



Серия «Биология. Экология»  
2021. Т. 36. С. 57–71  
Онлайн-доступ к журналу:  
<http://izvestiabiio.isu.ru/ru>

---

---

ИЗВЕСТИЯ  
Иркутского  
государственного  
университета

---

---

УДК 631.437

<https://doi.org/10.26516/2073-3372.2021.36.57>

## Магнитная восприимчивость мерзлотных лугово-чернозёмных почв Центральной Якутии

А. П. Чевычелов, А. А. Алексеев, Л. И. Кузнецова

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

*E-mail: chev.soil@list.ru*

**Аннотация.** Впервые изучена магнитная восприимчивость, а также исследованы географо-генетические особенности формирования свойств и состава мерзлотных лугово-чернозёмных почв Центральной Якутии. Изучены почвы, развивающиеся под естественной растительностью и под различными сельскохозяйственными угодьями (пашни, пары, залежи). Для оценки различий состава и свойств этих категорий почв в зависимости от условий почвообразования, а также характера и уровня антропогенного воздействия использованы показатели объёмной магнитной восприимчивости (ОМВ) и удельной магнитной восприимчивости (УМВ). Описаны отличия магнитных профилей исследуемых почв от соответствующих чернозёмных почв других немерзлотных регионов России.

**Ключевые слова:** мерзлотные лугово-чернозёмные почвы, антропогенно-изменённые почвы, состав и свойства, магнитная восприимчивость.

**Для цитирования:** Чевычелов А. П., Алексеев А. А., Кузнецова Л. И. Магнитная восприимчивость мерзлотных лугово-чернозёмных почв Центральной Якутии // Известия Иркутского государственного университета. Серия Биология. Экология. 2021. Т. 36. С. 57–71. <https://doi.org/10.26516/2073-3372.2021.36.57>

### **Введение**

Лугово-чернозёмные почвы, которые формируются под лугово-степной растительностью в степной зоне мерзлотных чернозёмов в условиях криоаридного климата Центральной Якутии [Еловская, Коноровский, 1978], являются одним из основных типов мерзлотных почв Центрально-Якутской равнины. Собственно мерзлотные чернозёмы являются автоморфными почвами и приурочены к плоским вершинам гривных мезоповышений II надпойменной террасы Средней Лены [Чевычелов, Скрыбыкина, Васильева, 2009], тогда как соподчинённые лугово-чернозёмные почвы, как правило, развиваются по гривным склонам и в структуре почвенного покрова территории являются переходным типом от зональных мерзлотных чернозёмов к интразональным чернозёмно-луговым и засоленным почвам [Чевычелов, 2015]. В таёжной зоне эти почвы приурочены к верхнему сухому поясу аласных котловин.

Магнитная восприимчивость, или способность намагничиваться, обусловленная наличием в почвах элементов группы железа, является универсальным показателем, отражающим почвенно-генетические [Магнетизм почв, 1995; Mullins, 1977; De Jong, Pennock, Nestor, 2000; Wojas, 2017], поч-

венно-экологические [Гладышева, Иванов, Строганова, 2007; Васильев, Лобанова, 2013; Водяницкий, Шоба, 2015] и палеопочвенные [Дергачева, 2012; Алифанов, Ваганов, Гугалинская, 2013; Ваганов, Алексеев, 2015] особенности конкретных типов почв.

Целью настоящей работы является изучение характеристик магнитной восприимчивости мерзлотных лугово-чернозёмных почв Центральной Якутии в качестве маркера условий почвообразования и степени антропогенного воздействия на эти почвы.

### *Материалы и методы*

В ходе исследования на разных участках Центрально-Якутской равнины исследованы 11 почвенных разрезов, шесть из которых заложены на почвах, развивающихся под естественной растительностью, а пять – под различными сельскохозяйственными угодьями (пашни, пары, залежи) (табл. 1). Применялись сравнительно-географический и сравнительно-аналитический [Роде, 1971], профильно-генетический [Розанов, 1983] методы почвенных исследований, состав и свойства почв определялись согласно общепринятым методикам [Аринюшкина, 1970; Воробьёва, 1989]. Объёмная магнитная восприимчивость  $\chi$  определялась на малогабаритном измерителе магнитной восприимчивости КМ-7 (SatisGeo, Чехия) с чувствительностью  $1 \cdot 10^{-6}$  ед. Си. Величину удельной магнитной восприимчивости (УМВ)  $\chi$  получали путём деления значения объёмной магнитной восприимчивости (ОМВ) на плотность почвы  $\rho$  (выраженную в  $\text{кг}/\text{м}^3$ ):  $\chi = \chi/\rho$ . Размерность удельной магнитной восприимчивости –  $10^{-8} \text{ м}^3/\text{кг}$  [Водяницкий, Шоба, 2015].

