейстоцена привело к началу быстрой и коренной перестройки общей ландшафтной обстановки равнин Древней Берингии, резкому увеличению гидроморфизма их поверхности, а последовавшее за этим перераспределение влаги и ее накопление на отдельных участках — обусловило формирование множества термокарстовых западин и озер. Их дальнейшее развитие коренным образом преобразовало поверхность и ландшафты низменностей. По проведенным оценкам, в различных частях их территории от севера таежной зоны до арктических побережий останцы позднеплейстоценовых равнин, сложенные отложениями ЛК и называемые едомами, могут занимать от 15 до 40% площади отдельных районов [4, 13]. Остальные территории представляют собой обширные озерно-аласные котловины, часто именуемые “аласа-

ми”, размеры которых могут достигать площади десятков квадратных километров. Котловины сильно террасированы, что отражает их развитие с начала голоцена до настоящего времени под влиянием активной перестройки озерно-речных систем. Изучение почв и почвенного покрова на террасах и днищах в разные периоды голоцена сошедших термокарстовых озер позволяет проследить тренд современного почвообразования, установить его зависимость от подстилающих почвы отложений, возраста поверхностей, изменения степени их гидроморфизма, развития мерзлотного рельефа различных уровней, растительного покрова и других факторов, определяющих формирование почв.

#### ПОДХОДЫ И МЕТОДЫ

Работы по изучению отложений и почв озерно-аласных котловин (ОАК) проводились на территории Колымской и Яно-Индибирской низменностей в пределах южных, типичных и арктических тундр. Маршрутными исследованиями были охвачены водораздельные пространства и территории многочисленных ОАК, прилегающих к водосборам крупных рек низменностей: Колы-



Рис. 1. Участки проведения исследований почв озерно-аласных котловин на Колымской низменности.

мы, Б. Чукочьей, Алазеи, Б. Куропаточьей, Гальгаваама, Б. Хомус–Юряха, Аллаихи, Индигирки и более мелких их притоков (рис. 1). Работы реализовались путем заложения более 50-ти трансект, пересекающих поверхности котловин от водораздельных участков, через террасы всех уровней до днищ сошедших озер. Изучены долины рек, большинство террас которых являются днищами ранее сошедших термокарстовых озер. Исследования проводились преимущественно в конце летнего сезона, в сроки близкие к периоду максимального сезонного оттаивания профилей. Параллельно с почвами, в расчистках термоэрозийных обрывов берегов озер, ОАК, рек и морских побережий изучалось строение подстилающих почвы отложений – ледового комплекса, покровного слоя, представляющего слой оттаивания отложений в ранние, более теплые периоды голоцена и ныне находящегося в мерзлом состоянии, слоев озерных осадков и таберальных толщ. Особое внимание было уделено нижним частям профилей и самым верхним слоям многолетней мерзлоты на склонах террас, где активно проявляются признаки солифлюкции – течения, сползания и перемешивания материала ранее формировавшихся и ныне формирующихся почв. В ходе морфологического описания особое внимание уделялось оценке участия этого материала в формировании профилей современных почв.

При проведении полевых работ почвенные разрезы углублялись на 10–20 см в подстилающую многолетнюю мерзлоту. В связи с активно идущим на территории рассматриваемых тундр пятнообразованием, постепенным зарастанием пятен и присутствием в почвенном покрове широкого спектра криоземов – от почв голых пятен

до полноценно развитых профилей – для физико-химических исследований были выбраны почвы, обладающие наиболее полноразвитыми профилями. При полевых исследованиях криозем выделяемый в Классификации почв [19] диагностический горизонт CR был разделен на две части CR<sub>1</sub> и CR<sub>2</sub>. Это вызвано устойчивым и значительным различием верхней и нижней частей CR по структурным признакам, плотности сложения материала, реже по окраске и доле криотурбированного грубого органического материала в общем материале горизонта.

Морфологическое строение почв, их химические свойства и свойства подстилающих отложений на террасах разного уровня и возраста изучалось в узких зонах трансект. Для получения дополнительных представлений о характере исследуемых почв привлечены аналитические материалы по почвам других районов Колымской низменности, преимущественно в пределах типичной и арктической тундры.

Оценка площадей, занятых террасами разного уровня, проводилась на базе 23 крупных урочищ, занятых ОАК, с использованием карт масштаба 1 : 200 000 и 1 : 100 000, материалов космической съемки, дополненных маршрутными наблюдениями.

При подсчетах, оценке и сравнении площадей, занятых террасами разного уровня в пределах ОАК, исключены площади, занимаемые в них поверхностями озер. Аналитические исследования почвенных образцов выполнены в ЦКП ИФХиБПП РАН. Определение валового содержания органического углерода (С орг) и общего азота (N общ) в почвенных образцах выполнено с помощью автоматического HCNS-анализатора “Elementar Vario El III” (Германия). Валовой состав определялся рентген-флуоресцентным методом на Spectroscan MAX GV (Россия). При проведении работ использована Классификация и диагностика почв России 2004 г. [19], Мировая реферативная база почвенных ресурсов [22], Полевой определитель почв России [23].

#### ОРГАНИЗАЦИЯ И РАЗВИТИЕ АЛАСНЫХ КОТЛОВИН ПРИМОРСКИХ НИЗМЕННОСТЕЙ

Район исследований характеризуется суровостью климата (средняя температура января –35...–37°C, июля 8–12°C, общее количество осадков – менее 150 мм), на долю летнего периода приходится около 1/3. Деятельный слой начинает оттаивать в конце мая, промерзает – в конце сентября–смыкание мерзлоты приходится на середину–конец октября. Мощность многолетнемерзлых пород составляет более 600 м, их температура –7...–13°C,

глубины сезонного оттаивания не превышают 80 см [2].

Общепринято, что перестройка рельефа приморских низменностей связана с резким потеплением на границе голоцена—плейстоцена, начавшимся 12–13 тысяч лет назад [13–15, 24, 27, 29]. Поверхность территорий низменностей на заключительном этапе плейстоцена была сложена отложениями ЛК с повторножильными льдами (ПЖЛ), образующими в плане решетку с полигонами, достигающими в поперечнике до 12 м. Под современным деятельным слоем, мощностью до 70 см, расположен мерзлый покровный слой, сформированный при оттаивании верхней части ЛК во время климатического оптимума голоцена [13, 24, 27] и достигающий в тундре мощности 1.2 м. На отдельных участках он может замещаться слоями оттаивавшего в начале голоцена материала, находившегося под днищами быстро сошедших мелких термокарстовых озер (“зачаточные” или “незавершенные” аласы по Каплиной [13]). Мощность подобных слоев не превышает 3–5 м.

В наиболее крупных ОАК количество террас может достигать 8, чаще — 4–5. Ширина их поверхностей колеблется от десятков до первых сотен метров, высота склонов террас 15–20 м. Превышение водораздельных поверхностей над днищами котловин в типичной тундре достигает 35–40 м и снижается с продвижением на север к побережью до 25–30 м. Днища наиболее глубоких котловин находятся на 1–5 м над уровнем моря.

Рельеф котловин обладает сложным строением, зависящем от их поперечных размеров, их возраста, глубины вреза, удаленности от основных дренирующих рек, связи между отдельными котловинами в пределах крупных их объединений (рис. 2). Важную роль играет неотектоника. В районах тектонических поднятий, определяющих повышенный дренаж препятствующих развитию термокарста, ОАК занимают ограниченные площади, их склоны характеризуются большой крутизной, более слабой террасированностью [4]. Районы опусканий практически полностью заняты аласами, на днищах которых сохраняются мелкие активно зарастающие озера, переходящие в сильно заболоченную тундру [4]. Анализ материалов космической съемки последних 20-ти лет показывает, что даже частичный сход озер на подобных территориях в настоящее время явление редкое. Это подтверждает вывод Каплиной, что на “основной части низменностей в настоящее время рельеф находится в состоянии близком к равновесному и термокарст в рассматриваемом регионе практически не развивается” [13].

