



Серия «Биология. Экология»
2024. Т. 49. С. 67–78
Онлайн-доступ к журналу:
<http://izvestiabio.isu.ru/ru>

ИЗВЕСТИЯ
Иркутского
государственного
университета

Научная статья

УДК 631.416.2

<https://doi.org/10.26516/2073-3372.2024.49.67>

Фосфатное состояние чернозёмов обыкновенных Западной Сибири и Центральной Якутии

О. Г. Захарова, А. П. Чевычелов*

Институт биологических проблем криолитозоны СО РАН, г. Якутск, Россия

E-mail: olya.choma@mail.ru

Аннотация. С применением комплекса почвенных методов изучено фосфатное состояние чернозёма обыкновенного длительно-сезоннопромерзающего Западной Сибири и мерзлотного чернозёма обыкновенного Центральной Якутии. Проанализированы различия чернозёмов по общему количеству и относительному содержанию отдельных фракций минеральных фосфатов, определены региональные особенности этих почв.

Ключевые слова: чернозёмы обыкновенные, состав, свойства, фосфатное состояние, Западная Сибирь, Центральная Якутия.

Для цитирования: Захарова О. Г., Чевычелов А. П. Фосфатное состояние чернозёмов обыкновенных Западной Сибири и Центральной Якутии // Известия Иркутского государственного университета. Серия Биология. Экология. 2024. Т. 49. С. 67–78. <https://doi.org/10.26516/2073-3372.2024.49.67>

Research article

Phosphate State of Ordinary Chernozems in Western Siberia and Central Yakutia

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

Institute of Biological Problems of Cryolithozone SB RAS, Yakutsk, Russian Federation

Abstract. The phosphate state of long-term seasonally frozen ordinary chernozem of Western Siberia and frozen ordinary chernozem of Central Yakutia was studied using a complex of soil methods, such as comparative geographical, comparative analytical and profile genetic in combination with standard analytical techniques. It was shown that, despite the similarity of the morphological structure and properties of these soils, their phosphate state differed significantly. Thus, with a generally similar content of total phosphorus, amounting to 67.5–110.1 in the chernozem of Western Siberia, and 98.0–167.3 mg P₂O₅/100 g of soil in the chernozem of Yakutia, the proportion of organophosphates in the first soil was lower than in the second. Thus, in the chernozem of Western Siberia, phosphates of organic compounds amounted to 44.6–91.4 mg P₂O₅/100 g of soil, or relatively 66.1–83.0 % of the total amount of phosphates, while in the chernozem of Central Yakutia, respectively – 68.4–123.7 or 65.8–73.9 %. The studied chernozems of Western Siberia and Central Yakutia also differed significantly in both the total amount and the relative content of individual fractions of mineral phosphates. The latter was especially evident for the iron phosphates and occluded aluminum-iron phosphates fractions, the average contents of which in these soils differed by 21 and 5 times, respectively. During mathematical processing of the obtained data using the nonparametric Wilcoxon

© Захарова О. Г., Чевычелов А. П., 2024

*Полные сведения об авторах см. на последней странице статьи.
For complete information about the authors, see the last page of the article.

test, it was found that the content of all studied forms and fractions of phosphates in the studied chernozems differed statistically significantly with a confidence level of $p=0,95$ and $p=0,99$. It is assumed that the higher content of iron phosphates and occluded aluminum-iron phosphates fractions in the frozen chernozem of Central Yakutia compared to those noted in the frozen chernozem of Western Siberia is associated with the influence of the cryogenic ferruginization process.

Keywords: ordinary chernozems, composition, properties, phosphate state, Western Siberia, Central Yakutia.

For citation: Zakharova O. G., Chevychelov A. P. Phosphate state of ordinary chernozems Western Siberia and Central Yakutia. *The Bulletin of Irkutsk State University. Series Biology. Ecology*, 2024, vol. 49, pp. 67-78. <https://doi.org/10.26516/2073-3372.2024.49.67> (in Russian)

Введение

Мерзлотные чернозёмы Центральной Якутии являются уникальным типом криогенных почв, формирующихся на северо-восточной границе ареала чернозёмных почв России. До последнего времени географо-генетические особенности распространения, формирования свойств и состава этих почв в мерзлотной области оставались слабоизученными и остро дискуссионными. Однако после появления ряда работ якутских почвоведов [Коноровский, 1979, 1990; Еловская, 1987; Чевычелов, Скрыбыкина, Васильева, 2009] они приобрели законное право на признание и существование в почвенном покрове Центральной Якутии. Здесь они занимают площадь 56 400 га, или 0,02 % от общей площади [Почвенный покров ... , 2001].

Чернозёмы Западной Сибири представляют «золотой» фонд земель Новосибирской области. При этом чернозёмы обыкновенные занимают в регионе площадь 1200,8 га, или 4,7 % от общей площади [Хмелев, Танасиенко, 2009]. Важно отметить, что чернозёмы обыкновенные Барабинской низменности (Барабы), так же как таковые Центральной Якутии, формируются по гривным мезоповышениям рельефа, сочетаются с лугово-чернозёмными солонцеватыми почвами и солонцами (10–30 % склонов) и относятся к агроэкологическому типу малосолонцовых земель [Семендяева, 2006].

