

ПАЛЕОКРИОГЕНЕЗ И ПОЧВООБРАЗОВАНИЕ

УДК 631.48:551.52

УЧАСТИЕ ПОЧВООБРАЗОВАНИЯ В ФОРМИРОВАНИИ И ОРГАНИЗАЦИИ  
ПЕРЕХОДНОГО СЛОЯ МНОГОЛЕТНЕМЕРЗЛЫХ ПОРОД

А.В. Лупачев, С.В. Губин

*Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН,  
142290, Пушкино, Московская обл., ул. Институтская, 2, Россия, lupa4@mail.ru*

Взаимодействие почвообразующих процессов и процессов, формирующих состав и строение верхней части толщи многолетнемерзлых пород в условиях близкого их залегания, является одной из актуальных проблем мерзлотного почвоведения. В ходе проведенных исследований выявлена тесная взаимосвязь процессов педогенеза с формированием и развитием верхнего, наиболее динамичного слоя мерзлых пород. Его мощность, качественный состав, пространственная изменчивость и другие характеристики во многом обусловлены процессом мерзлотного почвообразования и в значительной степени определяют реакцию почв и верхнего слоя многолетнемерзлых пород на флуктуации биоклиматических условий и действие антропогенных нагрузок.

*Многолетнемерзлые породы, переходный слой, мерзлотные почвы, латеральный перенос, органическое вещество почв*

ROLE OF PEDOGENESIS IN THE FORMATION  
OF PERMAFROST TRANSITION LAYER STRUCTURE

A.V. Lupachev, S.V. Gubin

*Institute of Physicochemical and Biological Problems of Soil Science RAS,  
142290, Pushchino, Moscow region, Institutskaya, 2, Russia, lupa4@mail.ru*

One of the most actual problems of pedology is the interaction of pedogenic processes with the processes that form the structure of permafrost upper layers in case of their close bedding. A very close interaction was obtained between the pedogenic processes and formation of the upper, most dynamic, permafrost layer. Its thickness, structure, spatial variability and other features are mainly determined by pedogenesis and are responsible for the soil and permafrost reaction to the bioclimatic fluctuations and anthropogenic pressure.

*Permafrost, transition layer, frozen soils, lateral redistribution, organic material of soils*

ВВЕДЕНИЕ

Верхний, переходный слой (ПС)\* многолетнемерзлых пород (ММП) является одной из наиболее сложноорганизованных по составу и криогенному строению частью грунтовой толщи как в вертикальном разрезе, так и в горизонтальном простирании. Анализ свойств и строения ПС, а также контактирующих с ним надмерзлотных горизонтов современного почвенного профиля, выявил тесную взаимосвязь их формирования и развития. Причина ее заключается во влиянии на сезонноталый слой (СТС) и лежащую глубже

верхнюю часть толщи ММП различных ландшафтообразующих процессов: выветривания, развития растительности, направленных и периодических изменений климата и других [Шур, 1988]. Большинство из них объединены в протекающем здесь почвообразовательном процессе.

ПС имеет исключительное значение для ряда процессов, происходящих в верхних слоях толщи ММП [Шур и др., 1983]. Вместе с СТС он образует некоторую буферную систему, определяющую достаточно широкие условия существования мерз-

\* Переходный слой – слой в пределах самой верхней части кровли мерзлоты, способный переходить в талое состояние в условиях, максимально благоприятных для оттаивания [Шур, 1988].

лых пород. Особые условия формирования, качественный состав, криолитологическое строение, теплофизические характеристики, льдистость и другие свойства довольно четко маркируют его в общей толще ММП.

### ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Для изучения взаимосвязи строения профилей тундровых мерзлотных почв нанопolygonальных тундр (криоземов и торфяноземов [Классификация..., 2004]) и подстилающего их ПС на Индигирской низменности в верхнем течении р. Хомус-Юрях (70°00' с.ш., 153°36' в.д.) на останцах едомных возвышенностей высокого уровня, сложенных позднплейстоценовыми пылеватыми суглинками с мощными повторно-жильными льдами (лессово-ледовый комплекс), были заложены две экспериментальные площадки.

Площадка № 1 (размером 250 × 250 см) расположена в пределах ровного водораздела, на участке нанопolygonальной мохово-лишайниково-злаково-кустарничковой тундры (табл. 1). Площадка № 2 (размером 200 × 80 см) находилась в верхней части пологого склона (уклон около 3°), занятого нанопolygonальной мохово-осоково-злаково-пушицево-кустарничковой тундрой (см. табл. 1). В пределах экспериментальных площадок соблюдалось наличие всех основных элементов нанорельефа: нанопolygonов низкого, среднего и высокого уровней и различной степени зарастания, органогенных повышений на них, представленных осоково-пушицевыми кочками, межнанопolygonальных трещин, а также наиболее значительного перепада высот между уровнями поверхности нанопolygonов и межнанопolygonальных трещин. Соблюдение этих требований обеспечило репрезентативность выбранных площадок.

На площадках с точностью до 1 см проводилось нивелирование дневной поверхности. За нулевую отметку принята наиболее высокая точка нанорельефа площадки. Измерения выполнялись по сетке с шагом 5 см для площадки № 1 и 10 см для площадки № 2. На площадке № 1 число точек измерения дневной поверхности составило  $n = 2500$ , для площадки № 2  $n = 1600$ . Одновременно с нивелированием с помощью щупа в тех же точках измерялись глубины залегания кровли ММП от поверхности почвы. Шаг этих измерений и их точность соответствовали измерениям, проводимым для характеристики нанорельефа дневной поверхности.