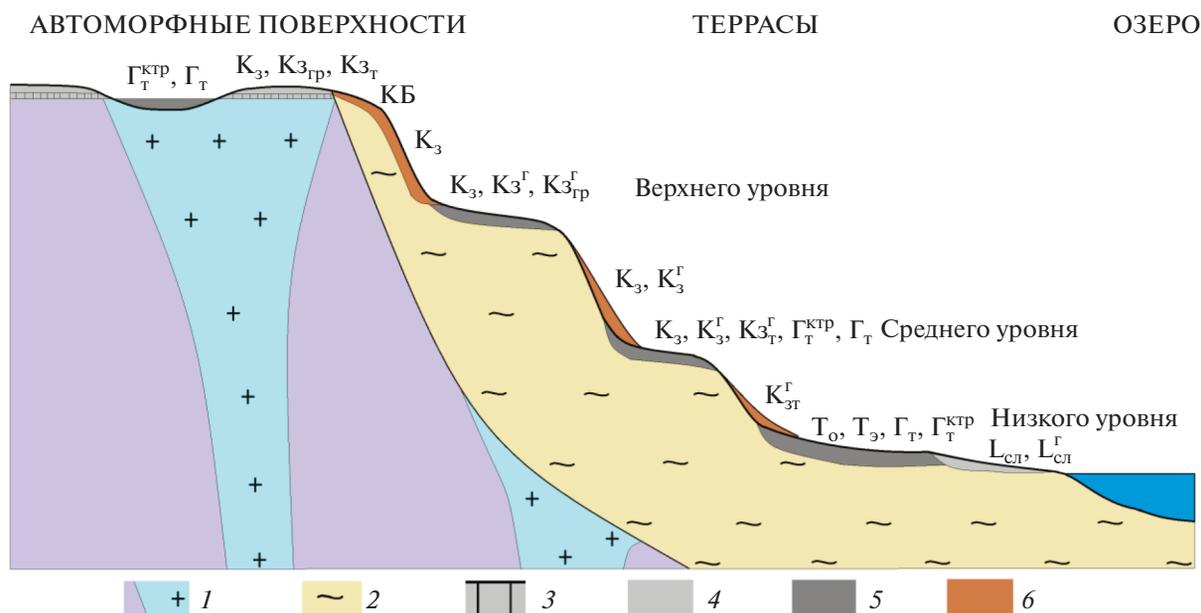
В результате динамичного развития аласов, при начальном обособлении, а в дальнейшем слиянии многих формирующихся ОАК, установить конкретное время формирования отдельных

террас весьма сложно. Существуют аласы, в которых сброс основной массы вод озер в соседние более углубленные котловины или дренажные речные системы произошел в первой половине голоцена. В случае сохранения в отдельных частях подобных котловин озер они продолжают врез до уровня современной гидрографической сети. Нередко, в ходе подобной перестройки, уже сформированные террасы обособляются, образуют изолированные останцы разных уровней, дальнейшее развитие поверхностей которых продолжается уже в автономном режиме, близком к режиму водоразделов. Поверхности подобных останцов сложены озерными отложениями [7].

### ХАРАКТЕРИСТИКА ОСНОВНЫХ ПОЧВООБРАЗУЮЩИХ ПОРОД, СЛАГАЮЩИХ АЛАСНЫЕ КОТЛОВИНЫ

Почвообразующие породы, выполняющие ОАК, представлены набором отложений, объединенных под понятием “аласный комплекс” [14, 15, 18]. К ним относятся отложения ЛК и склоновые, образующие делювиальные шельфы, таберальные образования, озерные осадки, собственно аласные отложения.

**Позднеплейстоценовые отложения ЛК** приморских низменностей Севера Якутии сформированы при участии синлитогенного почвообразования в условиях тундростепных ландшафтов Древней Берингии [22, 26, 27]. Формирование отложений происходило 50–13 тыс. лет назад и охватывало МИС 3 (каргинский термохрон) и наиболее холодную стадию позднего плейстоцена МИС 2 (сартанский криохрон) [24, 30, 31]. Различия биоклиматической обстановки этих периодов прослеживаются в строении и свойствах накопившихся в это время осадков, содержания в них С орг. В отложениях МИС 3 эти показатели несколько выше, в них встречаются горизонты погребенных почв [6, 24, 30, 31]. В остальном толще МИС 2 и МИС 3 характеризуются значительным сходством. В подавляющем большинстве районов Колымской низменности отложения ЛК сложены пылеватыми суглинками с абсолютным преобладанием фракции средней пыли и низким содержанием ила (табл. 1). В составе реликтового органического вещества (С орг 0.8–2.0%) абсолютно преобладает мельчайший (<0.02 мм) сильно минерализованный растительный детрит, состоящий из остатков злаков, осок, мхов, кустарничковой растительности (табл. 2). Микроформы выделений гумусовых веществ имеют подчиненное значение и представлены темным аморфным материалом в виде тонких пленок и мельчайших сгустков, расположенных на поверхности отдельных пылеватых частиц. В материале отложений *in situ* присутствуют единичные тончайшие, сильно минерализованные остатки корней травянистых растений размером 0.5–2.0 см.



**Рис. 2.** Распределение почв в пределах озерно-аласных котловин тундровой зоны Колымской низменности. Обозначения: 1 – отложения ледового комплекса; 2 – таберальные отложения; 3 – покровный слой голоценового оттаивания; 4 – современные озерно-аллювиальные отложения; 5 – озерно-аласные отложения; 6 – делювиальные отложения. Типы и подтипы почв (индексы в соответствии с Классификацией ..., 2004 [19]): К<sub>з</sub> – криоземы типичные (Turbic Cryosol); К<sub>з<sub>гр</sub></sub> – криоземы грубогумусовые (Turbic Histic Cryosol); К<sub>з<sup>г</sup></sub> – криоземы глееватые (Turbic Reductaquic Cryosol); К<sub>з<sub>гр</sub><sup>г</sup></sub> – криоземы грубогумусовые глееватые (Turbic Histic Reductaquic Cryosol); К<sub>з<sub>т</sub></sub> – торфяно-криоземы типичные (Histic Cryosol); К<sub>з<sub>т</sub><sup>г</sup></sub> – торфяно-криоземы глееватые (Histic Reductaquic Cryosol); КБ – криометаморфические мерзлотные (Cambic Cryosol); Г<sub>т</sub> – торфяно-глееземы мерзлотные (Reductaquic Histic Cryosol); Г<sub>т</sub><sup>ктр</sup> – торфяно-глееземы криотурбированные мерзлотные (Reductaquic Histic Turbic Cryosol); Т<sub>о</sub> – торфяные олиготрофные мерзлотные (Cryic Histosol); Т<sub>э</sub> – торфяные эвтрофные мерзлотные (Cryic Histosol); Л<sub>сл</sub> – озерно-слоистые мерзлотные (Cryosol (Fluvic)); Л<sub>сл</sub><sup>г</sup> – озерно-слоистые глееватые мерзлотные (Reductaquic Cryosol (Fluvic)).

Грубогумусность отложений, сходство состава детрита, его содержания отражено в значениях С : N, находящихся здесь в пределах 10–12 и слабо меняющихся по глубине. Реакция материала отложений ЛК нейтральная, реже слабощелочная. Важным свойством отложений является высокое содержание в них подвижных форм биофильных элементов, в особенности фосфора (вытяжка Кирсанова), достигающих значений в отдельных слоях до 50 смоль (экв)/кг почвы, что на порядок превышает его содержание как в верхних горизонтах современных тундровых почв, так и в высокоплодородных почвах других природных зон, включая пахотные. Высоко в отложениях содержание подвижных форм калия, присутствуют минеральные формы азота [12]. Потенциальное плодородие отложений ЛК в современных условиях реализуется на крутых, свежееоттаявших, незадернованных склонах или делювиальных шлейфах. На крутых склонах южной экспозиции подобные участки быстро заселяются злаковой или травянистой растительностью, наземная биомасса которой во много раз превосходит биомассу расти-

тельного покрова на выположенных, задернованных мхом поверхностях.

Валовой состав отложений ЛК характеризуется большим сходством содержания в них основных элементов, как в пределах отдельных котловин, так и на территории низменностей в пределах современных тундр, что ранее уже отмечалось в литературе [24]. Содержание подвижных форм фосфора невысоко, даже в слоях, характеризующихся значительным его валовым содержанием (табл. 3).

В процессе образования термокарстовых озер под их днищами происходит оттаивание отложений ЛК и формируются *подозерные талики*. Их мощность может достигать первых десятков метров, что определяется массой воды в озере, глубиной, длительностью существования озера. После схода вод в озере или уменьшения их объема до критических значений, вновь происходит промерзание талика, и его материал уже рассматривается в качестве таберальных толщ.