Целью настоящей работы стало сравнительное исследование особенностей фосфатного состояния двух почв единого подтипа чернозёмов обыкновенных, сформировавшихся в различных ландшафтно-климатических условиях: в длительно-сезоннопромерзающей фациальной области Западной Сибири и в мерзлотной области Центральной Якутии, выявление сходства и различия этих почв с учётом ландшафтно-климатических условий почвообразования.

Материалы и методы

При проведении полевых и лабораторных работ использовали общепринятые в почвоведении сравнительно-географический, сравнительно-аналитический [Роде, 1971] и профильно-генетический [Розанов, 1983] методы исследований; физико-химические свойства и гранулометрический состав также определяли по стандартным методикам [Воробьева, 1989; Практикум по почвоведению, 1980]. Содержание общего фосфора ($P_{\text{общ}}$) определяли по Сандерсу и Вильямсу [Мамонтов, 2019], органического

фосфора ($P_{\text{орг}}$) – по разнице общего и минерального фосфора ($P_{\text{мин}}$), формы минеральных фосфатов выделяли по методу Чанга – Джексона (вариант Аскинази, Гинзбург, Лебедевой). При этом при выделении фракции рыхлосвязанных фосфатов ($P_{\text{рыхлосв}}$) использовали 1 н. NH_4Cl , Al-фосфатов – 0,5 н. NH_4F , Fe-фосфатов – 0,1 н. NaOH , Ca-фосфатов – 0,5 н. H_2SO_4 , окклюдиروанных Al-фосфатов – 0,5 н. NH_4F ($\text{pH} = 8,5$), окклюдирированных Al(Fe)-фосфатов – 0,1 н. NaOH . Данный метод основан на последовательной обработке одной навески почвы различными растворителями, каждый из которых извлекает определённые фракции минеральных фосфатов почвы. Соотношение почва:раствор составило 1:50. Количественное определение фосфатов в данных вытяжках осуществлялось фотометрическим методом по фосфорномолибденовой гетерополикислоте на фотоколориметре КФК-3-01 (ЗОМЗ, Россия) [Агрохимические методы ... , 1975].

Образцы изучаемых чернозёмов получены из двух разрезов, заложенных в 2004 г. Разрез 1НЧ-04 заложен в Западной Сибири на территории Приобского плато на контуре ключевого участка Володарка, в 1–3 км южнее с. Володарка на залежи на надпойменной террасе р. Оби ($N 52^{\circ}41'42''$, $E 83^{\circ}38'$, абсолютная высота H около 200 м) [Физические свойства ... , 2020]. Почвообразующие породы – лёссовидные карбонатные суглинки. Строение профиля: $A_{\text{v}}(0-1) - A(1-24) - A_{\text{вса}}(24-42) - \text{вса}(42-74) - \text{сса}(74-138 \text{ см})$. Почва: чернозём обыкновенный длительно-сезоннопромерзающий. Разрез 70Й-04 заложен в пределах Центрально-Якутской равнины на Средней Лене, на гривном мезоповышении II надпойменной террасы р. Лены, в 3 км на запад от с. Ой на пашне (чёрный пар) ($N 61^{\circ}54'22,3''$, $E 129^{\circ}30'43,2''$, $H - 103,8 \text{ м}$). Почвообразующие породы – лёгкие аллювиальные отложения. Строение профиля: $A_{\text{a}}(0-20) - A_{\text{в}}(20-42) - \text{вса}(42-54) - \text{всса}(54-86) - \text{с}(86-136 \text{ см})$. Почва: чернозём обыкновенный мерзлотный.

Чернозёмы в местах исследования формируются в сходных ландшафтно-климатических условиях – на надпойменных террасах рек в пределах двух крупных равнинных пространств – Западносибирской низменности и Центрально-Якутской равнины, на аллювиальных отложениях под степной растительностью, однако при совершенно различном типе температурного режима (длительно-сезоннопромерзающий и мерзлотный соответственно).

Результаты и обсуждение

Изучаемые чернозёмы довольно схожи как по морфологии, так и по физико-химическим свойствам (табл. 1). Особенно это касается мощности горизонтов А и АВ гумусового профиля и содержания в них гумуса, а также значений $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$. Так, верхняя часть профиля данных почв (гор. А + АВ) характеризуется слабощелочной, а нижняя (гор. $\text{вса} + \text{всса}, \text{с}$) – щелочной реакцией среды. Вместе с тем чернозём Западной Сибири в верхней части профиля (гор. А) отличается легкосуглинистым, а ниже среднесуглинистым, тогда как чернозём Центральной Якутии – более лёгким легкосуглинистым гранулометрическим составом. Первая почва также характеризуется повышенной глубиной вскипания от 10 % HCl , идентифицирующей наличие свободных карбонатов (CaCO_3 и MgCO_3) в составе почвенного мелкозёма.

Последнее становится ясным, если учесть, что почва на разрезе 1НЧ-04 сформирована на карбонатных лёссовидных средних суглинках, а на разрезе 7Ой-04 – на легкосуглинистых бескарбонатных аллювиальных отложениях (см. табл. 1).