Следует отметить, что подавляющий объем почвенных исследований в районах с близким залеганием ММП ведется в сроки, когда оттаивание СТС не достигает значений, близких к максимальным, и подстилающий оттаявшую часть профиля

мерзлый слой чаще всего является частью СТС (еще не полностью оттаявшим надмерзлотным горизонтом формирующихся почв). Реальная мощность профилей подобных почв и подлинная картина их морфологического строения, а также строения подстилающего их ПС, как правило, может быть установлена лишь во время их максимально оттаивания, в середине сентября – начале октября, т. е. в период, когда уже начинается промерзание с поверхности и устанавливается снежный покров. Поэтому полевые работы проводились в конце августа – начале сентября.

В серии траншей, проходивших через экспериментальные площадки, была измерена суммарная мощность органогенного горизонта и слоя мохового очеса. Ширина траншей для площадки № 1 составила 20 см, определения положения нижней границы горизонта проводились через 25 см ( $n \approx 200$ ). Для площадки № 2 ширина траншей составила 10 см, шаг измерений 10 см ( $n = 160$ ).

При описании основных элементов строения ПС ММП определялись их мощности и границы распространения. Были составлены картосхемы кровли ММП и проведена визуальная оценка их льдистости. Определение криогенных текстур ПС осуществлялось по схеме, предложенной Т.Н. Жестковой с соавт. [Жесткова и др., 1980].

В строении ПС изученных площадок четко выделяются три основных элемента: ледогрунт, занимающий наибольшую в процентном отношении площадь (около 50–60 %); участки мерзлого грубого органического материала (торфяные пятна, полосы, потеки и др.) с включением ледогрунта; чистый или слабозаиленный лед мощностью 10–15 см.

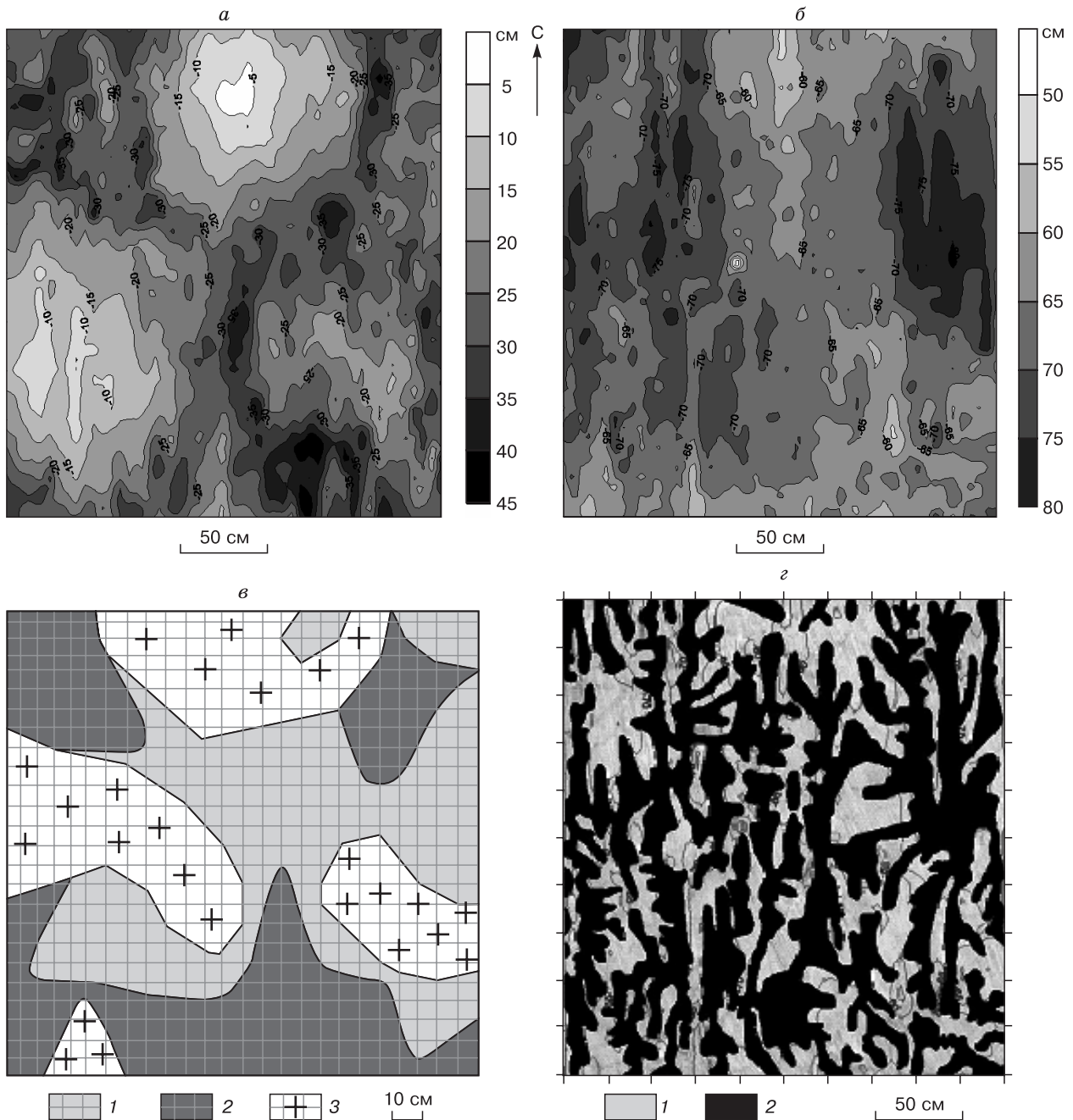
Выполнено подробное морфологическое описание профилей почв мерзлотного наноконтекста в наиболее репрезентативных стенках разрезов обеих экспериментальных площадок. На прилегающей территории заложены вспомогательные почвенные разрезы с продлением в ПС на глубину 15–20 см ( $n = 15$ ), а также дополнительные профили для оценки нанорельефа дневной поверхности и кровли ММП ( $n = 7$ ), протяженностью от 2 до 10 м, с шагом измерения 5 см в районе площадки № 1 и 10 см в районе площадки № 2. Произведен набор статистической информации по различным элементам нанорельефа ( $n = 210$ ): по нанопolygonам, занятым почвами пятен (глубина сезонного оттаивания зависит от их высоты и степени зарастания), органогенным наноповышениям (глубина сезонного оттаивания зависит от их высоты), межнанопolygonальных трещинам (глубина сезонного оттаивания зависит от их глубины, ширины и характера растительного покрова).