Таблица 1

Географические и морфологические характеристики мерзлотных лугово-чернозёмных почв Центральной Якутии

№ п/п	№ разреза	Координаты	Место заложения	Строение почвенного профиля (мощность слоев)
Естественные ландшафты				
1	Р.4Д-03	60°54'11,4"N, 130°22'20,4"E, 219 м над у. м.	Абалахская поверхность р. Лены, сухой пояс аласа в долине р. Тамма, остепнённый разнотравно-злаковый луг	Ad(0–2) – A(2–24) – ABca(24–38) – Bca(38–56) – BCca(56–88 см)
2	Р.6Ой-04	61°33'55,8"N, 129°09'07,8"E, 99,1 м над у. м.	Окрестности пос. Ой, II надпойменная терраса р. Лены, остепнённый разнотравно-злаковый луг	Ad(0–2) – A(2–20) – AB(20–34) – Bca(34–49) – BC(49–87) – C(87–132 см)
3	Р.1БС-05	62°01'16,2"N, 129°36'15,7"E, 97,5 м над у. м.	Окрестности г. Якутска, II надпойменная терраса р. Лены, остепнённый разнотравно-злаковый луг	Ad(0–2) – A(2–20) – AB(20–39) – Bca(39–51) – BC(51–80) – C(80–136 см)
4	Р.4БМ-16	62°08'45,1"N, 129°45'02,9"E, 98 м над у. м.	Окрестности г. Якутска, II надпойменная терраса р. Лены, остепнённый разнотравно-злаковый луг	Ad(0–1) – A(1–20) – AB(20–40) – Bca(40–60) – BCca(60–81) – C(81–126 см)

Окончание табл. 1

№ п/п	№ разреза	Координаты	Место заложения	Строение почвенного профиля (мощность слоев)
5	Р.10БС-18	62°01'34,6"N, 129°36'46,2"E, 98,5 м над у. м.	Окрестности г. Якутска, II надпойменная терраса р. Лены, остепнённый разно- травно-злаковый луг	A(0-17) – AB(17- 28) – Bca(28-50) – BCca(50-92) – C(92- 105 см)
6	Р.12БС-18	62°01'20,2"N, 129°37'19,5"E, 98,2 м над у. м.	Окрестности г. Якутска, II надпойменная терраса р. Лены, остепнённый разно- травно-злаковый луг	Ad,ca(0-2) – Aca(2- 20) – ABca(20-41) – Bca(41-57) – BCca(57-81) – C(81- 123 см)
<b>Антропогенные ландшафты</b>				
7	Р.8Ч-09	60°17'07,5"N, 119°58'47,2"E, 133 м над у. м.	Окрестности г. Олёкминска, I надпойменная терраса р. Лены, залежь	Ap(0-25) – ABca(25- 43) – Bca(43-64) – BCca(64-102) – C(102-123 см)
8	Р.1БС-09	62°01'39,8"N, 129°37'09,6"E, 98,8 м над у. м.	г. Якутск, Якутский ботанический сад, опытный участок, II надпойменная терраса р. Лены	Ap(0-25) – ABca(25- 35) – Bca(35-51) – BCca(51-107) – C(107-136 см)
9	Р.1БС-14	62°01'10,1"N, 129°36'28,5"E, 99,5 м над у. м.	г. Якутск, Якутский ботанический сад, опытный участок, II надпойменная терраса р. Лены	Ap,ca(0-22) – ABca(22-42) – Bca(42-61) – BCca (61-85) – C(85- 125 см)
10	Р.1БМ-16	62°08'42,7"N, 129°45'37,6"E, 99 м над у. м.	Окрестности с. Марха, Мархинский научно- производственный стационар, пашня (чёрный пар), II надпойменная терраса р. Лены	Ap(0-20) – AB(20- 37) – B(37-66) – BCca(66-89) – C(89- 137 см)
11	Р.4БС-18	62°01'28,5"N, 129°37'18,1"E, 99,1 м над у. м.	г. Якутск, Якутский ботанический сад, пашня (чёрный пар), II надпойменная терраса р. Лены	Ap(0-23) – ABca(23- 42) – Bca(42-61) – BC(61-84) – C(84- 115 см)

### **Результаты и обсуждение**

Свойства исследованных почв значительно различаются в зависимости от условий почвообразования (табл. 2), а также характера и уровня антропогенного воздействия (табл. 3). Так, значения pH в горизонте А мерзлотных лугово-чернозёмных почв естественных ландшафтов изменяются от 5,7 до 9,0, т. е. варьируют более чем в 1,5 раза, содержание гумуса составляет 4,4–9,5 % (более чем вдвое), сумма обменных оснований – 18,8–52,3 смоль(экв)/кг почвы (почти втрое), количество ила (частицы < 0,001 мм) – 8,7–17,4 % (вдвое) и физической глины (частицы < 0,01 мм) – 20,3–35,2 % (в 1,7 раза), а сумма солей – 0,041–0,569 % (почти в 14 раз). Со-

держание подвижных карбонатов в профиле этих почв изменяется от 0,8 до 9,2 % и варьирует более чем в 10 раз (см. табл. 2). Содержание поглощенного  $\text{Na}^+$  от суммы обменных оснований в данных почвах также значительно изменяется и составляет 1–36 %, что согласно известным грациям [Еловская, 1987] позволяет характеризовать почвы разрезов 4Д-03, 12БС-18 (см. табл. 2) и разреза 8Ч-09 (см. табл. 3) в основном как слабосолонцеватые, почву разреза 1БС-09 (см. табл. 3) как средне- и сильносолонцеватую, а разреза 6Ой-04 (см. табл. 2) – как солонец низко- и среднесолонцеватый.