*Таберальные толщи* обладают голубоватыми тонами, связанными с присутствием в них окисленного вивианита, формировавшегося в восстанови-

Таблица 1. Гранулометрический состав почв озерно-аласных котловин (%)

№ разреза	Горизонт	Глубина, см	Фракции, мм							
			1–0.25	0.25–0.05	0.05–0.01	0.01–0.005	0.005–0.001	<0.001	>0.01	<0.01
418	CR1	10–40	0.6	8.2	68.5	6.6	7.1	9.0	77.2	22.8
	CR2	40–58	0.8	11.9	60.5	6.9	6.6	13.3	73.2	26.8
	CR-C	58–66	0.2	19.8	54.1	6.4	10.4	9.1	74.1	25.9
428	CR1	11–38	1.3	10.6	52.7	10.1	12.1	13.3	64.5	35.5
	CR2	38–56	0.5	7.6	59.2	12.2	7.1	13.5	67.2	32.8
	CRO	56–62	0.4	2.8	58.8	13.8	11.8	12.4	62.0	38.0
512	CR	12–38	0.3	5.6	49.2	13.1	16.6	12.4	55.0	45.0
	CRg	38–51	0.5	10.0	50.8	10.0	11.4	14.7	61.3	38.9
	Cg	51–60	0.6	7.7	56.6	10.2	10.1	14.9	64.9	35.1
521	G1	12–20	0.9	6.9	56.9	11.0	14.4	10.0	64.6	35.4
	G2	20–40	0.7	9.6	70.0	5.8	8.0	6.1	80.2	19.8
	C	40–55	0.2	7.1	69.2	3.1	9.7	10.8	76.4	23.6
511	W	2–15	0.8	8.0	46.0	19.9	14.8	10.4	54.8	45.2
	Cg	15–58	0.3	5.6	49.2	16.6	16.5	12.0	55.0	45.0
	C	80	0.5	10.0	50.8	11.4	14.6	12.7	61.3	38.7

тельной среде подозерного талика, обогащенной подвижными формами фосфора. По сравнению с отложениями ЛК, они обладают более однородным строением. Здесь несколько снижается содержание С орг, его распределение по толще становится более равномерным, уменьшаются показания ППП, более узким и стабильным становится отношение С : N, что указывает на более глубокую трансформацию растительного детрита. Реакция среды нейтральная, материал таберальных толщ также характеризуется высоким содержанием подвижных форм фосфора, при сходном с отложениями ЛК валовом содержании (табл. 3, 4). Это позволяет распространить впервые установленный Жиготским [12] феномен высокого содержания подвижных форм фосфора в толщах ЛК не только на плейстоценовые отложения ЛК приморских низменностей Севера Якутии, но и на их материал, прошедший трансформацию в процессе нахождения в условиях подозерного оттаивания.

По сравнению с отложениями ЛК в таберальных толщах несколько увеличивается содержание подвижных форм оксида Fe. Сумма обменных оснований, при доминировании в них Са, и содержание CO<sub>2</sub> карбонатов остаются сопоставимыми с аналогичными показателями в отложениях ЛК. Близким остается и валовой состав основных элементов.

Материал таберальных толщ характеризуется уплотненным сложением, в нем полностью исчезают остатки корневых систем. Наиболее существенные изменения прослеживаются в микростроении органической составляющей: резко

уменьшается общее содержание растительного детрита. Редкие мельчайшие частички остатков мхов и корневых систем травянистых растений по сравнению с отложениями ЛК приобретают признаки более сильной минерализации. Микроморфологические формы выделений гумусовых соединений представлены исключительно тончайшими серыми пленками, покрывающими поверхности пылеватых частиц. Эти наблюдения хорошо согласуются с показателями ППП и С : N в этих толщах.

Уплотнение сложения материала, резкое уменьшение его льдистости, влажности при оттаивании, базальная криотекстура льда, уменьшение содержания и изменение свойств детрита и характера выделений гумусовых соединений определяют отличия в поведении таберальных толщ при оттаивании и образовании уступов террас. Материал их стенок медленнее оттаивает, значительно слабее оплывает и способен длительное время держать большие углы наклона, вплоть до вертикальных. Это определяет относительно большую крутизну уступов террас, их склонов, небольшие площади делювиальных шлейфов.

Материал делювиальных отложений характеризуется высоким разнообразием свойств и химических характеристик, определяемых исходным материалом склонов, склоновыми процессами, характером почвообразования, развитым здесь растительным покровом, возрастом террас. Делювиальные отложения характеризуются повышенным содержанием погребенного, в разной степени разложившегося материала бывших

Таблица 2. Характеристика свойств отложений озерно-аласных котловин

Объект	Глубина, м	ППП	С орг	C : N	рН <sub>водн</sub>	Сумма обменных оснований, смоль (экв)/кг	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CO <sub>2</sub> карб	Гранулометрический состав, мм			
											по Кирсанову, мг/кг	>0.01	<0.01	<0.001
												%		
ЛК МИС 3	12.0	9.0	1.4	12.0	0.8	10.0	314	121	1.08	0.4	74.2	25.8	8.2	
	14.5	12.8	2.1	11.8	7.5	14.2	222	93	1.01	0.3	74.7	25.3	7.8	
	16.4	11.4	1.3	12.1	7.9	16.4	257	123	0.93	0.3	73.1	26.9	7.7	
ЛК МИС 2	4.5	12.2	1.2	10.2	8.0	21.9	351	132	0.82	0.4	74.8	25.2	8.4	
	5.0	7.0	0.8	11.8	8.1	19.2	257	75	0.86	0.4	78.5	21.5	7.0	
	6.5	10.6	1.1	10.4	7.7	14.8	201	87	1.00	0.3	76.0	24.0	7.1	
Таберальная толща	11.9	5.7	1.0	6.9	7.0	20.4	257	73	1.31	0.2	79.1	20.9	7.6	
	16.2	6.1	1.2	9.2	7.2	19.6	281	79	1.20	0.3	76.2	23.8	9.6	
	18.1	6.8	1.0	7.8	7.6	17.6	260	128	1.00	0.4	78.6	21.4	8.2	
Озерные отложения 4 терраса	1.5	11.4	2.3	14.2	5.9	21.6	173	70	1.28	0.2	71.4	28.6	9.9	
	2.0	8.9	2.9	12.0	6.2	14.3	120	113	1.14	0.3	64.9	35.1	10.6	
	3.0	10.1	2.0	14.5	6.6	19.4	148	85	0.86	0.3	65.7	34.3	14.6	
1 терраса	1.0	12.9	2.4	11.8	6.5	17.1	161	112	1.02	0.4	82.1	17.2	6.4	
	2.4	8.9	2.0	10.4	6.0	17.3	94	68	1.32	0.3	72.6	27.4	9.8	
Деловый склона 5 терраса	1.8	9.6	2.3	11.4	6.3	14.4	224	72	0.72	0.2	71.2	28.8	6.2	
	2.4	8.3	1.6	14.1	6.3	Не опр.	226	64	1.11	0.3	69.6	30.4	10.9	
2 терраса	1.5	12.3	2.4	12.6	6.8	Не опр.	86	65	2.12	0.4	68.1	31.9	9.9	

Таблица 3. Характеристика свойств почв озерно-аласных котловин

Нахождение объекта	Почва	Горизонт	Глубина, см	ППП	С орг	C : N	pH <sub>водн</sub>	Обменные, смоль(экв)/кг				CO <sub>2</sub> , %	Подвижные (по Кирсанову) мг/кг			Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (по Тамму), %
								Ca	Mg	K	Na		Σ	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	
Водораздел	Криозем типичный, разрез 418 Turbic Sryosol	O	4-10	21.2	Не опр.	6.8	Не опр.	14.2	5.3	0.3	0.2	20.0	0.3	141	43	0.8
		CR1	10-40	6.0	1.2	5.8	7.1	14.6	5.8	0.4	0.4	21.2	0.2	173	48	1.2
		CR2	40-58	5.3	1.4	6.9	7.3	10.8	6.3	0.4	0.3	17.8	0.3	241	62	1.1
		CR-C	58-66	7.3	1.2	6.6	7.6	Не опр.	10.1	8.1	0.2	0.2	18.6	0.3	160	61
Терраса высокого уровня (5)	Криозем типичный, разрез 428 Turbic Sryosol	O	6-11	28.4	Не опр.	6.1	Не опр.	12.4	6.6	0.4	0.3	19.9	0.3	131	64	1.1
		CR1	11-38	9.6	1.4	5.9	6.8	16.9	6.9	0.3	0.4	24.5	0.5	223	81	1.3
		CR2	38-56	9.5	1.8	6.2	6.7	10.1	6.1	0.4	0.3	16.9	0.4	120	41	1.0
		CRO	56-62	11.0	2.9	8.9	7.0	12.4	6.3	0.2	0.2	19.2	0.4	132	76	0.8
Склон V террасы	Криозем грубогумусированный, разрез 430 Turbic Histic Sryosol	CRg	58-64	6.2	1.3	5.4	7.5	12.6	6.8	0.3	0.3	20.0	0.3	161	84	1.3
		O	6-12	10.1	Не опр.	6.1	Не опр.	10.1	6.1	0.5	0.3	18.3	0.4	111	49	1.3
		CR1	12-38	6.4	1.2	5.4	6.2	11.4	6.1	0.5	0.3	18.3	0.4	111	49	1.3
		CRg	38-51	9.1	1.0	6.0	6.5	11.5	7.2	0.4	0.3	19.9	0.2	114	41	1.1
Терраса среднего уровня (3)	Мерзлотный глеезем криотурбированный, разрез 510 Reductaquic Turbic Sryosol	Cg	51-60	8.0	1.2	5.6	6.6	10.2	6.1	0.2	0.4	20.9	0.2	128	45	1.8
		O	5-10	12.2	Не опр.	5.7	Не опр.	10.2	4.9	0.4	0.3	15.8	0.3	91	43	1.6
		Cctr	10-56	11.2	1.4	8.4	6.3	9.1	4.4	0.4	0.4	14.3	0.3	121	45	1.7
		CG	56-64	8.4	0.9	7.1	6.9	10.2	4.9	0.4	0.3	15.8	0.3	91	43	1.6
Склон 3 террасы	Криозем грубогумусовый, разрез 516 Turbic Histic Sryosol	AO	5-11	18.0	Не опр.	5.8	Не опр.	16.1	7.1	0.4	0.2	23.8	0.3	110	64	1.0
		CR1	11-40	9.9	1.2	9.6	6.5	16.3	6.0	0.3	0.2	22.8	0.4	96	57	1.3
		CR2	40-60	10.3	1.6	6.1	6.2	9.0	4.8	0.3	0.2	14.3	0.4	112	63	1.0
		C	60-66	9.0	2.3	8.3	6.9	Не опр.	9.8	6.2	0.3	0.2	16.5	0.3	90	70
Терраса низкого уровня (1)	Мерзлотный торфяно-глеезем, разрез 521 Reductaquic Histic Sryosol	T	4-12	36.9	Не опр.	5.5	Не опр.	10.1	6.4	0.4	0.3	16.9	0.5	108	63	1.4
		G1	12-20	12.8	1.2	9.6	5.9	16.3	5.3	0.4	0.4	22.4	0.5	91	62	1.8
		G2	20-40	11.4	1.1	11.0	6.0	14.0	8.3	0.4	0.2	22.9	0.3	81	61	1.6
		C	40-55	12.2	1.2	12.6	5.9	12.1	7.0	0.3	0.2	19.6	0.5	113	58	1.8
Дно зарастающего озера	Мерзлотная озерно-слоистая, разрез 511 Sryosol (Fluvic)	W	2-15	14.3	2.8	13.2	7.0	16.3	5.3	0.4	0.4	22.4	0.5	91	62	1.8
		C <sup>ull</sup>	15-58	10.0	1.4	9.4	7.3	14.0	8.3	0.4	0.2	22.9	0.3	81	61	1.6
		C <sup>ull</sup>	80	11.3	1.2	8.4	7.0	12.1	7.0	0.3	0.2	19.6	0.5	113	58	1.8