В ходе обработки полученных данных построены подробные дву- и трехмерные картосхемы

Таблица 1. Характеристика основных элементов нанокмплекса площадок № 1 и 2

Элемент нанорельефа	Почва*	Тип организации профиля	Растительность	Диапазон высот/глубин, см	Мощность деятельного слоя, см	Состав переходного слоя	Криогенное строение
Свежее пятно	Глеевая надмерзлотно-глеявая	$A_1-V_{1,2,3g}-VC_{gd}$	<i>Площадка №1</i> Лишайники, водоросли, побеги кустарничков	10–15	~70	Лед, ледогрунт	Сизый суглинок, криотекстура сетчатая
Зарастающее пятно	Перетнойно-торфянисто-глеявая надмерзлотно-глеявая	$A_0-A_1-A_{1c}-V_{1,2,3g}-VC_{gd}$	Лишайники, кустарнички, злаки	~15	~65	То же	То же
Заросшее пятно	То же	$A_0-A_1-A_{1c}-V_{1,2,3g}-VC_{gd}$	Злаки, кустарнички, лишайники	15–20	~60	»	»
Склон пятна-медальона	»	$A_0-A_1-A_{1c}-V_{1,2,3g}-VC_{gd}$	Мхи, кустарники, кустарнички, злаки	~15	60–65	Ледогрунт, органический материал	»
Межнанополитональные трещины	Торфянистая надмерзлотно-глеявая	$A_0(A_1)-T-VC_{gd}$	Мхи, лишайники, кустарники	15–25	30–35	Органический материал, ледогрунт	»
Осочково-пушицевые кочки	То же	$A_0(A_1)-T-VC_{gd}$	Пушица, осоки, злаки	20–25	50–55	То же	»
Осочково-пушицевые кочки	Торфянистые надмерзлотно-глеявые	$A_0(A_1)-T-VC_{gd}$	<i>Площадка №2</i> Пушица, осоки, злаки	15–25	50–55	Органический материал, ледогрунт	Сизый суглинок, криотекстура сетчатая
Пятна	Перетнойно-торфянисто-глеявые	$A_0-A_1-A_{1c}-V_{1,2,3g}-VC_{gd}$	Лишайники, кустарнички, злаки	10–15	60–65	Ледогрунт	То же
Склоны пятен	Торфянисто-глеявые	$A_0-T-V_{1,2,3g}-VC_{gd}$	Лишайники, кустарнички, злаки	10–15	60–65	Ледогрунт, органический материал	»
Межнанополитональные трещины	Перетнойно-торфянисто-глеявые	$A_0-A_1-A_{1c}-V_{1,2,3g}-VC_{gd}$	Лишайники, кустарнички, злаки, мхи	10–15	60–65	Органический материал	»
Склоны пятен	Торфянисто-глеявые	$A_0-T-V_{1,2,3g}-VC_{gd}$	Мхи, лишайники, кустарники	10–25	30–35	Органический материал, ледогрунт	»
Межнанополитональные трещины	Торфянистые надмерзлотно-глеявые	$A_0(A_1)-T-VC_{gd}$					
Склоны пятен	Торфяные	$A_0(A_1)-T$					

\* По книге [Классификация..., 1977].



**Рис. 1. Картограммы строения экспериментальной площадки № 1:**

*а, б* – относительные превышения нанорельефа дневной поверхности и поверхности переходного слоя соответственно (шаг измерений 5 см, изолинии проведены через 5 см); *в* – криолитологическое строение переходного слоя (1 – ледогрунт, 2 – органический материал с включением минерального, 3 – лед); *г* – распределение потоков вещества по поверхности переходного слоя (1 – зоны сноса, 2 – зоны транзита/аккумуляции).