Таблица 1

Физико-химические свойства чернозёмов обыкновенных (Calcic Voronic Chernozems)
Западной Сибири и Центральной Якутии

Горизонт	Глубина, см	pH _{H2O}	Гумус, %	Обменные катионы, ммоль(экв)/100 г почвы			Фракции, %		СО ₂ карбонатов, %
				Ca ⁺²	Mg ⁺²	Na ⁺	<0,001 мм	<0,01 мм	
Чернозём обыкновенный Западной Сибири, разрез 1НЧ-04									
Av	0–1	6,9	13,3	30,1	3,6	1,4	–	–	н. о.
A	1–10	7,6	5,6	29,3	2,1	1,0	9,2	23,8	н. о.
A	10–20	7,8	3,5	27,2	1,8	0,7	10,0	24,7	н. о.
ABca	24–34	7,8	2,0	19,4	5,1	1,2	15,4	36,3	9,2
Vca	45–55	8,0	0,8	15,5	4,3	0,8	18,3	38,6	8,5
Cca	80–90	8,4	0,3	12,7	4,1	1,2	19,3	40,2	7,7
Cca	120–130	8,1	0,3	–	–	–	18,4	38,7	7,2
Чернозём обыкновенный Центральной Якутии, разрез 7Ой-04									
Aa	5–15	6,6	5,3	23,2	2,7	1,8	10,3	20,5	н. о.
AB	30–40	7,6	2,3	22,5	1,3	1,2	8,7	23,3	н. о.
Vca	43–53	8,5	1,4	39,6	17,1	2,3	8,6	22,4	12,8
BCca	65–75	8,7	1,0	38,6	20,5	3,8	8,7	22,9	4,8
C	120–130	8,8	0,9	12,7	5,7	1,9	11,1	25,0	н. о.

Примечание к табл. 1, 3: н. о. – не обнаружено; «–» – не определено. В скобках приведены названия почв согласно World Reference Base (WRB)¹ [Международная система ... , 2015].

Содержание общего количества фосфора, которое в пределах почвенных профилей, как правило, уменьшалось сверху вниз, следуя за убыванием гумуса, составляет для чернозёма Западной Сибири 67,5–110,1, а для чернозёма Центральной Якутии – 98,0–167,3 мг P₂O₅/100 г почвы. При этом в последнем в большей мере преобладали органофосфаты, относительное содержание которых составляло 65,8–73,9 и 66,1–83,0 % соответственно (табл. 2).

Последнее также подтверждает известное положение о том, что почвы чернозёмного типа наиболее богаты органическими формами фосфора: 50–90 % валового P в них находится в органической форме [Попович, 1992]. В составе органической части почвы фосфор представлен фосфолипидами (около 1 % органического P), инозитолфосфатами и нуклеиновыми кислотами (около 2–3 % органического P). Кроме того, идентифицированы фосфопротеины, сахарофосфаты и фосфорированные карбоновые кислоты. Кроме фосфолипидов и инозитфосфатов в составе органического фосфора существенную роль играет фосфор гумусовых веществ. В составе гуминовых кислот может находиться от 2–3 до 50–80 % всего органического фосфора почвы [Орлов, 1992].

¹ Международная система почвенной классификации для диагностики почв и создания легенд почвенных карт / Рабочая группа IUSS WRB. Мировая реферативная база почвенных ресурсов. Доклады о мировых почвенных ресурсах № 106. 2014, испр. и доп. версия 2015. ФАО, Рим.

Таблица 2

Формы фосфора в чернозёмах обыкновенных Западной Сибири и Центральной Якутии

Горизонт	Глубина, см	Р _{общ} мг Р ₂ О ₅ /100 г почвы	Р _{мин}		Р _{орг}	
			мг Р ₂ О ₅ /100 г почвы	%*	мг Р ₂ О ₅ /100 г почвы	%
Чернозём обыкновенный Западной Сибири, разрез 1НЧ-04						
А	1–10	108,7	19,5	17,9	89,2	82,1
А	10–20	110,1	18,7	17,0	91,4	83,0
АВса	24–34	103,8	19,6	18,7	84,2	81,3
Вса	45–55	67,5	22,9	33,9	44,6	66,1
Сса	80–90	70,5	12,4	17,5	58,1	82,4
Чернозём обыкновенный Центральной Якутии, разрез 70Й-04						
Аа	5–15	137,8	59,4	43,1	78,4	56,9
АВ	30–40	167,3	43,6	26,1	123,7	73,9
Вса	43–53	98,0	14,8	15,1	83,2	84,9
ВСса	65–75	121,7	14,8	12,2	106,9	87,8
С	120–130	104,0	35,6	34,2	68,4	65,8

Примечание: * – в % от содержания Р_{общ}.

Более высокое содержание общего фосфора, как и всех его органических и минеральных форм в чернозёме Центральной Якутии по сравнению с чернозёмом Западной Сибири, по нашему мнению, обусловлено повышенной гумусированностью первого. Если в гумусовом горизонте А содержание гумуса сопоставимо, то в нижних горизонтах чернозёма Центральной Якутии показатель выше, чем в чернозёме Западной Сибири (см. табл. 1). Увеличение количества общего фосфора в горизонте ВСса разреза 70Й-04 по сравнению со смежными горизонтами Вса и С этой почвы (см. табл. 2) обусловлено слоистостью её состава, проявляющейся в нижней части профиля.

Ещё в большей мере в изучаемых почвах различаются содержание и соотношение форм минеральных фосфатов (табл. 3). Так, в горизонтах А и АВ гумусового профиля обеих почв суммарное количество всех форм минеральных фосфатов, определяемых по методу Чанга – Джексона, различается в 2–3 раза и составляет соответственно 18,7–19,6 и 43,6–59,4 мг Р₂О₅/100 г почвы. При этом в данных горизонтах, как и почти во всех остальных профилях чернозёма Западной Сибири, абсолютно преобладали А1-Р, составляя 55,9–65,7 % от общего содержания всех форм минеральных фосфатов.

