

## ОБЩАЯ БИОЛОГИЯ

### Экология

УДК 631.416.2

DOI 10.31242/2618-9712-2020-25-1-5

### К оценке фосфатного состояния мерзлотных почв Южной Якутии

А.П. Чевычелов, О.Г. Захарова\*

Институт биологических проблем криолитозоны СО РАН, Якутск, Россия

\*olya.choma@mail.ru

**Аннотация.** Впервые изучено фосфатное состояние пяти типов мерзлотных почв Южной Якутии, а именно содержание и внутрипрофильное распределение валового фосфора, а также формы минеральных фосфатов и подвижные фосфаты, определяемые соответственно по методике Чанга–Джексона и Гинзбург–Артамоновой. Средневзвешенное содержание валового фосфора в исследуемых почвах невысокое и изменяется от 290 до 474 мг/кг. По содержанию общего фосфора данные типы почв объединяются в следующий убывающий ряд: палево-бурые (474 мг/кг) > подзолистые альфегумусовые (429 мг/кг) > перегнойно-карбонатные (320 мг/кг) ≈ подзолистые типичные (318 мг/кг) > дерново-карбонатные (290 мг/кг). При этом внутрипрофильное распределение валового фосфора в подзолистых альфегумусовых почвах носит элювиально-иллювиальный, в подзолистых типичных – аккумулятивно-элювиальный, а в палево-бурых, дерново- и перегнойно-карбонатных – аккумулятивный характер.

Показано, что в ландшафтно-климатических условиях Южной Якутии формируются в основном кислые не насыщенные обменными основаниями мерзлотные и длительно-сезонномерзлотные почвы элювиального ряда, которые характеризуются низкой биологической активностью. В данных почвах отмечается очень низкое и низкое количество подвижных фосфатов, которое в среднем составляет 2,5–6,7 мг  $P_2O_5$ /100 г почвы и не превышает 1–2 % от их валового содержания.

Также отмечено, что общее количество рыхлосвязанных фосфатов и фосфатов кальция, наиболее доступных для растений, в исследованных почвах, как правило, незначительно и составляет в основном менее 5 % от их валового содержания. При этом в составе минеральных фосфатов почв Южной Якутии преобладают труднодоступные для растений фосфаты алюминия (Al-P) и фосфаты железа (Fe-P), при абсолютном господстве последней фракции. Содержание Al-P и Fe-P в данных почвах изменяется в широких пределах и составляет соответственно максимально около 40 % и 60% от их валового содержания.

**Ключевые слова:** мерзлотные почвы, состав и свойства, фосфаты, содержание, распределение.

**Благодарности.** Статья выполнена по проекту «Фундаментальные и прикладные аспекты изучения разнообразия растительного мира Северной и Центральной Якутии» (0376-2016-0001; рег. номер АААА-А17-117020110056- 0)

#### Введение

Фосфор (P) является облигатным биофилом, играющим огромную роль в жизни растений. В растениях P встречается как в виде простых неорганических солей, таких как фосфаты Ca, Mg, K и Na, так и в составе сложных органических соединений, к которым относятся нуклеиновые кислоты, нуклеопротеиды, а также аденозинтрифосфорная кислота (АТФ). При недостатке P нарушается обмен энергии и веществ в растениях [1], при этом подвижность и доступность

фосфора в почвах определяется почвенными микроорганизмами [2, 3].

В отличие от азота и углерода, фосфор целиком поставляется в растения из почв. При этом содержание доступных для растений форм P зависит как от их фосфатного состояния, так и от ландшафтно-климатических факторов миграции данного элемента. Исследованию фосфатного состояния почв Сибири посвящено значительное количество публикаций, но в них, как правило, изучались почвы немерзлотных регионов

[4–9; и др.]. Фосфатное состояние криогенных почв, в том числе и мерзлотных почв Якутии, изучено крайне недостаточно. В связи с этим целью данной статьи являлась оценка фосфатного состояния основных типов мерзлотных почв Южной Якутии в зависимости от литолого-геохимических и ландшафтно-климатических условий данной территории.

**Материалы и методы исследования**

Наши исследования проводились на территории Южной Якутии, при этом изучаемая часть данного региона ограничивается географическими координатами: 56–60° с. ш. и 120–128° в. д. В геоморфологическом отношении наши работы проводились на Лено-Алданском плато, в почвенном покрове (ПП) которого абсолютно преобладают мерзлотные дерново- и перегнойно-карбонатные почвы, а также на Алданском нагорье и в Чульманской впадине, где в ПП господствуют подзолистые и палево-бурые почвы. Исследуемый регион также в целом характеризуется преимущественно горным рельефом, холодным резко-континентальным гумидным кли-

матом и преобладанием в растительном покрове среднетаежной лесной растительности.

При выполнении работ использовались общепринятые почвенные методы, такие как сравнительно-географический, профильно-генетический и сравнительно-аналитический [10, 11]. Диагностика исследуемых типов почв осуществлялась согласно принципам классификации мерзлотных почв Якутии [12]. Содержание общего Р в почвах определялось в процессе изучения их валового состава [13, 14], минеральные формы фосфора по Чангу–Джексону, а также подвижные фосфаты по Гинзбург–Артамоновой выделялись согласно методикам [15] и определялись фотометрическим методом. Полученные данные обрабатывались методами вариационно-статистического анализа [16].