экспериментальных площадок: нанорельефа дневной поверхности, нанорельефа кровли ММП, строения растительного покрова, состава и криолитологического строения ПС (рис. 1). Изучены

основные химические свойства ряда почвенных разрезов и выполнен анализ микроморфологического строения материала надмерзлотных горизонтов и ПС ММП (табл. 2).

Таблица 2.

Химический состав почв нанополлигонального комплекса  
ключевых участков на Индигирской низменности\*

Разрез	Горизонт	Глубина, см	Потери при прокаливании, %	C <sub>орг</sub> , %	рН водн.	Поглощенные основания, мг-экв./100 г почвы					Подвижные P, K, мг/100 г почвы	
						Ca	Mg	Na	K	Σ	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
Пл. 1, P-10	A <sub>1t</sub>	3–7	20,56	5,64	4,7	9,70	3,90	0,26	0,43	14,29	1,25	16,25
	B <sub>1g</sub>	7–34	5,16	0,60	5,6	4,50	3,40	0,17	0,20	8,27	7,75	5,72
	B <sub>2g</sub>	34–43	5,70	0,65	5,8	4,80	2,60	0,15	0,19	7,74	11,25	6,02
	B <sub>3g</sub>	43–49	5,48	0,60	5,7	4,80	2,40	0,15	0,29	7,64	7,75	10,23
Пл. 2, P-1	A <sub>1t</sub>	1–3	8,01	1,68	5,3	–	–	–	–	–	–	–
	B <sub>1g</sub>	3–13	5,24	1,24	5,8	5,50	3,10	0,21	0,19	9,00	15,0	6,93
	B <sub>2g</sub>	13–43	6,00	1,14	5,4	5,10	2,30	0,26	0,15	7,81	12,0	4,82
Пл. 2, P-2	BC <sub>g,d</sub>	43–51	7,98	1,73	5,6	5,60	2,60	0,20	0,38	8,78	12,0	15,05
	T <sub>1</sub>	3–13	53,02	21,17	4,8	7,20	3,30	0,17	0,42	11,09	2,25	12,04
	T <sub>2</sub>	13–20	17,08	5,00	5,5	8,30	3,60	0,17	0,32	12,39	3,25	10,53
Пл. 1, P-11	BC <sub>g,d</sub>	20–25	20,38	7,16	5,4	7,10	3,30	0,20	0,39	10,99	5,75	15,05
	T <sub>2</sub>	13–20	17,08	5,00	5,5	8,30	3,60	0,17	0,32	12,39	3,25	10,53
Пл. 1, P-11	BC <sub>g,d</sub>	56	25,27	8,36	5,5	13,60	5,30	0,28	0,30	19,48	3,75	12,34
Пл. 1, P-12	BC <sub>g,d</sub>	58	14,59	4,34	5,4	6,10	3,40	0,15	0,52	10,17	3,25	19,56
Пл. 1, P-13	BC <sub>g,d</sub>	64	12,33	3,20	5,5	5,10	2,70	0,15	0,35	8,30	9,50	14,44

\* Анализы выполнены в химико-аналитическом комплексе ИФХиБПП РАН по общепринятым методикам [Ариушкина, 1970].

## ПОЧВЫ И ПЕРЕХОДНЫЙ СЛОЙ

На рассматриваемых участках тундры развиты почвы мерзлотного нанополлигонального комплекса, по строению нижних частей профилей существенно отличающиеся от мерзлотных почв нанополлигональных тундр, изученных многими исследователями на приморских низменностях севера Якутии [Караваяева, Таргульян, 1960; Караваяева, 1969; Еловская и др., 1979; Худяков, 1983; Губин, 1987; Фоминых, 2006; Mergelov, 2006] и описанных для других районов тундры и лесотундры [Tedrow, 1958; Почвы..., 1972; Боул и др., 1977; Игнатенко, 1979].

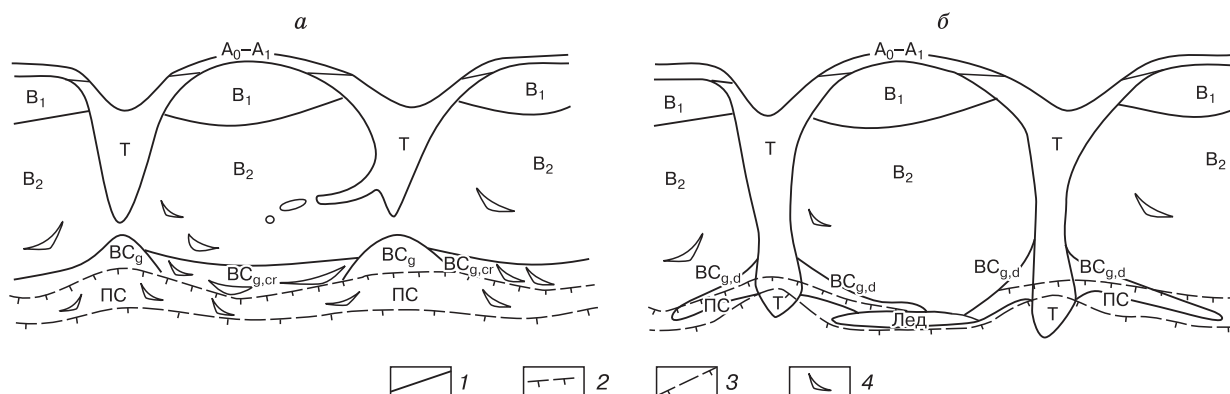
На исследованном участке под нанополлигонами формируются слабооглеенные криоземы, надмерзлотные горизонты большинства из которых выполнены грубым органическим материалом с включением суглинка. Нижние части горизонтов уходят в ПС, а суммарная мощность этого органоминерального прослойка может достигать 30 см с содержанием в надмерзлотной части C<sub>орг</sub> от 1,5–2 до 8 % и потерей от прокаливании от 5 до 20 %.