Таблица 4. Валовое содержание (%) основных элементов в отложениях и почвах озерно-аласных котловин

Объект	Горизонт	Глубина, см	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	S
ЛК МИС 3		1200	70.43	10.51	1.07	1.61	0.51	0.18	4.02	0.04
		1450	71.23	10.15	1.00	1.55	0.17	0.18	3.63	0.03
		1640	71.20	10.21	0.97	1.61	0.48	0.17	3.81	0.03
ЛК МИС 2		450	72.87	9.61	0.96	1.55	0.56	0.16	3.91	0.04
		500	72.65	9.44	0.94	1.65	0.80	0.17	4.00	0.03
		650	70.45	9.93	0.88	1.57	0.58	0.17	4.08	0.03
Таберальная толща		1190	72.22	11.05	0.81	1.84	0.80	0.17	4.12	0.03
		1620	68.35	12.11	0.93	1.85	0.59	0.18	4.28	0.04
		1810	68.51	12.39	0.95	1.91	0.79	0.19	4.45	0.02
Озерные отложения, 4 терраса		150	71.52	9.93	1.62	1.58	0.59	0.19	4.53	0.03
		200	Не опр.							
		300	72.14	6.82	1.04	1.92	0.45	0.18	4.22	0.04
1 терраса		100	68.78	9.94	0.99	1.91	0.62	0.17	2.81	0.03
		240	72.04	9.42	1.12	1.85	0.56	0.18	4.53	0.03
Делювий		180	68.94	11.7	0.87	1.85	1.11	0.19	4.95	0.05
4 террасы		240	67.48	12.15	0.92	1.83	0.96	0.18	4.73	0.03
2 террасы		150	65.80	11.96	1.05	1.80	0.59	0.19	4.56	0.03
Водораздел, криозем типичный, разрез 418 Turbic Cryosol	CR1	10–40	70.50	10.38	0.89	1.59	0.43	0.17	3.89	0.03
	CR2	40–58	71.58	10.34	0.88	1.54	0.42	0.15	3.70	0.03
	CR-C	58–66	72.03	10.68	1.01	1.65	0.54	0.20	4.05	0.03
Терраса 5, криозем типичный, разрез 428 Turbic Cryosol	CR1	11–38	73.71	9.43	0.91	1.48	0.35	0.15	3.74	0.03
	CR2	38–56	69.19	11.17	0.94	1.74	0.45	0.17	3.25	0.03
	CRO	56–62	70.36	10.55	1.14	1.68	0.52	0.18	4.16	0.05
Склон 5 террасы, криозем грубогумусированный, разрез 430 Turbic Histic Cryosol	CR1	10–42	71.40	10.03	1.02	1.70	0.43	0.17	3.81	0.03
	CR-C	42–58	70.52	11.39	1.11	1.65	0.51	0.17	4.79	0.04
	CRg	58–64	71.00	11.72	0.98	1.68	0.42	0.18	4.73	0.03
Терраса 3, криозем глееватый, разрез 512 Turbic Cryosol	CR	12–38	68.14	11.71	1.19	1.54	0.60	0.17	4.07	0.04
	CRg	38–51	70.02	10.38	0.98	1.64	0.54	0.17	4.56	0.04
	Cg	51–60	72.09	10.65	1.05	1.63	0.61	0.19	4.00	0.04
Мерзлотный глеезем криотурбированный, разрез 510 Reductaquic Histic Cryosol	Cctr	10–56	68.04	11.32	1.12	1.54	0.59	0.18	3.91	0.03
	CG	56–64	69.65	11.60	1.21	1.58	0.60	0.17	4.00	0.04
Склон 3 террасы, криозем грубогумусовый, разрез 516 Turbic Histic Cryosol	CR1	11–40	71.53	10.51	0.98	1.64	0.58	0.17	3.91	0.03
	CR2	40–60	71.85	10.33	0.96	1.61	0.62	0.19	4.00	0.04
	C	60–66	72.06	11.02	1.02	1.65	0.66	0.18	4.22	0.04
Терраса 1, мерзлотный торфяно-глеезем, разрез 521 Reductaquic Histic Cryosol	G1	12–20	70.36	11.89	1.11	1.55	0.87	0.18	3.64	0.03
	G2	20–40	70.43	11.74	1.02	1.58	0.80	0.17	3.81	0.03
	C	40–55	71.08	12.18	0.89	1.60	0.73	0.17	3.92	0.04
Дно сошедшего озера, мерзлотная озерно-слоистая, разрез 511 Cryosol (Fluvic)	W	2–15	68.10	11.03	1.23	1.49	0.64	0.16	4.53	0.03
	Cg <sup>LLL</sup>	15–58	71.61	11.65	1.02	1.54	0.69	0.17	4.45	0.04
	C <sup>LLL</sup>	80	73.05	11.96	1.12	1.59	0.71	0.17	4.25	0.04

почвенных органогенных горизонтов, сдвигом  $pH_{\text{водн}}$  в сторону значений, характерных для нейтральной реакции среды, широким диапазоном  $C : N$ , относительно высокими значениями показателя содержания подвижных форм  $P_2O_5$  (до 25 смоль(экв)/кг почвы) и калия (табл. 2). В материале низкое содержание  $CO_2$  карбонатов. Показатели подвижного железа здесь достигают 1.5–2.6%, то есть наиболее высокие в материале ОАК котловин. Валовой состав остается близким к материалу ЛК и таберальных толщ.

Непосредственно поверхность большинства террас сложена *озерными отложениями* мощностью до нескольких метров. Они обладают тонкослоистым строением, включают отдельные, до десятка сантиметров, прослойки озерного аллохтонного торфа с примесью минерального материала привнесенного на дно озер при разрушении берегов или поступающего при перестройке озерных систем.

Тонкая слоистость определяется чередованием 1–3-сантиметровых прослоев пылеватого материала в разной степени насыщенных растительным детритом с размером частиц 0.02 до 2 мм. Содержание растительного детрита в озерных отложениях больше, чем в подстилающем их подошрном талике. Частички крупнее, слабее минерализованы, несут признаки ожелезнения. В озерных отложениях высоких террас современной тундры встречаются мелкие частички древесных остатков и хорошо сохранившиеся стволы деревьев, датируемых ранним голоценом, то есть периодом максимального потепления, когда древесная растительность проникала далеко на север Арктики [14, 15, 18, 20, 26] преимущественно по долинам рек и уже начавшим формироваться аласным котловинам.

Плотность сложения материала озерных осадков меньше, чем таберальных толщ. В обнаженных стенках террас они подвержены более быстрому выветриванию, что приводит к активному выколаживанию их склонов.

По сравнению с отложениями ЛК и таберальными толщами, озерные осадки обладают повышенными значениями содержанием  $C_{\text{орг}}$ , потерь от прокаливания, большим диапазоном отношения  $C : N$ , в них несколько снижается содержание подвижных форм фосфора при высоком разбросе значений этого показателя для озерных отложений различных по уровню террас одного и того же озера (табл. 2). Содержание  $CO_2_{\text{карб}}$  продолжает оставаться на низком уровне, значения показателей суммы обменных оснований сопоставимы с подобными для отложений ЛК и таберальных толщ.