**Результаты и их обсуждение**

Подзолистые альфегумусовые почвы исследуемой территории формируются, как правило, на элювиоделовии архейских магматических пород (гранитогнейсы) и характеризуются кислой реакцией среды, малым содержанием гумуса в мине-

Таблица 1

**Физико-химические свойства почв Южной Якутии**

Table 1

**Physico-chemical properties of soils of Southern Yakutia**

Глубина, см	Горизонт	pH <sub>H<sub>2</sub>O</sub>	Гумус, %	Обменные катионы, смоль (экв)/кг почвы			Фракции, %	
				Ca <sup>+2</sup>	Mg <sup>+2</sup>	H <sup>+</sup>	<0,001 мм	<0,01 мм
Подзолистая альфегумусовая, разр. 4БГ-03								
4–10	A0A1	3,9	61,5*	12,5	7,8	10,8	–	–
10–18	A2	4,1	1,5	2,6	2,0	11,8	8,2	29,9
20–30	Bfe	4,9	2,0	1,8	0,6	1,4	11,1	32,3
Палево-бурая типичная, разр. 5БГ-03								
15–25	A1	3,9	22,5	6,5	1,9	17,0	–	–
30–37	B	3,9	2,9	9,6	3,2	7,5	22,5	31,9
40–50	BC	4,3	1,0	9,3	11,6	1,2	27,4	38,8
Дерново-карбонатная типичная, разр. 3Т-08								
2–6	A1	6,0	26,5	41,9	16,9	0,9	–	–
10–20	B	6,9	3,1	25,9	7,9	0,5	36,8	61,7
40–50	BC	7,6	1,7	20,5	8,9	0,3	33,3	43,0
Перегнойно-карбонатная глееватая, разр. 8А								
0–7	Ah	7,8	46,4*	73,1	35,2	0,6	19,4	37,9
7–10	AB	7,9	3,2	45,5	31,9	0,5	27,0	48,0
40–50	B	7,9	0,7	40,8	30,0	0,4	27,6	48,2

\* Приведено значение потери при прокаливании. Прочерк – значение не определено.

\* The value of the loss during calcination is given. Dash – the value is undefined.

ральных горизонтах, не насыщенным обменными основаниями почвенно-поглощающим комплексом (ППК) и в основном легким, супесчано-суглинистым гранулометрическим составом [17]. При этом внутрипрофильное распределение частиц глины (<0,01 мм) и ила (<0,001 мм) в данных почвах носит элювиально-иллювиальный характер (табл. 1, разр. 4БГ-03).

Палево-бурые почвы [12], а по прежней терминологии мерзлотно-таежные [18] формируются в основном на коре выветривания юрских песчаников и алевролитов, так же как и подзолистые являются кислыми, их ППК, особенно в верхних горизонтах, не насыщен обменными катионами  $Ca^{+2}$  и  $Mg^{+2}$ , а их гранулометрический состав, как правило, суглинистый. В гумусовых горизонтах данных почв содержится довольно много грубоперегнойного гумуса, количество которого резко падает в нижележащих минеральных горизонтах (см. табл. 1, разр. 5БГ-03).

Остаточно-карбонатные почвы, т. е. дерново- и перегнойно-карбонатные, в отличие от кислых

бескарбонатных почв, формируются на элювиально-делювиальных отложениях осадочных карбонатных пород – доломитов и известняков. Данные почвы характеризуются обычно нейтральной и слабощелочной реакцией, особенно нижних минеральных горизонтов, насыщенностью ППК обменными основаниями, как правило, тяжелым тяжелосуглинисто-легкоглинистым гранулометрическим составом. Поверхностные гумусовые и перегнойные горизонты данных почв содержат также много грубоперегнойного органического вещества, количество которого резко падает в нижней минеральной толще почвенного профиля (см. табл. 1, разр. 3Т-08 и разр. 8А).

Содержание валового Р в исследованных почвах приведено в таблице 2. При этом нужно подчеркнуть, что внутрипрофильное распределение данного элемента в подзолистых альфегумусовых почвах носит элювиально-иллювиальный, в подзолистых типичных – аккумулятивно-элювиальный, а в палево-бурых, дерново- и перегнойно-карбонатных – в большей степени ак-