Общий тип строения профилей криоземов, развивающихся под задернованными нанополлигонами, следующий: A<sub>0</sub>–A<sub>1t</sub>(A<sub>1</sub>,A<sub>t</sub>)–B<sub>(1,2...)</sub>–BC<sub>g,d</sub>(BC<sub>g</sub>). Индексы горизонтов даны по книге [Классификация..., 1977] с нашим дополнением, по которому индексом BC<sub>g,d</sub> обозначен надмерзлотный глееватый горизонт с морфологически четко выраженным повышенным содержанием обособленных зон органического материала. Важным диагностическим признаком является присутствие в

профилях рассматриваемых почв надмерзлотного, в разной степени оглеенного горизонта с аккумуляцией грубого органического материала. В имеющейся классификации и диагностике почв России [Классификация..., 2004] такой важнейший для мерзлотных почв диагностический горизонт, как надмерзлотный, отсутствует, а отнесение надмерзлотных частей профиля к горизонтам CR, BC<sub>g,cr</sub> и G<sub>cr</sub> не всегда отвечает запросам их диагностики и субстантивной характеристики.

Почвы большинства межнанополлигональных трещин выполнены торфом и своими нижними частями уходят в слой ПС на 15–20 см, верхняя граница которого здесь несколько поднята к дневной поверхности. Общий тип строения профилей – A<sub>0</sub>–(A<sub>1t</sub>)–T<sub>(1,2...)</sub>–(BC<sub>g,d</sub>). Мощность торфа в профиле органогенной почвы превышает 40–50 см, он полностью занимает СТС, что позволяет отнести ее к торфяноземам (рис. 2, а). У большинства почв межнанополлигональных трещин других тундровых районов приморских низменностей севера Якутии горизонт Т не достигает границы СТС, мощности торфянистых горизонтов не превышают 30 см, а под ними залегают небольшой мощности горизонты B<sub>g</sub> или BG, что указывает на принадлежность этих почв к торфяноземам глеевым (см. рис. 2, б).

Надмерзлотные горизонты формирующихся на водоразделах почв и подстилающий их ПС рассматриваемого района характеризуются ярко выраженными особенностями строения, отличающими их от большинства других районов приморских



**Рис. 2. Строение почв мерзлотного наноконплекса:**

*a* – в условиях надмерзлотной аккумуляции криотурбированного органического материала (нижнеколымская тундра), *б* – в условиях латерального перераспределения и накопления органического материала (индигирская тундра); 1 – границы генетических горизонтов, 2 – граница сезонноталого слоя, 3 – нижняя граница переходного слоя, 4 – участки криотурбированного органического материала.

тундр севера Якутии и Чукотки. В надмерзлотных частях профилей почв нанополлигонов, прилегающих к торфяным почвам межнанополлигональных понижений (трещин), появляется слой, выполненный грубым органическим материалом с исключением суглинка. В вертикальной стенке разреза он представляет собой потоковидную систему крупных фрагментов и пятен торфянистого материала, захватывающих часть ПС. При движении в направлении от трещины к центральным частям нанополлигонов мощность органогенной составляющей постепенно снижается, она замещается оглененным сильнольдистым суглинком с сетчатыми криотекстурами.

В подстилающем ПС содержание грубого органического материала несколько выше по сравнению с надмерзлотным горизонтом, но с глубиной в составе материала постепенно возрастает участие минеральной части. Как надмерзлотный горизонт, так и ПС обладают неоднородным строением по простиранию, и мезозоны с абсолютным преобладанием органического материала (потеря от прокалывания до 62,5 %,  $C_{орг}$  – 23,4 %) могут перемежаться с участками, имеющими потечное, струевидное строение с включениями оглеенного пылеватого суглинка. Потери от прокалывания в них составляют 6,0 % при содержании  $C_{орг}$  – 3,2 %. Для усредненных проб материала ПС, выполненного грубым органическим веществом, на площадке № 1 средний показатель потери от прокалывания составил 32,0 %,  $C_{орг}$  – 10,1 % ( $n = 10$ ), на площадке № 2 – 30,1 %,  $C_{орг}$  – 8,9 % ( $n = 6$ ). Средняя мощность надмерзлотных органогенных горизонтов на момент исследования составляла от 7 до 12 см, а суммарная, совместно с состоящим из грубого

органического материала ПС, колебалась от 25 до 32 см.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Рассматриваемый случай формирования на границе ММП прослоя грубого органического материала по своему механизму отличается от классических криотурбационных процессов, в ходе которых за счет излияния на поверхность нанополлигонов материала минеральных частей почвенного профиля идет погребение поверхностных органогенных горизонтов, дальнейшее их преобразование и миграция фрагментов в толще почвы зарастающего пятна с возможным последующим накоплением грубого органического материала на границе ММП.