Другой особенностью фосфатного состояния данной почвы является низкое содержание Са-Р, особенно в верхней части горизонта А, только в горизонте Сса этой почвы фосфаты кальция являлись преобладающей фракцией и их количество достигало 69,4 %. Такое фосфатное состояние в общем нехарактерно для чернозёмов Западной Сибири. Так, в пахотном горизонте чернозёмов данной территории разноосновные фосфаты кальция и магния (I группа) составляли 13,5–25,5 %, а трёхкальциевые фосфаты (II группа) – 15,5–45,4 % [Поставская, Гамзиков, 1975]. Также считается, что высокое содержание кальций-фосфатов в чернозёмах обыкновенных Хакасии и Западной Сибири является одной из провинциальных особенностей этих почв [Танзыбаев, Спирина, 1999]. К аналогичным выводам в отношении фосфатного состояния чернозёмов Западной Сибири приходят и другие исследователи [Аверкина, Науменко, 2017; Аверкина, 2018; Якутина, 2023].

Таблица 3

Формы минеральных фосфатов
в чернозёмах обыкновенных Западной Сибири и Центральной Якутии

Горизонт	Глубина, см	Формы минеральных фосфатов						Сумма
		Рыхлосвязанные	Al-P	Fe-P	Ca-P	Оккл. Al-P	Оккл. Al(Fe)-P	
Чернозём обыкновенный Западной Сибири, разрез 1НЧ-04								
A	1–10	$\frac{0,8}{4,1}$	$\frac{12,8}{65,7}$	$\frac{0,8}{4,1}$	$\frac{3,4}{17,4}$	$\frac{0,7}{3,6}$	$\frac{1,0}{5,1}$	19,5
A	10–20	$\frac{0,7}{3,7}$	$\frac{11,7}{62,7}$	$\frac{0,6}{3,2}$	$\frac{4,1}{21,9}$	$\frac{0,7}{3,6}$	$\frac{0,9}{4,8}$	18,7
ABca	24–34	$\frac{0,7}{3,6}$	$\frac{11,1}{56,5}$	$\frac{0,5}{2,6}$	$\frac{5,9}{30,1}$	$\frac{0,7}{3,6}$	$\frac{0,7}{3,6}$	19,6
Bca	45–55	$\frac{0,8}{3,5}$	$\frac{12,8}{55,9}$	$\frac{0,4}{1,7}$	$\frac{7,2}{31,4}$	$\frac{1,0}{4,4}$	$\frac{0,7}{3,1}$	22,9
Cca	80–90	$\frac{0,6}{4,8}$	$\frac{1,2}{9,7}$	$\frac{0,6}{4,8}$	$\frac{8,6}{69,4}$	$\frac{0,3}{2,4}$	$\frac{1,1}{8,9}$	12,4
Чернозём обыкновенный Центральной Якутии, разрез 70й-04								
Aa	5–15	$\frac{2,8}{4,7}$	$\frac{21,2}{35,7}$	$\frac{18,0}{30,3}$	$\frac{6,2}{10,4}$	$\frac{5,8}{9,8}$	$\frac{5,4}{9,1}$	59,4
AB	30–40	$\frac{1,5}{3,4}$	$\frac{10,0}{22,9}$	$\frac{15,0}{34,4}$	$\frac{6,4}{14,7}$	$\frac{3,0}{6,9}$	$\frac{7,7}{17,7}$	43,6
Bca	43–53	$\frac{2,8}{18,9}$	$\frac{2,4}{16,2}$	$\frac{0,6}{4,0}$	$\frac{6,9}{46,7}$	$\frac{1,1}{7,4}$	$\frac{1,0}{6,8}$	14,8
BC	65–75	$\frac{1,1}{7,4}$	$\frac{1,9}{12,8}$	$\frac{1,2}{1,8}$	$\frac{6,3}{42,6}$	н. о.	$\frac{4,3}{29,1}$	14,8
C	120–130	$\frac{1,6}{4,5}$	$\frac{5,0}{14,0}$	$\frac{18,4}{51,7}$	$\frac{6,8}{19,1}$	н. о.	$\frac{3,8}{10,7}$	35,6

Примечание: над чертой – в мг P₂O₅/100 г почвы, под чертой – в % от суммы всех фракций.

Низкое содержание Ca-P в горизонте A чернозёма Западной Сибири мы связываем с его агрогенной деградацией вследствие наиболее вероятного проявления процесса дефляции, когда эта почва использовалась как пашня. Последнее подтверждается очевидным снижением в данном горизонте количества частиц ила и физической глины на 5–6 и 11–12 % соответственно по сравнению с нижерасположенным горизонтом ABca (см. табл. 1).

Были получены вариационно-статистические показатели изменения содержаний различных форм и фракций фосфатов в исследуемых чернозёмах (табл. 4). При этом результаты наших расчётов показали, что среднее общее содержание фосфатов, органофосфатов, минеральных фосфатов, а также среднее количество их отдельных фракций, таких как P рыхлосвязанные, Al-P и Fe-P, а также окклюдируемые Al(Fe)-P, оказалось выше в чернозёме Центральной Якутии по сравнению с чернозёмом Западной Сибири. Внутри-профильные изменения содержания этих форм и фракций фосфатов оказались также более вариабельными в мерзлотном чернозёме Центральной Якутии по сравнению с промерзающим чернозёмом Западной Сибири. Так, если максимальные значения коэффициентов вариации в первой почве составляли 85–99 %, то во второй – только 44–49 %.