Таблица 2

Содержание валового фосфора в почвах Южной Якутии, мг/кг

Table 2

The content of total phosphorus in soils of Southern Yakutia, mg/kg

Тип почвы	Горизонт	n	lim	$\bar{x} \pm S_x$	V, %
Подзолистые альфегумусовые	A0(A0A1)	6	83 – 374	227 ± 39	43
	A2	7	66 – 814	292 ± 93	84
	Bfe	7	264 – 1408	559 ± 150	71
	C(CD)	7	176 – 880	402 ± 89	59
Подзолистые типичные	A0(A0A1)	7	176 – 528	412 ± 43	28
	A2	7	66 – 530	280 ± 67	64
	B	7	88 – 638	371 ± 82	59
	C	6	90 – 506	286 ± 64	54
Палево-бурые	A0(A0A1)	5	176 – 1012	537 ± 167	70
	A1(A1A2)	8	198 – 1144	558 ± 130	66
	B	8	242 – 1146	523 ± 117	63
	C(BC)	8	264 – 990	435 ± 103	67
Дерново-карбонатные	A0(A0A1)	3	264 – 286	271 ± 7	5
	A1(A1A2)	9	88 – 550	315 ± 57	54
	B	9	90 – 880	337 ± 78	70
	C(CD)	9	176 – 550	259 ± 38	44
Перегнойно-карбонатные	Ah	7	154 – 704	305 ± 71	62
	A1(AB)	8	176 – 814	358 ± 73	57
	B	8	220 – 968	402 ± 85	60
	C	8	132 – 330	259 ± 22	24

*Примечание.* Здесь и далее: n – объем выборки, lim – пределы изменения содержаний,  $\bar{x} \pm S_x$  – среднее и его ошибка, V – коэффициент вариации.

*Note.* Here and further: n – sample size, lim-limits of content change,  $\bar{x} \pm S_x$  – average and its error, V – coefficient of variation.

кумулятивный характер. С учетом содержания общего фосфора в отдельных почвенных горизонтах и их мощности нами было рассчитано средневзвешенное количество данного элемента для пяти изучаемых типов почв Южной Якутии. По содержанию валового Р данные типы почв объединяются в следующий убывающий ряд: палево-бурые (474 мг/кг) > подзолистые альфегумусовые (429 мг/кг) > перегнойно-карбонатные (320 мг/кг) ≈ подзолистые типичные (318 мг/кг) > дерново-карбонатные (290 мг/кг). Таким образом, средневзвешенное содержание общего Р в почвах Южной Якутии в целом изменяется незначительно и составляет 290–474 мг/кг. При этом увеличение общего количества Р в палево-бурых почвах обусловлено повышенным содержанием данного элемента в почвообразующих породах, на которых формируются данные почвы, о чем ранее сообщалось [19].

Также необходимо отметить, что среднее содержание валового Р в подзолистых альфегумусовых почвах Южной Якутии (429 мг/кг) сопоставимо с таковым в подзолах (380 мг/кг), а в дерново- и перегнойно-карбонатных почвах данного региона (290 мг/кг и 320 мг/кг соответственно) – более чем в 3 раза меньше, чем в перегнойно-карбонатных почвах (1000 мг/кг) европейской части бывшего СССР [20].

Как уже указывалось, исследуемый регион в ландшафтно-климатическом отношении является преимущественно горно-таежным холодным и гумидным. Все это в итоге приводит к преобладанию в почвах данной территории элювиальных почвенных процессов, таких как подзоло-

образование, оподзоливание и выщелачивание, протекающих преимущественно в кислой среде. В результате формируются кислые не насыщенные обменными основаниями почвы, элювиальные горизонты которых обеднены подвижными фосфатами, доступными для растений. Кроме того, в холодном гумидном климате под таежной растительностью в Южной Якутии формируются мерзлотные или длительно-сезонномерзлотные почвы с низкой биологической активностью, грубогумусовые горизонты которых также, как правило, не способствуют биогенному закреплению здесь фосфора и накоплению подвижных фосфатов.

Вследствие этого поверхностные горизонты всех исследуемых типов почв характеризуются предельно низким средним содержанием подвижных фосфатов, которое изменяется в узком интервале значений от 2,5 до 6,7 мг P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/100 г почвы (табл. 3) при значительной вариабельности отдельных величин (V = 23–87 %). Согласно известной шкале содержания подвижных фосфатов в почвах, определенных по методике Гинзбург–Артамоновой [15], можно констатировать, что исследуемые подзолистые типичные, подзолистые альфегумусовые и дерново-карбонатные почвы характеризуются в основном как очень низко обеспеченные, а перегнойно-карбонатные и палево-бурые почвы – как низко обеспеченные подвижными фосфатами.

Это положение также подтверждается в наших предыдущих исследованиях, где оценивалось содержание подвижных фосфатов в слое 0–20 см 12 типов (подтипов) и разновидностей

Таблица 3  
Содержание подвижных фосфатов в почвах Южной Якутии, мг P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/100 г почвы

Table 3

Content of mobile phosphates in soils of Southern Yakutia, mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/100g of soil

Тип почвы	Горизонт	n	lim	$\bar{x} \pm S_{\bar{x}}$	V, %
Подзолистые альфегумусовые	A2	6	1,5 – 4,0	2,6 ± 0,4	38
	Bfe	6	3,0 – 6,0	4,7 ± 0,4	23
Подзолистые типичные	A2	8	1,2 – 4,5	2,5 ± 0,6	68
	B	8	1,5 – 7,7	3,2 ± 0,8	69
Палево-бурые	A1(A1A2)	16	1,3 – 11,0	5,2 ± 0,9	69
	B	16	1,4 – 19,0	6,7 ± 1,2	70
Дерново-карбонатные	A1(A1A2)	10	1,7 – 7,8	3,6 ± 0,6	55
	B	10	1,7 – 5,1	2,6 ± 0,4	50
Перегнойно-карбонатные	A1	10	0,8 – 15,3	6,4 ± 1,6	80
	B	10	0,9 – 11,5	4,6 ± 1,2	87

различных почв Южной Якутии. По результатам этих работ было отмечено, что 75 % всей анализируемой выборки исследованных почв оказались низко обеспеченными подвижными фосфатами [21]. При этом данные почвы также являются в среднем более чем в 2,5 раза низко обеспеченными подвижными фосфатами (29,4 %), чем почвы Восточной Сибири [22].