Показатели валового содержания отдельных элементов в разных по генезису отложениях аласных котловин, толщах ЛК разного возраста и различных районов Колымской низменности близки (табл. 4). С учетом сходного гранулометриче-

ского состава рассматриваемых отложений это позволяет говорить о близости минералогического состава отложений (преимущественно кварцево-полевошпатовый) и, возможно, общем районе поступления осадка при накоплении отложений в позднем плейстоцене [24].

### СТРОЕНИЕ ТЕРРАС И СВОЙСТВА ФОРМИРУЮЩИХСЯ НА НИХ ПОЧВ

В автономных условиях на относительно хорошо дренированных поверхностях едомных возвышенностей формируются криоземы [5–8]. Ранее эти почвы рассматривались в качестве гумусных глеевых [16, 17] или мерзлотных тундровых перегнойно-глеевых и мерзлотных тундровых перегнойно-торфянисто-глеевых [11]. Образование их идет в условиях хорошо развитого комплексного мерзлотного нанорельефа на нанополгонах, занимающих до 60% площади водораздельных участков [8]. Активно идущие здесь процессы пятнообразования определяют циклическое развитие формирующихся почв, регулярное прохождение ими циклов от почв свежих пятен до зрелых профилей [3, 7, 8, 16]. Периодически повторяющийся занос грубого органического материала верхних горизонтов в залегающие глубже минеральные горизонты, дальнейшая нисходящая его миграция в виде отдельных органо-минеральных морфонов (зон, пятен) вглубь профиля и постепенное, длительное накопление на границе с многолетней мерзлотой ведут к формированию здесь органогенных надмерзлотно-аккумулятивных горизонтов, которые предложено обозначать индексом  $CRO$  [8, 21]. Недавно описанные криоземы с организацией профиля  $O(AO, T)-CR-1CRO$ , пока не нашли отражение в современной классификации почв России, но, по-видимому, являются одним из завершающих звеньев в эволюционном ряду развития этих почв.

Исходя из нахождения террас по отношению к поверхности гидрографической сети района, к днищам ОАК, их оформленности и степени переработанности склоновыми, почвенными процессами, а также развитости на них мерзлотного рельефа и нанорельефа, растительности, почв и почвенного покрова, всю совокупность террас можно разделить на 3 группы – террасы высокого, среднего и низкого уровней.

На поверхности едом, на участках, прилегающих к ОАК, встречаются слабовыраженные западины, глубиной до 0.5 м, представляющие собой днища сошедших в начале голоцена эмбриональных термокарстовых озер. Формирующиеся здесь почвы характеризуется повышенным содержанием грубого органического материала, представленного сильно измельченным, выветрелым торфянистым материалом, несут признаками оглеения. Специфика свойств материала проявляется

в полигонально-трещиноватом строении мерзлотного рельефа, мелкопочковатом нанорельефе, в составе растительного покрова, представленного осоково-злаково-моховыми ассоциациями с широким варьированием состава злаков, осок, в свойствах формирующихся почв. Грубогумусность минеральных горизонтов (С орг до 2–3%), придает профилям бурую окраску, четко выражены признаки оглеения в нижних частях профилей, реакция среды от слабокислой до нейтральной ( $\text{pH}_{\text{водн}} 6.3-7.3$ ). Глубина оттаивания – 45–60 см. В зависимости от степени дренированности поверхностей полигонов, степени разложения реликтового грубого органического материала, характера растительности здесь формируется широкий спектр торфяно-глеевых мерзлотных почв (Т–Gao– $\perp$ CGao(T)), Th–Gao– $\perp$ CGao) и перегнойных глееземов мерзлотных (Oh–Gao– $\perp$ CGao).

**Террасы высокого уровня.** К террасам высокого уровня чаще всего относятся верхние 1–3 террасы, прилегающие или постепенно переходящие к автономным поверхностям едом. Высоты их уступов от 4 до 6 м. Иногда уступы не выражены, склоны террас пологие, бровки сглажены. Почвообразующие породы характеризуются признаками значительной трансформации верхнего слоя, ныне находящегося в многолетнемерзлом состоянии. Делювиальные шлейфы занимают небольшие площади. Поверхности террас обладают небольшим уклоном к центру котловины и часто рассечены неглубокими выположенными балками, образовавшимися по существовавшим водотокам, некогда связывавших озера или возникшим в результате сброса озерами сезонных вод. В редких случаях в их тыловых частях сохраняются отдельные участки сильно разрушенных торфяников. Склоны с проявлением солифлюкции хорошо задернованы. В зоне типичной тундры террасы высокого уровня занимают 10–15% площади крупных ОАК, с переходом в арктическую тундру их площадь сокращается.

На площадках и поверхности склонов развит полигональный мерзлотный рельеф, часто находящийся на стадии деградации. Ровные поверхности полигонов разделены выположенными, 2–4-метровой ширины, западинами с плохо сохранившимися плоскими валиками выветрелого торфа. На склонах, преимущественно южной экспозиции, при неглубоком залегании поверхности ЛК, в ходе вытаивания голов позднелесточеновых ледяных жил формируется система выпуклых, хорошо дренированных полигонов высотой до 0.8 и 10–15 м в поперечнике, разделенных широкими (до 6 м), неглубокими сухими потяжинами, залегающими над головами ПЖЛ.

На поверхности и склонах террас высокого уровня хорошо развит мерзлотный нанополигональный рельеф с признаками пятнообразова-

ния. В формирующемся на нанополигонах почвенно-растительном покрове прослеживается весь спектр их зарастания – от лишенных растительности свежих пятен до полностью заросших, с полноценно развитыми органогенными горизонтами. В ходе зарастания пятен идет постепенная и закономерная смена видового состава растительности, что отражается на составе опада и материале формирующегося органогенного горизонта [2]. Растительный покров заросших полигонов представлен мхами, злаками, разнотравьем, осоками. В межнанополигональных трещинах доминирует мох, присутствуют мелкие формы арктической ивы, карликовой березки, багульника, кустарничков – брусники, голубики. Более подробно растительный покров рассматриваемых тундр, его состав, определяемые сложной организацией рельефа поверхности, рассмотрены в работе Андреева и Перфильева [1] и ряде других [2, 11, 16].

**Почвы поверхностей и склонов террас высокого уровня** обладают значительным сходством строения профилей и свойств с почвами дренированных участков водоразделов. Для них характерен такой же устойчивый тренд почвообразования – от глееземов к формированию криоземов [10], осложненный на всех элементах террас склоновыми процессами и в первую очередь солифлюкцией. В приповерхностных слоях склонов многих террас, часто до глубины 1.5 м, морфологические признаки исходного строения и свойства подстилающих почвообразующих пород – таберальных, озерных, практически утрачиваются и материал отложений приобретает однородное строение. Это может быть объяснено оттаиванием покровного слоя в более высокие по теплообеспеченности периоды голоцена [27] и шедшее здесь длительное время преобразование почвообразующей породы.

В то же время на поверхности площадок террас высокого уровня в пределах контуров, существовавших в начале голоцена здесь торфяников или торфянистых почв, ныне формируется ряд криоземов (типичных, грубогумусовых, торфяно-криоземов), сохраняющих в профилях высокое содержание грубого измельченного органического материала, равномерно распределенного в минеральной массе. Встречаются криоземы, сохраняющие в разной степени минерализованный реликтовый органический материал в надмерзлотных горизонтах и верхнем слое подстилающей их мерзлоты (O, Oh–CRao– $\perp$ Caо, AO–CRao– $\perp$ Caо). По строению профилей и свойствам эти почвы близки к торфяно-криоземам криогомогенизированным (Т–CRost– $\perp$ С), но отличаются от них происхождением грубого органического материала в профилях.

На склонах и площадках террас широко распространены криоземы с хорошо выраженным

горизонтом надмерзлотной аккумуляции грубого органического материала, имеющим криотурбационное происхождение, что указывает на длительность развития этих почв в условиях криоземообразования — нанополлигонального рельефа, повышенного дренажа, активного пятнообразования.

В широких выположенных западинах, образованных по вытаявшим ледяным жилам (бывшее межбайджераховое пространство), формируются торфяно-глееземы мерзлотные (Т—G— $\perp$ CG), глееземы типичные мерзлотные, грубогумусированные мерзлотные (Oao—G— $\perp$ CG) и криотурбированные мерзлотные (O—Gcg— $\perp$ CG).

В зависимости от степени дренированности поверхности террас, экспозиции склонов в профилях формирующихся почв, особенно в их надмерзлотных горизонтах, выявлены признаки актуального оглеения [25]. Подобные почвы могут быть отнесены к криоземам глееватым (O—CRg— $\perp$ Cg), а на отдельных участках — к глееземам криотурбированным мерзлотным (O—Gcg— $\perp$ CG).