Таблица 4

Статистические показатели распределения фосфатов в чернозёмах обыкновенных Западной Сибири и Центральной Якутии

Фосфаты	<i>n</i>	lim	<i>x</i>	<i>S</i>	<i>Sx</i>	<i>V</i> , %
Чернозём обыкновенный, разрез 1НЧ-04 (Западная Сибирь)						
<i>P</i> _{общ}	5	67,5–110,1	92,1	21,3	9,5	23
<i>P</i> _{орг}	5	44,6–91,4	73,5	20,9	9,3	28
<i>P</i> _{мин}	5	12,4–22,9	18,6	3,8	1,7	20
<i>P</i> _{рыхлосв}	5	0,6–1,6	0,9	0,4	0,2	44
Al-P	5	1,2–12,8	9,9	4,9	2,2	49
Fe-P	5	0,3–0,8	0,5	0,2	0,1	40
Ca-P	5	3,4–8,6	5,8	2,1	0,9	36
Оккл. Al(Fe)-P	5	0,7–1,1	0,9	0,2	0,1	22
Чернозём обыкновенный, разрез 7Ой-04 (Центральная Якутия)						
<i>P</i> _{общ}	5	98,0–167,3	125,8	28,0	12,5	22
<i>P</i> _{орг}	5	68,4–123,7	92,1	22,6	10,1	24
<i>P</i> _{мин}	5	14,8–59,4	33,6	19,2	8,6	57
<i>P</i> _{рыхлосв}	5	1,1–2,8	2,0	0,8	0,4	40
Al-P	5	1,9–21,2	8,1	8,0	3,4	99
Fe-P	5	0,6–18,4	10,6	9,0	4,0	85
Ca-P	5	6,2–6,8	6,5	0,3	0,1	5
Оккл. Al(Fe)-P	5	1,0–7,7	4,4	2,4	1,1	54

Примечание: *n* – объём выборки, lim – пределы изменения содержания, *x* – среднее значение, *S* – стандартное отклонение, *V* – коэффициент вариации.

Для определения статистической значимости различий полученных значений определённых форм и фракций фосфатов был использован известный подход, связанный с применением непараметрического критерия Вилкоксона [Дмитриев, 2009, с. 273] при попарном сравнении малых выборок (объёмом меньше 30). При этом нулевая гипотеза H_0 предполагает равенство значений двух выборок размером *m* и *n*, где *m* – объём меньшей выборки, когда выполняется условие Wx или $Wy < W\alpha$. И наоборот, при неравенстве величин двух выборок вступает в силу альтернативная гипотеза H_1 , при этом Wx или $Wy > W\alpha$ для данного уровня значимости α . В нашем случае все величины сравниваемых форм *P* и фракций фосфатов данных почв статистически достоверно различались с доверительной вероятностью $p = 0,95$ и $p = 0,99$, при этом выполнялось условие Wx или $Wy > W\alpha$ (табл. 5).

Как уже отмечалось, общее содержание всех форм минеральных фосфатов в горизонтах Аа и АВ гумусового профиля мерзлотного чернозёма Центральной Якутии оказалось почти в 2–3 раза выше, чем в чернозёме Западной Сибири, при этом в составе *P* первой почвы также абсолютно преобладали органофосфаты. Среди данных фракций минеральных фосфатов в основном преобладают фосфаты полуторных окислов, составляющие 57,3–65,7 %, а среди последних выделяются Fe-P, содержание которых достигает 30,3–51,7 %. Только в горизонте Вса этой почвы относительно преобладают Ca-P, составляя 46,7 %. При этом среднее содержание Fe-P в мерзлотном чернозёме Центральной Якутии оказалось в 21 раз выше, чем в чернозёме Западной Сибири (см. табл. 4). В этом отношении результаты наших иссле-

дований абсолютно подтверждают выводы К. Е. Гинзбург о том, что максимум содержания органической фракции фосфора падает на зону чернозёмных почв, а также то, что во всех подтипах почв лесостепной и степной зон в направлении с запада на восток возрастает относительное содержание фосфатов полуторных окислов, чем частично можно объяснить снижение в этом направлении уровня подвижного фосфора [Гинзбург, 1981, с. 233].

Таблица 5

Оценка содержания фосфатов в чернозёмах обыкновенных Западной Сибири и Центральной Якутии посредством статистики Вилкоксона

Фосфаты	N	T	W_x	W_y	$W_\alpha, \alpha = 0,05$	$W_\alpha, \alpha = 0,01$
Р _{общ}	10	55	20	35	15	17
Р _{оргсоед}	10	55	24	31	15	17
Р _{мин}	10	55	23	32	15	17
Р _{рыхлосв}	10	55	18	37	15	17
Al-P	10	55	31	24	15	17
Fe-P	10	55	18	37	15	17
Ca-P	10	55	25	30	15	17
Оккл. Al(Fe)-P	10	55	18	37	15	17

Примечание: N – объём упорядоченной выборки, T – общая сумма рангов, W_x – сумма рангов выборки величины x (первой выборки), W_y – сумма рангов выборки величины y (второй выборки), W_α – критическое значение статистики Вилкоксона соответственно для $\alpha = 0,05$ и $\alpha = 0,01$ [Дмитриев, 2009, с. 319].