Согласно нашим расчетам, среднее содержание подвижных форм Р в подзолистых почвах составляет 0,8–0,9 %, дерново-карбонатных – 0,8–1,1 %, палево-бурых – 0,9–1,3 %, перегнойно-карбонатных – 1,1–1,8 % и в целом не превышает 1–2 % от общего количества данного элемента в почвах Южной Якутии. Поэтому не случайно отмечается, что особенностями фосфатного состояния мерзлотных почв Забайкалья являются низкая степень подвижности их природных соединений и низкое содержание легкодоступных растениям фосфатов [23]. Последнее положение также полностью подтверждается при анализе содержания и распределения форм минеральных фосфатов в почвах Южной Якутии. Так, содержание рыхлосвязанных фосфатов, которые растворимы в воде и представляют легкодоступный резерв для растений, изменяется в изучаемых почвах от 0,5 до 9,2 мг  $P_2O_5/100$  г почвы. При этом относительное содержание фосфатов данной фракции составляет всего 0,1–5,2 %, или менее 5 % от их валового содержания. Основная часть минеральных фосфатов в исследованных почвах представлена фосфатами алюминия (Al-P) и фосфатами железа (Fe-P), т. е. фосфатами фракции 2 и 3 (табл. 4). Содержание Al-P в данных почвах изменяется в широких пределах от 1,6 до 34,3 мг  $P_2O_5/100$  г почвы, их абсолютное количество увеличивается в гор. А2 подзолистой альфегумусовой и в гор. В палево-бурой почвы, составляя 19,7–20,2 %, или около 20 % от их валового содержания.

При этом максимальное количество фосфатов алюминия от их общего содержания (37,8 %) обнаружено в оглеенном гор. ВСg перегнойно-карбонатной глееватой почвы. Фосфаты железа, которые в меньшей степени доступны для растений, чем фосфаты алюминия, составляют большую часть всех минеральных фосфатов исследованных типов почв Южной Якутии. Содержание Fe-P в данных почвах варьирует также в очень широких пределах от 0,4 до 147,0 мг  $P_2O_5/100$  г и составляет минимально 0,5–5,9 %, а

максимально – 56,7–69,2 % от их валового содержания. Количество фосфатов железа, так же как и фосфатов алюминия, относительно увеличивается в гор. А2 подзолистой альфегумусовой и в гор. В палево-бурой почвы, составляя 21,3–34,2 % от их валового содержания, но максимальное количество данной фракции обнаружено в гор. АВ и В дерново- и перегнойно-карбонатной почв, где оно соответственно достигало 60–70 % от их валового содержания (см. табл. 4). При этом в относительном исчислении фосфаты железа максимально составляют 77,9–79,4 %, или около 80 % от суммы всех форм минеральных фосфатов в данных почвах.

В связи с этим отметим, что дерново-подзолистая суглинистая почва Московской области содержала 46 %, а наиболее обогащенные железом субтропический подзол и краснозем Грузии – соответственно 52 и 67 % Fe-P [24], т. е. значительно меньше по сравнению с мерзлотными остаточно-карбонатными почвами Южной Якутии.

Уменьшение содержания рыхлосвязанных фосфатов, наряду с увеличением количества Al-P и Fe-P в почвах Южной Якутии, является вполне закономерным явлением, так как, согласно известным положениям химии почв, в слабнокислых и кислых почвах фосфаты связываются или осаждаются гидроксидами или ионами Fe и Al и при этом доля усвояемых фосфатов понижается [25].

Общее количество фосфатов кальция, так же как и рыхлосвязанных, в исследованных почвах в целом незначительно и изменяется от 0,6 до 10,4 мг  $P_2O_5/100$  г почвы, составляя 0,1–8,7 %, а в большей степени меньше 5 % от их валового содержания. Максимальное количество Ca-P отмечается в гор. ВС<sub>Ca</sub> дерново-карбонатной почвы, и при этом оно составляет почти 80 % от суммы всех фракций минеральных фосфатов, тогда как в других почвах максимальное относительное содержание Ca-P составляет 18,1–20,6 %, или около 20 %.