Наряду с криоземами, в зонах, прилегающих к бровкам террас высокого уровня, в условиях активного сдува снега, повышенного летнего прогрева поверхности, слабовыраженного мерзлотного нанорельефа под дриадовой растительностью формируются криоморфные мерзлотные почвы (AO—CRM— $\perp$ C). Их характеризует малая мощностью (3—5 см) органогенных горизонтов (AO, O), состоящих из уплотненного грубогумусного, переплетенного корнями дриады и кустарничков материала с угловато-крупитчатой структурой; хорошая гранулированная структура горизонта CRM, отсутствие или крайне слабое проявление в нем признаков криотурбаций, оглеения, тиксотропии.

Химические свойства почв, формирующихся на склонах и площадках террас, обладают значительным сходством (разрезы 428, 430) и близки к криоземам на водораздельных едомных участках (разрез 418) (табл. 3). Для них характерно неравномерное распределение С орг в минеральных горизонтах, связанное с заносом и перераспределением грубого органического материала в профилях при пятнообразовании. Изменение значений ППП и С : N в значительной степени определяются свойствами привнесенного сюда материала поверхностных органогенных горизонтов, включая его ботанический состав. Реакция среды профилей нейтральная с небольшим сдвигом в сторону кислой в органогенных горизонтах и до слабощелочной — в надмерзлотных. Формирующиеся здесь почвы, как и все почвы и отложения ЛК низменностей, характеризуются низким содержанием CO<sub>2</sub> карбонатов, невысоким содержанием обменных оснований с доминированием в их составе Са, слабым изменением этих показателей по профи-

лю. Почвы за счет почвообразующих пород содержат высокие запасы подвижных форм фосфора и калия, значения которых резко возрастают в надмерзлотном горизонте. Подвижное железо равномерно распределено в профиле. Валовой состав близок к составу почвообразующих пород (табл. 4).

Высота террас *среднего уровня* может достигать 6—8 м, число не превышает 2—3, на них приходится до 30% площади отдельных крупных котловин. Возрастает крутизна склонов, выраженность бровок и полигональных форм рельефа. Распространение террас, их строение отражают продолжавшееся в этот период формирования ОАК быстрый врез термокарстовых озер в толщу ЛК. Поверхности террас сложены преимущественно небольшими по мощности толщами озерных отложений, склоны, в большинстве случаев, таберальным материалом прикрытым чехлом делювия. На относительно крутых склонах формируется байджераховый рельеф с сильно оплывшими, разрушающимися, заросшими байджерахами и выположенными потяжинами над головами вытаявших ледяных жил.

Отложения поверхности террас характеризуются значительной пространственной однородностью строения — здесь редко встречаются участки разрушающихся торфяников, участки с признаками длительного прохождения на ранних этапах формирования террасы болотного почвообразования (разрушенными осоковыми кочками, мочажинами, замытыми линзами торфа). Все это подтверждает быстро происходивший врез озер и краткость развития поверхности террас этого уровня в режиме низкого уровня и высокой обводненности поверхности.

На террасах развит полигонально-валиковый, реже — полигонально-трещиноватый рельеф с небольшой высотой уплощенных валиков (около 0.5 м), слабой обводненностью трещин и разной степенью увлажненности центральных частей полигонов.

На выположенных склонах террас сформирован нанополлигональный рельеф. На северных склонах доминируют солифлюкционные процессы, на южных — активизируется суффозия, проявляющаяся в выносе минерального почвенного материала на поверхность из-под нанополлигонов при их летнем оттаивании. На склонах большой крутизны в их верхних частях возможны крип и оползневые явления. Глубина сезонного оттаивания составляет для типичной тундры 50—60 см.

Радиоуглеродный возраст, полученный для органического материала надмерзлотных частей, формирующихся здесь криоземов (горизонт CRO), составил 4—6 тыс. лет [10], что согласуется с рядом ранее высказанных предположений, что об-

щий облик поверхности низменностей был сформирован около 4–5 тыс. лет назад [13–15].

Переход к террасам среднего уровня характеризуется возрастающими в профилях криоземов признаками оглеения. На небольших по размерам площадках террасах формируется широкий ряд криоземов: типичные, грубогумусированные, глееватые, торфяно-криоземы. Процессы пятнообразования на подобных участках выражены слабо.

На больших по площади поверхностях с ослабленным дренажом, в условиях нанополигонального рельефа доминируют глееземы грубогумусированные мерзлотные (Oao-G-<sub>1</sub>CG) и криотурбированные мерзлотные (O-Gctg-<sub>1</sub>CG), подстилаемые многолетнемерзлыми отложениями с признаками оглеения. Центральные части крупных слабоувлажненных мерзлотных полигонов заняты мерзлотными торфяно-глееземами (T-G-<sub>1</sub>CG) с горизонтом T мощностью до 20 см. В сильноувлажненных или частично обводненных полигонах формируются торфяные почвы: олиготрофные мерзлотные (TO-<sub>1</sub>TT), под сфагновой растительностью или эвтрофные мерзлотные (TE-<sub>1</sub>TT), при доминировании зеленых мхов. Мощность очеса мха достигает 15 см, под которым залегают торфяные горизонты мощностью 10–15 см, нижняя часть которых находится в многолетнемерзлом состоянии.

На участках с хорошо развитым полигональным мерзлотным рельефом до 30% площади террас может быть занято уплотненными валиками шириной до 3–4 м, находящимися на разной степени деградации. В ходе постепенного отрыва сформированных на валиках олиготрофно-торфяных горизонтов от грунтового питания, они разрушаются и типичные торфяно-олиготрофные мерзлотные почвы постепенно переходят в подтип торфяно-олиготрофных деструктивных мерзлотных (TOmd-<sub>1</sub>TT). Это сопровождается появлением на поверхности отмирающей и разрушающейся сфагновой дернины элементов разнотравья (морозки, губоцветных), злаков, осок, карликовой березы, ивовых.

На склонах террас доминируют криоземы типичные и грубогумусированные. Профили с четко выраженной надмерзлотной аккумуляцией грубого органического вещества в виде горизонта CRO здесь встречаются реже.

На склонах северной экспозиции значительное влияние на формирование почв оказывают солифлюкционные процессы. Экспозиция, крутизна склонов, объемы накопившегося на них снега приводят к смещению по склону оттаивающих частей профилей, перемешиванию материала органических и минеральных горизонтов, напозанию одних на другие. В формирующихся почвах часто присутствует и длительное время со-

храняется материал органических горизонтов погребенных почв или крупных их фрагментов. В подобных условиях на нанополигонах формируются почвы близкие, с рядом допущений, по строению к мерзлотным криотурбированным глееземам.

На солифлюкционных террасах доминируют криоземы глееватые, в условиях пологих поверхностей развиваются глееземы грубогумусированные мерзлотные (Oao-G-<sub>1</sub>CG) и криотурбированные мерзлотные (O-Gctg-<sub>1</sub>CG).

В почвах, формирующихся на делювии и частично переработанных верхних слоях озерных отложений террас среднего уровня, нарастание признаков оглеения сопровождается уменьшением содержания C орг, более равномерным его распределением в минеральных горизонтах, снижением показателей ППП, более узким соотношением C : N. Большинство этих показателей связано с ослабленным привнесом в минеральные части профилей грубого органического материала криотурбационными процессами, а также составом занесенного материала (табл. 3, разрезы 512, 510). Другой вид распределения этих показателей характерен для профиля глеезема грубогумусированного мерзлотного (разрез 516), который определяется сохранностью в нижних горизонтах уже сильно трансформированного органического материала, унаследованного от озерных отложений. Реакция среды минеральных горизонтов близка к нейтральной и является кислой в органических горизонтах. Оглеение согласуется со слабым увеличением содержания подвижных соединений железа, особенно в надмерзлотных горизонтах. По сравнению с почвами террас высокого уровня здесь отмечается уменьшение содержания подвижных форм фосфора и калия.

В профилях почв террас высокого и среднего уровней не было установлено достоверных признаков перераспределения материала пылевой или илистой фракций, что подтверждается и микроморфологическими исследованиями, а также отсутствием перераспределения или иллювиирования оксидов железа.

**Террасы низкого уровня и днища ОАК.** К террасам низкого уровня отнесены террасы, находящиеся на 2–3 м над урезом вод в озерах или днищами аласов. Число их не превышает 2–3, а занимаемые площади достигают до 50% площадей ОАК. В хорошо дренированных котловинах, прилегающих к долинам крупных рек, они уменьшаются до 15–20% из-за более раннего сброса вод озер. Крутизна их склонов зависит от времени схода озер, положения террасы относительно участка сброса в принимающую гидрографическую систему. Склоны самых низких террас представлены небольшими незадернованными обрывами или пологими участками, спускающимися к воде и выполнены оплывающим материалом берегов.