Таким образом, необходимо полагать, что высокое содержание железозосфатов и окклюдированных алюмо-железозосфатов является региональной особенностью фосфатного состояния мерзлотных чернозёмов обыкновенных Центральной Якутии вследствие проявления в их генезисе процесса криогенного ожелезнения. Впервые на проявление данного процесса в мерзлотных почвах криолитозоны в своё время обратила внимание Н. А. Ногина [1964; 1989], относя его, главным образом, к генезису мерзлотно-таёжных поверхностно-ожелезнённых почв Восточного Забайкалья. В частности, по поводу генезиса этих почв она отмечала, что образованы они специфическими процессами криогенного ожелезнения, т. е. денатурацией и частичной кристаллизацией несиликатных форм Fe при промерзании, при этом степень криогенного ожелезнения здесь на одних и тех же породах нарастала с увеличением континентальности климата.

В наше время особенности генезиса и плодородия этих почв, связанные с педогеохимией Fe, также подтверждаются в последних исследованиях. В частности, указано, что генезис и плодородие мерзлотно-таёжных почв в значительной степени определяются содержанием в них подвижных соединений железа, при этом отмечается их аккумуляция в гумусовом и надмерзлотном горизонтах. Содержание подвижных форм железа по Мера и Джексону в суглинистых разновидностях этих почв может достигать больших величин – порядка 1000 мг/100 г почвы. Повышенное содержание Fe в данных почвах определяет микроструктуру почв и значительно уменьшает подвижность фосфатов [Савич, Скрыбина, Норовсурэн, 2015].

Аналогичные особенности фосфатного состояния чернозёмов Анголы, развитых на ферралитных корах выветривания, отмечаются в работе Ж. Тавареша с соавторами [Особенности фосфатного состояния ... , 2014]. Изучение фракционного состава фосфатов в этих чернозёмах показало, что содержание их подвижных форм убывает с глубиной, а среди фракций последних абсолютно преобладают Fe-P.

Заключение

Результаты сравнительного исследования особенностей чернозёмов обыкновенных Западной Сибири и Центральной Якутии показали, что эти почвы обладают сходными морфологическими характеристиками и физико-химическими свойствами, однако их фосфатное состояние существенно различается.

В чернозёме Западной Сибири в составе общего P абсолютно преобладали органофосфаты, составляя 66,1–83,0 %, а среди минеральных форм фосфатов – в основном Al-P, на долю которых приходилось 55,9–65,7 %. В чернозёме Центральной Якутии доля органофосфатов в составе общего P повышена до 65,8–73,9 %, а во фракционном составе минеральных фосфатов, как правило, превалировали Al-P и Fe-P, суммарно составляя 57,3–65,7 %, при значительной доле Fe-P, равной 30,3–51,7 %.

Математическая обработка полученных результатов с применением непараметрического критерия Вилкоксона позволила установить, что содержание форм и фракций фосфатов в чернозёмах Западной Сибири и Центральной Якутии статистически достоверно различается.

Список литературы

- Аверкина С. С. Структура фосфатного фонда почв Сибири по качественному составу // Инновации и продовольственная безопасность. 2018. № 2(20). С. 80–86.
- Аверкина С. С., Науменко И. В. Изучение агрохимии фосфора на почвах Западной Сибири // Инновации и продовольственная безопасность. 2017. № 2(16). С. 49–70.
- Агрохимические методы исследования почв. М. : Наука, 1975. 656 с.
- Воробьева Л. А. Химический анализ почв. М. : Изд-во Моск. гос. ун-та, 1989. 272 с.
- Гинзбург К. Е. Фосфор основных типов почв СССР. М. : Наука, 1981. 235 с.
- Дмитриев Е. А. Математическая статистика в почвоведении. М. : Либроком, 2009. 328 с.
- Еловская Л. Г. Классификация и диагностика мерзлотных почв Якутии. Якутск : Якут. Фил. СО АН СССР, 1987. 172 с.
- Коноровский А. К. О почвенных зонах Центральной Якутии // Почвы зоны БАМ. Новосибирск : Наука, 1979. С. 176–184.
- Коноровский А. К. Зональность и мерзлотность почв Якутии. Якутск : Изд-во ЯНЦ СО АН СССР, 1990. 43 с.
- Мамонтов В. Г. Химический анализ почв и использование аналитических данных. Лабораторный практикум. СПб. : Лань, 2019. 328 с.
- Ногина Н. А. Почвы Забайкалья. М. : Наука, 1964. 314 с.
- Ногина Н. А. Своеобразие почв и процессов почвообразования в Центрально-Азиатской фации (тайга, степь, пустыня) // Почвоведение. 1989. № 9. С. 5–14.
- Орлов Д. С. Химия почв. М. : Изд-во Моск. гос. ун-та, 1992. 399 с.
- Особенности фосфатного состояния почв разной степени ферралитизации и гумусированности / Ж. Тавареш, В. И. Савич, Д. Н. Никиточкин, М. М. Кузелев // Плодородие. 2014. № 1. С. 33–34.
- Практикум по почвоведению / ред. И. С. Кауричев. М. : Колос, 1980. 272 с.