Окклюдируемые Al-P и Al(Fe)-P фракции 5 и 6 минеральных почвенных фосфатов обычно представляют прочнозакрепленные полуторными оксидами Fe и Al соединения, не доступные для растений. Суммарное содержание данных фосфатов в изучаемых почвах изменяется, как правило, незначительно от 2,1 до 23,3 мг  $P_2O_5/100$  г почвы, что составляет 3,5–7,7 % и в

Формы минеральных фосфатов в различных типах почв Южной Якутии, мг P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/100г почвы

Table 4

Forms of mineral phosphates in various soils types of Southern Yakutia, mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/100g of soil

Глубина, см	Горизонт	Формы минеральных фосфатов						Валовой P
		Рыхлосвязанные	Al-P	Fe-P	Ca-P	Оккл. Al-P	Оккл. Al(Fe)-P	
Подзолистая альфегумусовая, разр. 4БГ-03								
4–10	A0A1	$\frac{9,2^*}{1,7}$	$\frac{21,6}{3,9}$	$\frac{62,5}{11,4}$	$\frac{0,6}{0,1}$	$\frac{0,9}{0,2}$	$\frac{1,3}{0,2}$	$\frac{550}{100}$
10–18	A2	$\frac{1,7}{2,8}$	$\frac{12,1}{20,2}$	$\frac{12,8}{21,3}$	$\frac{0,9}{1,5}$	$\frac{0,3}{0,5}$	$\frac{1,8}{3,0}$	$\frac{60}{100}$
20–30	Bfe	$\frac{0,6}{0,3}$	$\frac{7,0}{3,0}$	$\frac{13,6}{5,9}$	$\frac{6,6}{2,9}$	$\frac{1,0}{0,4}$	$\frac{3,3}{1,4}$	$\frac{230}{100}$
Палево-бурая типичная, разр. 5БГ-03								
15–25	A1	$\frac{1,5}{0,5}$	$\frac{34,3}{11,4}$	$\frac{44,8}{14,9}$	$\frac{0,6}{0,2}$	$\frac{19,0}{6,3}$	$\frac{4,3}{1,4}$	$\frac{300}{100}$
30–37	B	$\frac{1,6}{1,2}$	$\frac{25,6}{19,7}$	$\frac{44,4}{34,2}$	$\frac{4,3}{3,3}$	$\frac{4,0}{3,1}$	$\frac{0,6}{0,5}$	$\frac{130}{100}$
40–50	BC	$\frac{1,6}{1,3}$	$\frac{16,8}{14,0}$	$\frac{25,8}{21,5}$	$\frac{10,4}{8,7}$	$\frac{2,7}{2,3}$	$\frac{0,2}{0,2}$	$\frac{120}{100}$
Дерново-карбонатная типичная, разр. 3Т-08								
2–6	A1	$\frac{5,7}{5,2}$	$\frac{12,5}{11,4}$	$\frac{59,5}{54,1}$	$\frac{1,6}{1,4}$	$\frac{1,0}{0,9}$	$\frac{1,8}{1,6}$	$\frac{110}{100}$
10–20	B	$\frac{1,4}{1,5}$	$\frac{4,8}{5,3}$	$\frac{51,0}{56,7}$	$\frac{1,4}{1,5}$	$\frac{1,3}{1,4}$	$\frac{4,3}{4,8}$	$\frac{90}{100}$
40–50	BC <sub>Ca</sub>	$\frac{0,8}{1,0}$	$\frac{1,6}{2,0}$	$\frac{0,4}{0,5}$	$\frac{13,6}{17,0}$	$\frac{\text{Сл}}{-}$	$\frac{1,1}{1,4}$	$\frac{80}{100}$
Перегноино-карбонатная глееватая, разр. 8А								
0–7	Ah	$\frac{5,3}{1,8}$	$\frac{10,5}{3,5}$	$\frac{147,0}{49,0}$	$\frac{4,6}{1,5}$	$\frac{0,2}{0,1}$	$\frac{123,5}{41,2}$	$\frac{300}{100}$
7–10	AB	$\frac{2,0}{1,0}$	$\frac{26,6}{13,3}$	$\frac{138,5}{69,2}$	$\frac{5,8}{2,9}$	$\frac{3,6}{1,8}$	$\frac{1,2}{0,6}$	$\frac{200}{100}$
40–50	BCg	$\frac{0,5}{0,1}$	$\frac{13,6}{37,8}$	$\frac{72,5}{20,1}$	$\frac{6,5}{1,8}$	$\frac{3,0}{0,8}$	$\frac{1,8}{0,5}$	$\frac{360}{100}$

Примечание. Над чертой – мг P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/100 г почвы, под чертой – в % от валового содержания. Сл – следовое количество.  
 Note. Above the line – mg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/100 g of soil, below the line – in % of the gross content. Сл – the trace amount.

основном менее 5 % от их валового содержания. Лишь только в гор. Ah перегноино-карбонатной почвы отмечалось значительное количество окклюдируемых Al(Fe)-P, которое составляло 123,5 мг P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/100 г почвы, или около 40 % от их валового содержания.