Формирование надмерзлотной части рассматриваемых почвенного профиля и ПС не могло реализоваться и под действием процессов надмерзлотной ретинизации мигрирующих в профиле подвижных гумусовых соединений [Каравеева, Таргульян, 1960]. В этом случае в надмерзлотном горизонте должны были бы скапливаться высокодисперсные гумусовые соединения, а не грубые органические остатки.

Один из возможных механизмов проникновения минерального и органического материала под тела нанополлигонов предлагается И.В. Игнатенко с соавт. [Почвы..., 1972]. Согласно их представлениям, нанополлигоны в период начала промерзания охлаждаются быстрее и сильнее остальных элементов нанорельефа из-за своего относительно возвышенного положения, лучшей аэрируемости, состава растительности и других характерных черт. В определенный момент они достигают мак-

симула в сокращении своего объема. В итоге образуются напряжения, следствием которых являются трещины у их основания. По этим трещинам внутрь профиля может поступать переувлажненный органоминеральный материал из межнанополигональных понижений.

Н.Н. Романовский [1977] частично объясняет этот процесс проникновением влажного органического или органоминерального вещества на стадии формирования изначально грунтовой жилы. Это проникновение формирует субвертикальную полосчатость материала профиля вблизи жилы. А в случае, если изначально грунтовая жила достигает поверхности ММП или оканчивается близко от нее, потоки гумусовых веществ или грубого органического материала “могут растекаться вблизи границы мерзлой толщи, образуя субгоризонтальные языки” [Романовский, 1977].

Мы связываем формирование данных прослоев с латеральным переносом грубого органического материала от тела торфяной почвы трещины по поверхности мерзлоты в сторону центральных частей нанополигонов. Предположения о подобном механизме или упоминания о наличии его ранее были высказаны Г.Ф. Грависом [1962], Дж.А. Мак-Кигом [Canadian..., 1987], Ю.Л. Шуром [1988], Дж.Г. Бокхеймом [Bockheim, Tarnocai, 1998] и рядом других авторов.

Нам представляется следующая картина реализации латерального переноса в рассматриваемом почвенном наноконтакте. Он осуществляется в условиях выраженного надмерзлотного нанорельефа, где наноповышения приходятся на торфяную почву, сформированную в межнанополигональной трещине. В период максимального оттаивания почв наномерзлотного комплекса и сильного обводнения их надмерзлотных горизонтов происходит замещение вытравливаемых ледяных шпиров насыщенным влагой торфянистым материалом, отторгающимся от тела торфянистой почвы и сползающим по поверхности мерзлотного водоупора. Это подтверждают наблюдения, сделанные при описании стенок траншей и почвенных разрезов в начале сентября. Вблизи межнанополигональных трещин под давлением надмерзлотных вод в подчиненных формах нанорельефа поверхности многолетней мерзлоты наблюдались скопления и активный выход смеси грубого органического материала и суглинка.

То, что рассматриваемый процесс идет в условиях постоянного и масштабного перемещения влаги в надмерзлотных частях профилей, подтверждается и рядом других наблюдений. В этот период в пониженных формах рельефа тундры из-за разгрузки надмерзлотных вод появляются временные водотоки, окрашенные в бурые тона за счет содержащихся растворимых органических соединений (так называемые черные воды), и отме-

чается подъем вод на малых и средних реках. На относительно крутых склонах резко активизируются процессы суффозии, приводящие к выносу минерального материала из профилей мерзлотных почв на дневную поверхность.

Есть основания полагать, что важную роль в латеральном перемещении грубого органического материала в верхних горизонтах профилей рассматриваемых мерзлотных почв может играть процесс промерзания, начинающийся в начале осени, когда еще продолжается оттаивание нижних частей профилей почв наноконтакта. Возникающее при этом криостатическое давление резко усиливает процесс внедрения и передвижения влагонасыщенного органического материала в надмерзлотном горизонте.

Такой формирующийся надмерзлотный органический горизонт частично меняет теплофизические свойства нижних частей почвенных профилей и ПС, способствует изменению скоростей и глубин сезонного оттаивания, поднятию границы ММП [Шур и др., 1983; Луначев, 2007].

Миграция и накопление грубого органического материала не является единственным характерным процессом, сопровождающим формирование ПС и оказывающим влияние на его строение и свойства. Чрезвычайно важными являются процессы латерального передвижения и концентрации растворов, дисперсных веществ, элементов и соединений на поверхности ПС.

Некоторыми авторами [Губин, 2003; Schuster et al., 2004] отмечается миграция водорастворимых гумусовых веществ в составе почвенных растворов по поверхности кровли ММП, а также их накопление при замерзании в материале ПС. По данным американских исследователей, концентрация  $C_{орг}$  в растворе, полученном при оттаивании образца ПС, может достигать 2950 мг/л [Schuster et al., 2004]. Проведенные нами определения содержания  $C_{орг}$  в пробе надмерзлотных вод на рассматриваемых площадках показало, что содержание органического вещества в них колеблется от 1100 до 900 мг/л.