Участки днищ, возраст которых составляет около сотни лет, представляют ровные поверхности с сохранившимися небольшими промерзающими участками. Формы мерзлотного нано- и микрорельефа на этих этапах развития бывших днищ озер практически не выражены. Трешиновато-полигональный мерзлотный рельеф появляется на поверхностях, возраст осушки которых оценивается первыми десятками лет, или при малых глубинах сошедших озер закладывается уже на их дне. Здесь формируется 5–10-сантиметровый очес мхов с намечающимся торфяным горизонтом. Мощность СТС уменьшается до 0.3–0.4 м при высокой влажности деятельного слоя и льдистости подстилающей мерзлоты.

При продолжающемся врезе и переходе днищ сошедших озер в режим террас низкого уровня, сокращении обводненности, на них начинает формироваться мерзлотный нанополлигональный рельеф. Скорости зарастания, состав растительного покрова, глубины сезонного оттаивания, степень формирования мерзлотного рельефа и нанорельефа в различных подзонах тундры на днищах недавно сошедших озер могут существенно отличаться, что вносит определенные коррективы в развитие и свойства почв уже на начальных этапах их формирования, определяя, прежде всего, пространственную дискретность строения почв (почвы нанополлигонов и разделяющих их трещин).

Днища сошедших 30–50 лет назад озер или сходные осушенные прибрежные участки, находящиеся на ранних стадиях зарастания, встречаются редко и занимают не более 0.5–1% общей площади ОАК.

Продолжающийся ныне врез отдельных озер, активные береговые процессы: термоденудация, оползни, солифлюкция – приводят на берегах вблизи уреза воды к формированию небольших террас, обладающих широким спектром экологических условий – от пионерных, на незадернованных крутых обрывах или байджерахах, до сильно увлажненных по пологим береговым зонам или конусам выноса.

На днищах недавно сошедших озер и осушенных участках берега идет формирование слаборазвитых почв по строению близких к мерзлотным слаборазвитым аллювиально-слоистым с организацией профиля по типу  $W_{-1}CG^{**}$ . Горизонт  $CG^{**}$  представлен слоистой оглеенной толщей озерных отложений, сохраняющих исходные признаки строения (в российской классификации почв [19] почвы на озерных отложениях в системе таксономических единиц выделяются на уровне разряда; в Мировой реферативной базе [22] они отнесены к реферативной почвенной группе Fluvisols). При присутствии признаков в разной степени выраженной озерной слоистости и даже отсутствии ее, но наличии другой доказательной базы озерного

происхождения почвообразующей породы, по мнению авторов, почвы, сформированные на озерных отложениях должны классификационно отличаться от аллювиальных. Десяткин [9, 10], рассматривая почвы аласов южной Якутии, убедительно показал ведущую роль озерного происхождения отложений на строение и свойства развивающихся здесь почв. С учетом высказанных предложений, слаборазвитые почвы предлагается рассматривать, как слаборазвитые озерно-слоистые мерзлотные с введением нового обозначения<sup>\*\*\*</sup> для горизонта С и соответствующего обозначения профиля –  $W_{-1}C^{***}$ . Небольшой мощности (5–7 см) горизонт W состоит из органо-минерального материала с преобладанием пыли и хорошо разложившихся остатков травянистой растительности (крестовника), осок, замкнутых остатков мха (горизонт  $Wmg$ ). Признаки тонкой слоистости в нем практически не выражены. Поверхность почвы может быть оголена или покрыта тонкой корочкой лишайников. Мощность СТС в типичной тундре здесь достигает 0.8 м.

С развитием мохового покрова, постепенного формирования торфянистого горизонта, рассматриваемые почвы переходят в озерно-слоистые торфяно-минеральные глеевые мерзлотные ( $Tmg-G^{***}_{-1}CG^{***}$ ) с участием в составе торфяного горизонта примеси минерального материала, привнесенного редкими нагонами или при раздувании участков берега. Глубины сезонного оттаивания с ростом мощности торфянистого горизонта постепенно уменьшаются до 0.2–0.3 м и при формировании достаточно большой мощности мохового очеса нижние части горизонта Т переходят в многолетнемерзлое состояние, что позволяет эти почвы рассматривать в качестве мерзлотных торфяных олиготрофных ( $TO_{-1}TT$ ).

На более поднятых террасах низкого уровня в пределах профиля признаки слоистости озерных отложений постепенно ослабевают. Степень их сохранности в минеральных горизонтах почв поверхности террас низкого уровня является хорошим показателем оценки длительности их формирования, сроков образования днищ аласных котловин. При значительном морфологическом сходстве строения формирующихся здесь почв, в основном торфяно-глееземов мерзлотных ( $T-G_{-1}CG$ ), признаки микрослоистости, как показали данные радиоуглеродного анализа материала растительного детрита, в профилях на мезоуровне утрачиваются через 0.5 тыс. лет. Мерзлотные торфяно-глееземы с глубины около 40 см подстилаются высокольдистыми многолетнемерзлыми озерными отложениями.

Наряду с мерзлотными торфяно-глееземами, в обводненных крупных мерзлотных полигонах со слоем воды до 60–70 см накапливается смесь бурого слаборазложившегося торфа (гиттии) с остатками сабельника. Глубина протаивания подстилающих донных отложений не превышает 10–15 см. Поли-

гоны с покровом сфагнома заняты торфяными олиготрофными мерзлотными (ГО-<sub>1</sub>ТТ), а менее увлажненные, с покровом зеленых мхов, осок и топяной пушицы – торфяными эвтрофными мерзлотными (ТЕ-<sub>1</sub>ТТ) почвами при мощности СТС 20–30 см. На ровных территориях террас или с пучинным рельефом под осоково-пушицево-моховым покровом формируются торфяно-глеевые почвы мерзлотные (Т-Г-<sub>1</sub>СГ) с небольшой мощностью торфяного горизонта (до 15 см). Мощность СТС здесь не превышает 30–40 см.

Низкий почвообразующий потенциал тундровой зоны, повышенный гидроморфизм поверхности террас низкого уровня определяют основные направления протекающих здесь почвообразовательных процессов – глее- и торфообразование.

Молодость формирующихся почв проявляется в сохранении их профилями ряда ведущих свойств почвообразующих пород.

Почвы обладают слабокислой реакцией, характеризуются увеличением содержания С орг в нижних частях профилей, сходным с содержанием в подстилающих отложениях (табл. 3, разрез 521). Органический материал сохраняет грубогумусность. По сравнению с почвами террас более высокого уровня в них уменьшено содержание обменных оснований, подвижных форм фосфора и калия.

Молодые почвы на днищах сошедших озер (разрез 511) характеризуются нейтральной реакцией среды, в верхних частях профилей идет аккумуляция органического вещества в форме тонкого растительного детрита. Грубогумусность отражена в показателях потерь от прокаливания и более широком отношении С : N. Содержание подвижных форм фосфора и калия в значительной степени определяются степенью участия материала ЛК в формировании наноса и сопоставимы с содержанием в донных озерных осадках низких террас, но меньше, чем в почвах и озерных отложениях террас, залегающих на более высоких уровнях. Повышенная степень оглеения профилей отражена в большем содержании подвижного железа, доминированием Са в составе обменных оснований, низким участием в их составе К и Na.

## ВЫВОДЫ

1. Несмотря на различия генезиса отложений террас озерно-аласных котловин, их состав и свойства обладают значительным сходством. Важной особенностью отложений является присутствие в них органического углерода и высокое содержание подвижных форм фосфора и калия, в значительной степени унаследованных от исходно слагающих поверхности неизменностей отложений ЛК. Особенности свойств слагающего и выполняющего поверхности террас материала (льдиность, плотность сложения, грануло-

метрический состав, присутствие органического материала), оказывают влияние на строение самих террас, определяют условия и направление развития и свойства формирующихся здесь почв, в частности, их криогенно-циклическое развитие, грубогумусность, признаки реликтового оглеения.

2. На террасах высокого и среднего уровней, их склонах выявлен устойчивый тренд почвообразования – от глеевого к формированию криоземов под активным влиянием криогенно-циклического развития. На склонах и дренированных поверхностях террас, в условиях развития мерзлотного нанополигонального рельефа формируется широкий спектр криоземов. Строение и свойства их профилей в значительной степени определяются прохождением почвой конкретного местобитания (нанополигона) тех или иных стадий развития – от почв пятен к полноразвитым профилям. В условиях ослабленного дренажа и в центральных частях крупных мерзлотных полигонов идет формирование торфяно-криоземов (Histic Turbic Cryosol), их глееватых разновидностей (Reductaquic Turbic Cryosol), реже – мерзлотных торфяно-глееземов (Reductaquic Histic Cryosol).

3. На днищах и самых низких террасах озерно-аласных котловин в отсутствие криоциклического развития ведущим являются торфообразование и оглеение. Оно проявляется в формировании широкого спектра торфяных (Cryic Histosols) и глеевых (Reductaquic Cryosol) мерзлотных почв. Днища недавно сошедших озер заняты слабо развитыми почвами, преимущественно озерно-слоистыми мерзлотными (W-<sub>1</sub>C<sup>lll</sup>), переходящими в течение первых сотен лет в мерзлотные торфяно-глееземы (Reductaquic Histic Cryosol).