### Выводы

1. Средневзвешенное содержание валового P в исследованных типах почв Южной Якутии невысокое и изменяется от 290 до 474 мг/кг. По содержанию общего P данные почвы объединяются в следующий убывающий ряд: пале-

во-бурые (474 мг/кг) > подзолистые альфегумусовые (429 мг/кг) > перегнойно-карбонатные (320 мг/кг) ≈ подзолистые типичные (318 мг/кг) > дерново-карбонатные (290 мг/кг). Внутрипрофильно валовой Р распределяется в подзолистых альфегумусовых почвах по элювиально-иллювиальному, в подзолистых типичных – по аккумулятивно-элювиальному, а в палево-бурых, дерново- и перегнойно-карбонатных – преимущественно по аккумулятивному типу.

2. В условиях главным образом горного рельефа территории, холодного гумидного климата и преобладания в растительном покрове таежной растительности в Южной Якутии в основном формируются кислые почвы элювиального ряда с низкой биологической активностью, в которых преобладающими процессами являются подзолообразование, оподзоливание и выщелачивание. Вследствие этого данные почвы характеризуются очень низким и низким средним содержанием подвижных фосфатов, доступных для растений, которое изменяется от 2,5 до 6,7 мг Р<sub>2</sub>О<sub>5</sub>/100 г почвы и не превышает 1–2 % от их валового содержания.

3. В составе минеральных фосфатов исследованных типов почв преобладают труднодоступные для растений фосфаты алюминия и фосфаты железа при абсолютном господстве последней фракции. Содержание Al-P и Fe-P в данных почвах изменяется в широких пределах и составляет соответственно максимально около 40 % и 60 % от их валового содержания. Общее количество рыхлосвязанных фосфатов и фосфатов кальция в исследованных почвах, как правило, незначительно и имеет подчиненное значение, составляя в основном менее 5 % от их валового содержания.

### Литература

1. Ринькис Г.Я., Рамане Х.К., Паэгле Г.В., Куницкая Т.А. Система оптимизации и методы диагностики минерального питания растений. Рига: Зинатне, 1989. 197 с.
2. Gyaneshwar P., Naresh Kumar G., Parekh L.J., Poole P.S. Role of soil microorganisms in improving P nutrition of plants // Plant and Soil. 2002. Vol. 245, No. 1. P. 83–93. DOI: 10.1023/A:1020663916259
3. Rodriguez H., Fraga R. Phosphate solubilizing bacteria and their role in plant growth promotion // Biotechnology Advance. 1999. Vol. 17, No. 4. P. 319–339. DOI: 10.1016/s0734-9750(99)00014-2
4. Богданов Н.И. Валовой и органический фосфор в сибирских черноземах // Почвоведение. 1954. № 5. С. 25–37.

5. Антипина Л.П. Фосфор в почвах Сибири: автореф. дис. ... д.с.-х.н. Омск, 1991. 36 с.
6. Рузавин Ю.Н., Убузунова В.И., Пьянкова Н.А. Содержание фосфатов в целинных и пахотных почвах Западного Забайкалья // Почвы степных и лесостепных экосистем Внутренней Азии и проблемы их рационального использования. Улан-Удэ, 2015. С. 108–111.
7. Антоненко Е.В. Фосфатный режим почв пашни северной и центральной сельскохозяйственных зон Амурской области // Адаптивные технологии в растениеводстве Амурской области. Благовещенск, 2016. С. 41–46.
8. Мангатаев Ц.Д. Фосфатный фонд автоморфных почв Западного Забайкалья // Вестник СВНЦ ДВО РАН. 2006. № 4. С. 79–83.
9. Наумченко Е.Т., Ковшик И.Г. Изменение фосфатного фонда луговых черноземовидных почв при длительном внесении удобрений // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2013. № 1(99). С. 42–44.
10. Роде А.А. Система методов исследования в почвоведении. Новосибирск: Наука, 1971. 92 с.
11. Розанов Б.Г. Морфология почв. М.: Изд-во МГУ, 1983. 320 с.
12. Еловская Л.Г. Классификация и диагностика мерзлотных почв Якутии. Якутск: Якутский филиал СО АН СССР, 1987. 172 с.
13. Ариунушкина Е.В. Руководство по химическому анализу почв. М.: Изд-во МГУ, 1970. 487 с.
14. Воробьева Л.А. Химический анализ почв. М.: Изд-во МГУ, 1998. 272 с.
15. Агрохимические методы исследования почв. М.: Наука, 1975. 656 с.
16. Дмитриев Е.А. Математическая статистика в почвоведении. М.: ЛИБРОКОМ, 2009. 328 с.
17. Белоусова Н.И. Роль миграции воднорастворимых веществ в формировании Al-Fe-гумусовых почв (по данным лизиметрических исследований) // Почвоведение. 1974. № 12. С. 54–69.
18. Коновровский А.К. Почвы севера зоны Малого БАМа. Новосибирск: Наука, 1984. 120 с.
19. Чевычелов А.П., Кузнецова Л.И. Географические особенности формирования химического состава поверхностных вод Южной Якутии // География и природные ресурсы. 2017. № 1. С. 171–178. DOI: 10.21782/GIPR0206-1619-2017-1(171-178)
20. Кудрин С.А. Средний химический состав основных типов почв Европейской части СССР по валовым анализам // Почвоведение. 1963. № 5. С. 21–25.
21. Чевычелов А.П., Захарова О.Г. Оценка плодородия различных типов почв Южной Якутии // Плодородие. 2017. № 5. С. 42–44.
22. Гамзиков Г.П. Агрохимические проблемы сибирского земледелия // Вестник НГАУ. 2011. № 5(21). С. 5–20.
23. Пигарева Н.Н. Особенности фосфатного фонда почв криолитозоны Забайкалья // Агрохимия. 2010. № 6. С. 3–12.