Рассматривая верхнюю границу ММП как мощный геохимический барьер, авторы [Aleksseev et al., 2003] отмечают ряд закономерностей накопления и перераспределения в ПС железа, кальция, магния и других элементов, мигрирующих сюда из профилей мерзлотных почв.

Имеются указания на формирование свойств ПС в ходе процесса нисходящей миграции в пределах профиля мерзлотной почвы глины. ПС рассматривается как основная зона аккумуляции глинистых частиц, вымывание которых “наиболее ярко выражено на песчаных отложениях, где создаются условия для накопления пылеватых частиц при плоскостном смыве” [Васильев, 1996].

Такое разнообразие протекающих здесь процессов позволяет находить признаки, диагностирующие ПС и определяющие его специфичность в общей толще ММП. Эмпирические методы, основанные на интерпретации данных признаков, дают возможность значительно увеличить точность определения мощности слоя по сравнению с расчетными методами.

На реализацию всех рассматриваемых процессов оказывает влияние нанорельеф поверхности ММП. Анализ данных по экспериментальным площадкам показал, что уклоны поверхности ММП здесь в среднем составляют 2–5°, а в отдельных местах достигают 12–13° и даже 20°. Естественно предположить, что такие углы наклона резко активизируют процессы надмерзлотной миграции и перераспределения веществ.

Наложение картосхем нанорельефа поверхностей почвы и кровли ПС на площадке № 1 показало, что повышенные участки слоя находятся под нанополигонами и выполнены льдом (см. рис. 1, а–в). Такое распределение нанорельефа поверхности ММП, на наш взгляд, обусловлено предшествующей историей развития дневной поверхности. Мы полагаем, что на ранних этапах развития поверхности нанополигона, связанных с прохождением им стадии свежего пятна, глубины сезонного оттаивания под его центральными частями были больше. При оттаивании в западине мерзлотного нанорельефа скапливалась влага, которая при сезонном промерзании переходила в лед. Процесс накопления льда имел прогрессивную тенденцию, чему способствовало как продолжавшееся здесь формирование конжеляционного льда, так и начавшееся зарастание пятна и формирование органогенного горизонта, которые постепенно снижали тепловой поток [Зигерт и др., 1995]. Различия теплофизических свойств элементов строения ПС определяли различные скорости и глубины оттаивания его материала, а также формирование нанорельефа поверхности ПС.

На площадке № 2 картина соотношения строения нанорельефа поверхностей почвы и ПС несколько иная. Минимальные отметки нанорельефа ПС тяготеют к центральным частям нанополигонов, занятым высокольдистым грунтом или мерзлым органическим материалом. Повышения приурочены к трещинам с торфяником. Участки ПС, выполненные льдом, отмечены на глубине 5–10 см под его установленной поверхностью и тяготеют к зонам, расположенным на окраинных частях нанополигонов. Подобная картина соответствия строения нанорельефа дневной поверхности, поверхности ПС и его состава прослежена в целом ряде разрезов, заложенных через элементы наноконтекста, и достоверно может считаться типичной для изученного участка индигирской тундры. В условиях смещения границы льда к трещи-

не над ним, как правило, обнаруживается 5–7-сантиметровый прослой грубого органического материала с небольшой примесью суглинка, шлейфом тянущийся от сформированной здесь торфяной почвы. Этот органогенный прослой может достигать центральных частей нанополигонов, определяя там устойчивое формирование органогенных надмерзлотных горизонтов.

Полученные данные о нанотопографии кровли ММП были обработаны с помощью метода пластики рельефа [Степанов, 2006]. На построенных картосхемах нанорельефа кровли ММП выделены две качественно различные зоны – наноденудации и наноаккумуляции (см. рис. 1, з). Метод позволил выявить современные возможные пути миграции и аккумуляции не только грубого органического вещества, но и более дисперсных его форм и водорастворимых гумусовых соединений, что подтверждают данные, полученные в ходе аналитических исследований (см. табл. 2).

## ВЫВОДЫ

Проведенный анализ строения верхних частей многолетнемерзлых позднеплейстоценовых суглинистых отложений и формирующихся на них почв в условиях относительно небольших мощностей СТС выявил в верхних частях этих толщ наличие сложноорганизованного слоя мерзлоты, подстилающего современный почвенный профиль. В результате проведенных на территории Индигирской низменности исследований выявлена полигенетичность ПС и установлено, что процессы мерзлотного почвообразования оказывают прямое воздействие на формирование подстилающего слоя ММП.

Строение и состав ПС полно характеризуют позднеголоценовую историю развития почв и мерзлых пород исследуемого района, а также оказывают значительное влияние на определение классификационного положения рассматриваемых почв.

Выявлен нанорельеф поверхности ПС, в значительной мере определяющий направление миграции как тонкодисперсных и водорастворимых веществ и соединений, так и грубых органических остатков и минерального материала надмерзлотных горизонтов почв.

Уникальность строения рассматриваемого почвенно-мерзлотного комплекса позволила предложить принципиально новый механизм формирования нижних частей профилей мерзлотных почв и подстилающего их верхнего слоя мерзлых пород. Латеральный перенос больших объемов органогенного материала, почвенных растворов по поверхности ММП, их накопление и захоронение в ПС являются составной частью биогеохимического круговорота в мерзлотных областях.