4. Климатические условия рассматриваемых тундр определяют слабую интенсивность биохимической трансформации в минеральных частях профилей продуктов почвообразования, включая реликтовые. Минеральными горизонтами криоземов частично наследуется ряд важнейших свойств почвообразующих пород (С орг, высокое содержание подвижных форм Р, К), а также привнесенного при пятнообразовании свежего органического материала, что определяет их высокое потенциальное плодородие. Этот материал, излившийся на поверхность нанополигонов при пятнообразовании, способен достаточно полно обеспечить активно заселяющие пятна травянистую и злаковую растительность необходимыми легкодоступными продуктами питания, что придает едомным водоразделам, высоким и средним террасам, их склонам лугово-степной аспект и ведет в ряде криоземов к формированию органогенных горизонтов с присутствием хорошо разложившегося материала (Oa, Oh).

## ФИНАНСИРОВАНИЕ РАБОТЫ

Работа выполнена в рамках Госзадания 0191-2019-0044 и при поддержке РФФИ № 19-04-00125 и 19-05-00071.

## КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Андреев В.Н., Перфильев В.И.* Растительность Нижнеколымской тундры // Растительность и почвы субарктической тундры. Новосибирск: Наука, 1980. С. 5–43.
2. Атлас сельского хозяйства Якутской АССР. М., 1989. 115 с.
3. *Васильевская В.Д.* Генетические особенности почв пятнистой тундры // Почвоведение. 1979. № 7. С. 20–31.
4. *Веремеева А.А., Глушкова Н.В.* Формирование рельефа в районах распространения отложений ледового комплекса в тундрах колымской низменности (по данным космической съемки) // Криосфера Земли. 2016. Т. XX. № 1. С. 15–25.
5. *Губин С.В.* Взаимосвязь формирования почв тундр Севера Якутии с развитием ландшафтной обстановки // Известия РАН. Сер. географическая. 2013. № 1. С. 89–98.
6. *Губин С.В., Занина О.Г.* Педогенные свойства отложений ледового комплекса Северо-Востока России // Доклады Всерос. науч. конференции “Геохимия ландшафтов и география почв”. М., 2012. С. 93–94.
7. *Губин С.В., Лупачев А.В.* Роль пятнообразования в формировании и развитии криоземов приморских низменностей Севера Якутии // Почвоведение. 2017. № 11. С. 1283–1295. <https://doi.org/10.7868/S0032180X17110077>
8. *Губин С.В., Лупачев А.В.* Надмерзлотные горизонты аккумуляции грубого органического вещества в криоземах тундр северной Якутии // Почвоведение. 2018. № 7. С. 1–17. <https://doi.org/10.1134/S0032180X18070043>
9. *Десяткин Р.В.* Почвы аласов Лено-Амгинского междуречья. Якутск: ЯФ СО АН СССР, 1984. С. 168.
10. *Десяткин Р.В., Сотникова Н.С.* Об аласных типах почвообразования // Вестн. Ленинград. ун-та. 1982. № 24. С. 105–108.
11. *Еловская Л.Г., Петрова Е.И., Тетерина Л.В.* Почвы Северной Якутии. Новосибирск: Наука. Сиб. отд., 1979. 303 с.
12. *Жиготский В.Я.* Коренное изменение геохимии ландшафтов на низменностях Северо-Востока СССР на границе плейстоцен-голоцен. Мерзлотно-геологические процессы и палеогеография низменностей Северо-Востока Азии. Магадан: СВКНИИ ДВНЦ АН СССР. 1982. С. 101–111.
13. *Каплина Т.Н.* Аласные комплексы северной Якутии // Криосфера Земли. 2009. Т. XIII. № 4. С. 3–17.
14. *Каплина Т.Н., Ложкин А.В.* История развития Приморских низменностей Якутии в голоцене // Развитие природы в плейстоцене и голоцене. М.: Наука, 1982. С. 207–220.
15. *Каплина Т.Н., Ложкин А.В.* Возраст аласных отложений приморских низменностей Якутии (радиоуглеродное обоснование) // Изв. АН СССР. Сер. геогр., 1982. № 2. С. 84–95.
16. *Караваева Н.А.* Тундровые почвы Северной Якутии. М.: Наука, 1969. 205 с.
17. *Караваева Н.А., Таргульян В.О.* К изучению тундр Северной Якутии // О почвах Восточной Сибири. Изд-во АН СССР. М., 1963. С. 53–71.
18. *Катасонов Е.М.* Аласные отложения и таберальные образования Якутии. Геология кайнозоя Якутии. Якутск, Якутский фил. СО АН СССР, 1982. С. 110–121.
19. Классификация и диагностика почв России. Смоленск: Ойкумена. 2004. 342 с.
20. *Кременецкий К.В., Сулерджицкий Л.Д., Кантемиров Р.С.* Изменение северной границы ареалов деревьев и кустарников в голоцене в Арктике по данным радиоуглеродного датирования макроостатков // Всерос. совещание “Главнейшие итоги в изучении четвертичного периода и основные направления исследований в XXI в.”: Тезисы докл. СПб., 1998. С. 236.
21. *Лупачев А.В., Губин С.В.* Органогенные надмерзлотные горизонты криоземов тундр Севера Якутии // Почвоведение. 2012. № 1. С. 57–68.
22. Мировая реферативная база почвенных ресурсов 2014. ФАО и Моск. гос. университет им. М.В. Ломоносова. 2017. 293 с.
23. Полевой определитель почв России. М., 2008. 182 с.
24. *Томирдиаро С.В.* Лёссово-ледовая формация Восточной Сибири в позднем плейстоцене и голоцене. М.: Наука, 1980. 198 с.
25. *Федоров-Давыдов Д.Г., Губин С.В., Макеев О.В.* Содержание подвижного железа и возможность оглеения в почвах Колымской низменности // Почвоведение. 2003. № 2. С. 158–170.
26. *Шило Н.А., Ложкин А.В., Андерсон П.М.* Радиоуглеродные датировки циклов развития термокарстовых озер Колымской низменности // Доклады Академии наук. 2007. Т. 412. № 6. С. 825–827.
27. *Шур Ю.Л.* Верхний горизонт толщи мерзлых пород и термокарст. Новосибирск: Наука, 1988. 212 с.
28. *Pisarcic M.F.J., Mac-Donald G.M., Velichko A.A., Swynar L.C.* The Lateglacial and Postglacial vegetation history of the northwestern limit of Beringia, based on pollen, stomata and tree stump evidence // Quatern. Sci. Rev. 2001. V. 20. P. 235–245. [https://doi.org/10.1016/S0277-3791\(00\)00120-7](https://doi.org/10.1016/S0277-3791(00)00120-7)
29. *Sher A.V., Kuzmina S.A., Kuznetsova T.V., Sulerzhitsky L.D.* New insights into the Weichselian environment and climate of the East Siberian Arctic, derived from fossil insects, plants and mammals // Quatern. Sci. Rev. 2005. V. 24. № 5–6. P. 533–569.
30. *Shirmeister L., Siegert K., Kuznetsova T. et al.* Paleoenvironmental and paleoclimatic records from permafrost deposits in the Arctic region of Northern Siberia // Quatern. Intern. 2002. V. 89. P. 97–118.
31. *Zanina O.G., Gubin S.V., Kuzmina S.A., Maximovich S.V., Lopatina D.A.* Late-Pleistocene (Mis 3-2) palaeoenvironments as recorded by sediments, paleosols, and ground-squirrel nests at Duvanny Yar, Kolyma lowland // Quarter Science Reviews. 2011. V. 30. P. 2107–2123. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2011.01.021>

## **Soils and The Soil Cover of the Lake-Alas Depressions in Tundra Zone of the Kolyma Lowland**

**S. V. Gubin<sup>1, \*</sup> and A. V. Lupachev<sup>1</sup>**

*<sup>1</sup>Institute of Physicochemical and Biological Problems of Soil Science RAS,  
Institutskaya str., 2, Puschchino, Moscow region, 142290 Russia*

*\*e-mail: gubin.stas@mail.ru*

Pedogenesis on the terraces of the lacustrine-alas depressions in tundra zone of the Kolyma Lowland is proceeding on materials differing in genesis but significantly similar in composition and properties. Soils and the soil cover reflect the main trends of the Holocene pedogenesis and the re-arrangement of the environment. On the terraces of the upper and middle levels, as well as on the watersheds, the major pedogenic trend is oriented on cryozem formation. On the lower terraces and in the bottoms of the lacustrine-alas depressions, gleying and peat formation are considered to be stable and progressing processes. Soil formation is affected by close permafrost, which occurs higher than 1 m; therefore, all soils are qualified for Cryosols.

*Keywords:* Oxyaquic Turbic Cryosol, Gleysol, Histosol, cryogenic mass-exchange, thermokarst, terraces