24. Гинзбург К.Е. Фосфор основных типов почв СССР. М.: Наука, 1981. 241 с.

25. Орлов Д.С., Садовникова Л.К., Суханова Н.И. Химия почв. М.: Высшая школа, 2005. 558 с.

Поступила в редакцию 20.01.2020  
Принята к публикации 02.03.2020

*Об авторах*

ЧЕВЫЧЕЛОВ Александр Павлович, доктор биологических наук, главный научный сотрудник, Институт биологических проблем криолитозоны СО РАН, 677980, Россия, Якутск, пр. Ленина, 41, <https://orcid.org/0000-0002-2668-9745>, [chev.soil@list.ru](mailto:chev.soil@list.ru);

ЗАХАРОВА Ольга Гаврильевна, кандидат биологических наук, научный сотрудник, Институт биологических проблем криолитозоны СО РАН, 677980, Россия, Якутск, пр. Ленина, 41, <https://orcid.org/0000-0002-4053-4977>, [olya.choma@mail.ru](mailto:olya.choma@mail.ru).

*Информация для цитирования*

Чевычелов А.П., Захарова О.Г. К оценке фосфатного состояния мерзлотных почв Южной Якутии // Природные ресурсы Арктики и Субарктики. 2020, Т. 25, № 1. С. 51–59. <https://doi.org/10.31242/2618-9712-2020-25-1-5>

DOI 10.31242/2618-9712-2020-25-1-5

## To the assessment of the phosphate status of permafrost soils of Southern Yakutia

A.P. Chevychelov, O.G. Zakharova\*

*Institute for Biological Problems of Cryolithozone,  
Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Yakutsk, Russia  
\*olya.choma@mail.ru*

**Abstract.** *The phosphate status of five types of permafrost soils in Southern Yakutia is studied for the first time: the content and intra-profile distribution of total phosphorus, as well as mineral and mobile phosphates determined according to Chang-Jackson and Ginsburg-Artamonova methods, respectively. The study revealed that the weighted mean content of total phosphorus in examined soils was not very high, and varied from 290 to 474 mg/kg. According to the total phosphorus content, these types of soils were arranged into the following descending sequence: pale-brown (474 mg/kg) > podzolic alpha-humus (429 mg/kg) > muck-calcareous (320 mg/kg) ≈ podzolic typical (318 mg/kg) > sod-calcerous (290 mg/kg). At the same time, the intra-profile distribution of total phosphorus in podzolic alpha-humus soils had an eluvial-illuvial pattern, podzolic typical and sod-calcerous soils had an accumulative eluvial distribution pattern, pale-brown soils were characterized by an eluvial distribution, and muck-calcerous soils had an accumulative distribution pattern.*

*It was demonstrated that landscape and climatic conditions of southern Yakutia favor the development of primarily acidic permafrost soils unsaturated with exchangeable bases, as well as long-seasonal permafrost soils of eluvia row, which are characterized by low biological activity. These soils are also characterized by the low content of mobile phosphates, with the average value of 2,5–6,7 mg P<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/100 g of soil and not higher than 1–2 % of its total content.*

*It was also shown that the total content of loosely linked phosphates and calcium phosphates, which are more readily utilized by plants, is generally low in the examined soils and is mainly less than 5 % of their total content. At the same time, aluminum phosphates (Al-P) and iron phosphates (Fe-P) that are hardly available for plants prevail in the mineral phosphate composition of the soils of Southern Yakutia, with the dominance of the latter fraction. The content of Al-P and Fe-P in these soils varied significantly, with the maximum variations of 40 and 60 % of their total content, respectively.*

**Key words:** permafrost soils, composition and properties, phosphates, content, distribution.

**Acknowledgements.** *The article is based on the project "Fundamental and applied aspects of studying the diversity of the flora of Northern and Central Yakutia" (0376-2016-0001; reg. number AAAA17-117020110056-0)*