## Литература

- Аринушкина Е.В.** Руководство по химическому анализу почв. М., Изд-во Моск. ун-та, 1970, 487 с.
- Боул С., Хоул Ф., Мак-Крекен Р.** Генезис и классификация почв. М., Прогресс, 1977, 416 с.
- Васильев И.С.** Способы определения и оценка переходного слоя в полевых условиях // Криолитозона и подземные воды Сибири / Под ред. И.В. Климовского, В.В. Шепелева, А.С. Любимирова. Якутск, ИМЗ СО РАН, 1996, с. 62–72.
- Гравис Г.Ф.** Морозобойное растрескивание грунтов и образование гумусовых потоков // Многолетнемерзлые породы и сопутствующие им явления на территории Якутской АССР. М., Изд-во АН СССР, 1962, с. 112–123.
- Губин С.В.** Палеогеографические аспекты почвообразования на Приморской низменности Севера Якутии / ОНТИ НЦБИ АН СССР. Препр. Пушино, 1987, 27 с.
- Губин С.В.** Динамика верхней границы многолетней мерзлоты и проблема ретинизации гумуса в тундровых почвах Северо-Востока Азии // Материалы IV Всерос. конф. “Проблемы эволюции почв”. Пушино, 2003, с. 168–172.
- Еловская Л.Г., Петрова Е.И., Тетерина Л.В.** Почвы Северной Якутии. Новосибирск, Наука, 1979, 304 с.
- Жесткова Т.Н., Заболотская М.И., Рогов В.В.** Криогенное строение мерзлых пород. М., Изд-во Моск. ун-та, 1980, 135 с.
- Зигерт Х., Остроумов В., Якобсен Б. и др.** Накопление льда в подошве сезонноталого слоя как фактор устойчивости глубин сезонного протаивания почв // Эволюционные геокриологические процессы в арктических регионах и проблемы глобальных изменений природной среды и климата на территории криолитозоны: Тезисы докл. юбил. годичн. собр. (24–28 апр. 1995 г.). Пушино, 1995, с. 154–155.
- Игнатенко И.В.** Почвы восточно-европейской тундры и лесотундры. М., Наука, 1979, 279 с.
- Караваева Н.А.** Тундровые почвы Северной Якутии. М., Наука, 1969, 208 с.
- Караваева Н.А., Таргульян В.О.** Об особенностях распределения гумуса в тундровых почвах Северной Якутии // Почвоведение, 1960, № 12, с. 36–45.
- Классификация и диагностика почв СССР.** М., Колос, 1977, 223 с.
- Классификация и диагностика почв России.** Смоленск, Ойкумена, 2004, 342 с.
- Лупачев А.В.** Латеральный перенос веществ в тундровых мерзлотных почвах // Почвы и техногенез: Тезисы докл. юбил. Всерос. конф. “Х докучаевские молодежные чтения”. СПб., 2007, с. 34–35.
- Почвы и растительность восточно-европейской лесотундры.** Л., Наука, 1972, 336 с.
- Романовский Н.Н.** Формирование полигонально-жилых структур. Новосибирск, Наука, 1977, 215 с.
- Степанов И.Н.** Теория пластики рельефа и новые тематические карты. М., Наука, 2006, 230 с.
- Фоминих Л.А.** К вопросу о самобытности генетических типов почв Сибири // Материалы конф. “Почва как связующее звено функционирования природных и антропогенно-преобразованных экосистем”. Иркутск, 2006, с. 173–181.
- Худяков О.И.** Криогенез и почвообразование. Пушино, ОНТИ НЦБИ АН СССР, 1983, 196 с.
- Шур Ю.Л.** Верхний горизонт толщи мерзлых пород и термокарст. Новосибирск, Наука, 1988, 212 с.
- Шур Ю.Л., Швецов П.Ф., Славин-Боровский В.Б. и др.** Значение изменений почвенно-грунтового комплекса в температурном режиме многолетнемерзлых пород // Проблемы геокриологии. М., Наука, 1983, с. 136–143.
- Alekseev A., Alekseeva T., Ostroumov V. et al.** Mineral transformations in permafrost-affected soils, North Kolyma lowland, Russia // Soil Sci. Soc. Amer. J., 2003, vol. 67, p. 596–605.
- Bockheim J.G., Tarnocai C.** Recognition of cryoturbation for classifying permafrost-affected soils // Geoderma, 1998, vol. 81, p. 281–293.
- Canadian System of Soil Classification: 2nd ed.** Ottawa, Ont., Agric. Can. Publ., 1987, 164 p.
- Mergelov N.S.** Origin of organic carbon pools in Kolyma Cryosols: phenomenon of organic carbon impregnation in mineral horizons // 18th World Congress of Soil Sci. (Philadelphia, July 9–15, 2006). Pennsylvania, USA (published online), 2006.
- Schuster P.F., Reddy M.M., Aiken G.R., Shanley J.B.** What effect does permafrost have on dissolved organic carbon transport to streams during snowmelt // Water Rock Interaction: Proc. of the Eleventh Intern. Symp. on Water, Saratoga Springs (New York, July 2004). N.Y., A.A. Balkema Publ., 2004, vol. 2, p. 1385–1389.
- Tedrow D.** Major genetic soils of the arctic slope of Alaska // J. Soil Sci., 1958, vol. 9, No. 1, p. 33–45.

Поступила в редакцию  
15 июня 2007 г.