- Попович Л. П. Фосфатное состояние почв // Почвоведение. 1992. № 11. С. 24–35.
- Поставская С. М., Гамзиков Г. П. О минеральных фосфатах чернозёмов Западной Сибири // Почвоведение. 1975. № 1. С. 93–101.
- Почвенный покров и земельные ресурсы Российской Федерации. М. : Почв. ин-т им. В. В. Докучаева РАСХН, 2001. 400 с.
- Роде А. А. Система методов исследования в почвоведении. Новосибирск : Наука, 1971. 92 с.
- Розанов Б. Г. Морфология почв. М. : Изд-во Моск. гос. ун-та, 1983. 320 с.
- Савич В. И., Скрябина Д. С., Норовсурэн Ж. Влияние криогенеза на генезис и плодородие мерзлотных и мерзлотно-таежных почв // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. 2015. Вып. 2. С. 5–14.
- Семендяева Н. В. Природные условия и современные проблемы рационального использования почвенного покрова Барабы // Вестник Новосибирского государственного аграрного университета. 2006. № 1(4). С. 53–61.
- Танзыбаев М. Г., Спирина В. З. Фосфор в обыкновенных чернозёмах Хакасии // Вопросы географии Сибири. 1999. Вып. 23. С. 181–187.
- Физические свойства почв с признаками древнего педогенеза Барнаульского Приобья (Алтайский край, Россия) / М. И. Дергачева, С. П. Кулижский, А. Н. Никифоров, Е. Г. Захарова // Региональные геосистемы. 2020. Т. 44, № 4. С. 446–461.
- Хмелев В. А., Танасиенко А. А. Чернозёмы Новосибирской области, проблемы их рационального использования и охраны // Сибирский экологический журнал. 2009. № 2. С. 151–164.
- Чевычелов А. П., Скрыбыкина В. П., Васильева Т. И. Географо-генетические особенности формирования свойств и состава мерзлотных почв Центральной Якутии // Почвоведение. 2009. № 6. С. 648–657.
- Якутина О. П. Глубокопрофильное распределение фосфора в почве и подстилающей породе на юге Западной Сибири // Плодородие. 2023. № 5. С. 5–8.

References

- Averkina S.S. Struktura fosfatnogo fonda pochv Sibiri po kachestvennomu sostavu [Structure of the phosphate fund of soils in Siberia by qualitative composition]. *Innovatsii i prodovolstvennaya bezopasnost* [Innovations and food security], 2018, no. 2(20), pp. 80–86. (in Russian)
- Averkina S.S., Naumenko I.V. Izuchenie agrokhimii fosfora na pochvakh Zapadnoi Sibiri [Study of the agrochemistry of phosphorus on soils of Western Siberia]. *Innovatsii i prodovolstvennaya bezopasnost'* [Innovations and food security], 2017, no. 2(16), pp. 49–70. (in Russian)
- Agrokhimicheskie metody issledovaniya pochv* [Agrochemical methods research of soils]. Moscow, Nauka Publ., 1975, 656 p. (in Russian)
- Vorobyova L.A. *Khimicheskii analiz pochv* [Chemical analysis of soils]. Moscow, Moscow St. Univ. Publ., 1989, 272 p. (in Russian)
- Ginsburg K.E. *Fosfor osnovnykh tipov pochv SSSR* [Phosphorus of the main soil types of the USSR]. Moscow, Nauka Publ., 1981, 235 p. (in Russian)
- Dmitriev E.A. *Matematicheskaya statistika v pochvovedenii* [Mathematical statistics in soil science]. Moscow, Librokom Publ., 2009, 328 p. (in Russian)
- Elovskaya L.G. *Klassifikatsiya i diagnostika merzlotnykh pochv Yakutii* [Classification and diagnostics of frozen soils in Yakutia]. Yakutsk, YaB SB AS USSR Publ., 1987, 172 p. (in Russian)
- Konorovsky A.K. O pochvennykh zonakh Tsentralnoi Yakutii [On soil zones of Central Yakutia]. *Pochvy zony BAM* [Soils of the BAM zone]. Novosibirsk, Nauka Publ., 1979, pp. 176–184. (in Russian)
- Konorovsky A.K. *Zonalnost i merzlotnost pochv Yakutii* [Zoning and permafrost of soils in Yakutia]. Yakutsk, YaSC SB AS USSR Publ., 1990, 43 p. (in Russian)
- Mamontov V.G. *Khimicheskii analiz pochv i ispolzovanie analiticheskikh dannykh* [Chemical analysis of soils and use of analytical data. Laboratory workshop]. St. Petersburg, Lan Publ., 2019, 328 p. (in Russian)
- Nogina N.A. *Pochvy Zabaikal'ya* [Soils of Transbaikalia]. Moscow, Nauka Publ., 1964, 314 p. (in Russian)

Nogina N.A. Svoeobrazie pochv i protsessov pochvoobrazovaniya v Tsentral'noAziatskoi fatsii (taiga, step, pustynya) [The originality of soils and soil formation processes in the Central Asian facies (taiga, steppe, desert)]. *Eurasian Soil Sci.*, 1989, no. 9, pp. 5-14. (in Russian)

Orlov D.S. *Khimiya pochv* [Soil chemistry]. Moscow, Moskow St. Univ. Publ., 1992, 399 p. (in Russian)

Tavaresh Zh., Savich V.I., Nikitochkin D.N., Kuzelev M.M. Osobennosti fosfatnogo sostoyaniya pochv raznoi stepeni ferralitizatsii i gumusirovannosti [Features of the phosphate state of soils of varying degrees of ferralitization and humus content]. *Plodorodie* [Fertility]. 2014, no.1, pp. 33-34. (in Russian)