### References

1. Rin'kis G.Ya., Ramane H.K., Paegle G.V., Kuničkaya T.A. Sistema optimizacii i metody diagnostiki mineral'nogo pitaniya rastenij. Riga: Zinatne, 1989. 197 p.
2. Gyaneshwar P., Naresh Kumar G., Parekh L.J., Poole P.S. Role of soil microorganisms in improving P nutrition of plants // *Plant and Soil*. 2002. Vol. 245, No. 1. P. 83–93. DOI: 10.1023/A:1020663916259
3. Rodriguez H., Fraga R. Phosphate solubilizing bacteria and their role in plant growth promotion // *Biotechnology Advance*. 1999. Vol. 17, No. 4. P. 319–339. DOI: 10.1016/s0734-9750(99)00014-2
4. Bogdanov N.I. Valovoj i organicheskoj fosfor v sibirskih chernozemah // *Pochvovedenie*. 1954. No. 5. P. 25–37.
5. Antipina L.P. Fosfor v pochvah Sibiri: avtoref. dis.... d. s.-h. n. Omsk, 1991. 36 p.
6. Ruzavin Yu.N., Ubugunova V.I., P'yankova N.A. Soderzhanie fosfatov v celinnyh i pahotnyh pochvah Zapadnogo Zabajkal'ya // *Pochvy stepnyh i lesostepnyh ekosistem Vnutrennej Azii i problemy ih racional'nogo ispol'zovaniya*. Ulan-Ude, 2015. P. 108–111.
7. Antonenko E.V. Fosfatnyj rezhim pochv pashni severnoj i central'noj sel'skohozyajstvennyh zon Amurskoj oblasti // *Adaptivnyje tekhnologii v rastenievodstve Amurskoj oblasti*. Blagoveshchensk, 2016. P. 41–46.
8. Mangataev C.D. Fosfatnyj fond avtomorfnyh pochv Zapadnogo Zabajkal'ya // *Vestnik SVNC DVO RAN*. 2006. No. 4. P. 79–83.
9. Naumchenko E.T., Kovshik I.G. Izmenenie fosfatnogo fonda lugovyh chernozemovidnyh pochv pri dlitel'nom vnesenii udobrenij // *Vestnik Altajskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2013. No. 1(99). P. 42–44.
10. Rode A.A. Sistema metodov issledovaniya v pochvovedenii. Novosibirsk: Nauka, 1971. 92 p.
11. Rozanov B.G. Morfologiya pochv. M.: Izd-vo MGU, 1983. 320 p.
12. Elovskaya L.G. Klassifikaciya i diagnostika merzlotnyh pochv Yakutii. Yakutsk: Yakutskij filial SO AN SSSR, 1987. 172 p.
13. Arinushkina E.V. Rukovodstvo po himicheskomu analizu pochv. M.: Izd-vo MGU, 1970. 487 p.
14. Vorob'eva L.A. Himicheskij analiz pochv. M.: Izd-vo MGU, 1998. 272 p.
15. *Agrohimicheskie metody issledovaniya pochv*. M.: Nauka, 1975. 656 p.
16. Dmitriev E.A. Matematicheskaya statistika v pochvovedenii. M.: LIBROKOM, 2009. 328 p.
17. Belousova N.I. Rol' migracii vodnorastvorimyh veshchestv v formirovanii Al-Fe-gumusovyh pochv (po dannym lizimetricheskikh issledovanij) // *Pochvovedenie*. 1974. No. 12. P. 54–69.
18. Konorovskij A.K. Pochvy severa zony Malogo BAMA. Novosibirsk: Nauka, 1984. 120 p.
19. Chevychelov A.P., Kuznecova L.I. Geograficheskie osobennosti formirovaniya himicheskogo sostava poverhnostnyh vod Yuzhnoj Yakutii // *Geografiya i prirodnye resursy*. 2017. No. 1. P. 171–178.
20. Kudrin S.A. Srednij himicheskij sostav osnovnyh tipov pochv Evropejskoj chasti SSSR po valovym analizam // *Pochvovedenie*. 1963. No. 5. P. 21–25.
21. Chevychelov A.P., Zaharova O.G. Ocenka plodorodiya razlichnyh tipov pochv Yuzhnoj Yakutii // *Plodorodie*. 2017. No. 5. P. 42–44.
22. Gamzikov G.P. Agrohimicheskie problemy sibirskogo zemledeliya // *Vestnik NGAU*. 2011. No. 5(21). P. 5–20.
23. Pigareva N.N. Osobennosti fosfatnogo fonda pochv kriolitozony Zabajkal'ya // *Agrohimiya*. 2010. No. 6. P. 3–12.
24. Ginzburg K.E. Fosfor osnovnyh tipov pochv SSSR. M.: Nauka, 1981. 241 p.
25. Orlov D.S., Sadovnikova L.K., Suhanova N.I. Himiya pochv. M.: Vysshaya shkola, 2005. 558 p.

### About the authors

CHEVYCHELOV Aleksandr Pavlovich, doctor of biological sciences, chief researcher, Institute for Biological Problems of Cryolithozone SB RAS, 677980, Russia, Yakutsk, 41 Lenina St., <https://orcid.org/0000-0002-2668-9745>, chev.soil@list.ru;

ZAKHAROVA Olga Gavril'evna, candidate of biological sciences, researcher, Institute for Biological Problems of Cryolithozone SB RAS, 677980, Russia, Yakutsk, 41 Lenina St., <https://orcid.org/0000-0002-4053-4977>, olya.choma@mail.ru.

### Citation

*Chevychelov A.P., Zakharova O.G.* To the assessment of the phosphate status of permafrost soils of Southern Yakutia // *Arctic and Subarctic Natural Resources*. 2020, Vol. 25, N 1. P. 51–59. <https://doi.org/10.31242/2618-9712-2020-25-1-5>