Praktikum po pochvovedeniyu [Workshop on soil science]. I.S. Kaurichev (Ed). Moscow, Kolos Publ., 1980, 272 p. (in Russian)

Popovich L.P. Fosfatnoe sostoyanie pochv [Phosphate state of soils]. *Eurasian Soil Sci.*, 1992, no.11, pp. 24-35. (in Russian)

Postavskaya S.M., Gamzikov G.P. O mineralnykh fosfatakh chernozemov Zapadnoi Sibiri [On mineral phosphates of chernozems of Western Siberia]. *Eurasian Soil Sci.*, 1975, no. 1, pp. 93-101. (in Russian)

Pochvennyi pokrov i zemelnye resursy Rossiiskoi Federatsii [Soil cover and land resources of the Russian Federation]. Moscow, V.V. Dokuchaev Soil Inst. Publ., 2001, 400 p. (in Russian)

Rode A.A. *Sistema metodov issledovaniya v pochvovedenii* [System of research methods in soil science]. Novosibirsk, Nauka Publ., 1971, 92 p. (in Russian)

Rozanov B.G. *Morfologiya pochv* [Soil morphology]. Moscow, Moscow St. Univ. Publ., 1983, 320 p. (in Russian)

Savich V.I., Skryabina D.S., Norovsuren Zh. Vliyaniye kriogeneza na genezis i plodorodie merzlotnykh i merzlotno-taezhnykh pochv [The influence of cryogenesis on the genesis and fertility of permafrost and permafrost-taiga soils]. *Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy*, 2015, vol. 2, pp. 5-14. (in Russian)

Semendyaeva N.V. Prirodnye usloviya i sovremennyye problemy ratsionalnogo ispolzovaniya pochvennogo pokrova Baraby [Natural conditions and modern problems of rational use of soil cover in Baraba]. *Vestnik NGAU (Novosibirsk State Agrarian University)*, 2006, no.1(4), pp. 53-61. (in Russian)

Tanzybaev M.G., Spirina V.Z. Fosfor v obyknovennykh chernozemakh Khakasii [Phosphorus in ordinary chernozems of Khakassia]. *Voprosy geografii Sibiri* [Questions of geography of Siberia]. 1999, vol. 23, pp. 181-187. (in Russian)

Dergacheva M.I., Kulizhsky S.P., Nikiforov A.N., Zakharova E.G. Fizicheskie svoystva pochv s priznakami drevnego pedogeneza Barnaulskogo Priob'ya (Altaiskii krai, Rossiya) [Physical properties of soils with signs of ancient pedogenesis in the Barnaul Ob region (Altai region, Russia)]. *Regional'nye geosistemy* [Regional geosystems], 2020, vol. 44, no. 4, pp. 446-461. (in Russian)

Khmelev V.A., Tanasienko A.A. Chernozemy Novosibirskoi oblasti, problemy ikh ratsionalnogo ispolzovaniya i okhrany [Chernozems of the Novosibirsk region, problems of their rational use and protection]. *Contemp. Probl. Ecol.*, 2009, no. 2, pp. 151-164. (in Russian)

Chevychelov A.P., Skrybykina V.P., Vasil'eva T.I. Geografo-geneticheskie osobennosti formirovaniya svoistv i sostava merzlotnykh pochv Tsentralnoi Yakutii [Geographic and genetic specificity of permafrost-affected soils in Central Yakutia]. *Eurasian Soil Sci.*, 2009, vol. 42, no. 6, pp. 600-608. <https://doi.org/10.1134/S1064229309060039> (in Russian)

Yakutina O.P. Glubokoprofilnoe raspredeleniye fosfora v pochve i podstilayushchei porode na yuge Zapadnoi Sibiri [Deep-profile distribution of phosphorus in soil and underlying rock in the south of Western Siberia]. *Plodorodie* [Fertility], 2023, no. 5, pp. 5-8. (in Russian)

Сведения об авторах

Захарова Ольга Гаврильевна
кандидат биологических наук,
научный сотрудник
Институт биологических проблем
криолитозоны СО РАН

Information about authors

Zakharova Olga Gavril'evna
Candidate of Sciences (Biology),
Research Scientist
Institute for Biological Problems of
Cryolithozone SB RAS

Россия, 3677980, г. Якутск, пр. Ленина, 41
e-mail: olya.choma@mail.ru

41, Lenin st., Yakutsk, 677980,
Russian Federation
e-mail: olya.choma@mail.ru

Чевычелов Александр Павлович

доктор биологических наук, главный
научный сотрудник

Институт биологических проблем

криолитозоны

ЯНЦ СО РАН

Россия, 3677980, г. Якутск, пр. Ленина, 41

e-mail: chev.soil@list.ru

Chevychelov Aleksandr Pavlovich

Doctor of Sciences (Biology),

Chief Research Scientist

Institute for Biological Problems of

Cryolithozone SB RAS

41, Lenin st., Yakutsk, 677980,

Russian Federation

e-mail: chev.soil@list.ru

Статья поступила в редакцию **30.05.2024**; одобрена после рецензирования **24.07.2023**; принята к публикации **23.08.2024**
Submitted **May, 30, 2024**; approved after reviewing **July, 24, 2023**; accepted for publication **August, 23, 2024**