Таблица 2

Физико-химические свойства мерзлотных лугово-чернозёмных почв естественных ландшафтов Центральной Якутии

Горизонт	Глубина, см	$\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$	Содержание гумуса, %	Обменные катионы, смоль(экв)/кг почвы				Фракции, %		Сумма солей, %	$\text{CO}_2$ карбонатов, %
				$\text{Ca}^{+2}$	$\text{Mg}^{+2}$	$\text{Na}^+$	Сумма	<0,001 мм	<0,01 мм		
Мерзлотная лугово-чернозёмная, разрез 4Д-03											
A	5–15	6,7	7,8	24,6	26,4	1,3	52,3	16,0	35,2	0,200	н. о.
ABca	25–35	7,7	4,8	32,9	46,9	4,9	84,7	17,2	37,6	1,569	1,2
Bca	40–50	8,1	1,5	37,4	45,9	4,4	87,7	20,9	39,7	1,025	2,0
BCca	60–70	8,0	1,0	–	–	–	–	23,3	46,2	0,883	0,8
Мерзлотная лугово-чернозёмная, разрез 6Ой-04											
A	0–10	5,7	6,7	13,2	2,6	3,5	19,4	9,1	20,9	0,082	н. о.
AB	10–20	5,9	3,0	12,3	4,1	4,7	21,1	10,3	22,9	0,171	н. о.
Bca	22–32	8,2	2,1	14,4	6,6	6,3	27,3	12,7	23,8	0,266	н. о.
BC	37–47	8,8	1,3	13,3	5,1	9,7	28,1	18,0	29,1	0,402	17,3
C	60–70	8,6	1,3	10,4	4,9	8,7	24,0	15,2	32,7	0,392	6,3
C	110–120	8,6	0,9	6,1	4,6	4,0	14,7	9,5	17,6	0,326	1,1
Мерзлотная лугово-чернозёмная, разрез 1БС-05											
Ad	0–2	6,7	14,6*	18,4	3,6	–	22,0	–	–	–	н. о.
A	5–15	8,2	4,4	14,7	4,1	–	18,8	8,8	20,3	0,313	н. о.
AB	25–35	9,3	3,5	14,2	8,9	–	23,1	12,9	28,6	0,529	н. о.
Bca	50–60	9,5	0,6	5,5	1,8	–	7,3	7,9	13,9	0,360	1,7
C	100–110	9,2	0,3	5,0	2,5	–	7,5	5,3	8,5	0,139	н. о.
Мерзлотная лугово-чернозёмная, разрез 4БМ-16											
A	5–15	7,0	7,8	12,7	6,1	н.о.	18,8	11,3	25,7	0,041	н. о.
AB	25–35	7,4	4,2	12,1	4,5	н.о.	16,6	12,4	26,0	0,035	н. о.
Bca	45–55	9,0	1,5	9,1	7,6	0,1	16,8	15,4	37,4	0,152	5,8
BCca	65–75	8,8	0,6	5,5	3,0	0,3	8,8	4,9	9,7	0,146	3,2
C	100–110	8,3	–	–	–	–	–	2,4	3,2	0,022	н. о.
Мерзлотная лугово-чернозёмная, разрез 10БС-18											
A	5–15	7,5	7,4	22,5	8,2	0,1	30,8	8,7	28,1	0,107	н. о.
AB	17–27	8,7	5,2	12,3	10,3	0,1	22,7	21,9	44,8	0,438	н. о.
Bca	35–45	9,1	1,5	11,1	8,1	0,2	19,4	20,5	41,0	0,610	5,6
BCca	70–80	9,7	0,6	7,1	6,0	0,1	13,2	10,7	22,9	0,366	3,2
C	92–102	9,4	0,4	6,0	5,0	0,1	11,1	10,4	21,5	0,285	н. о.
Мерзлотная лугово-чернозёмная, разрез 12БС-18											
Ad,ca	0–2	8,0	18,1*	14,5	16,5	1,6	32,6	7,5	19,4	–	4,0
Aca	10–20	9,0	9,5	8,2	17,4	1,4	27,0	17,4	32,2	0,569	5,7

Окончание табл. 2

Горизонт	Глубина, см	pH <sub>Н2О</sub>	Содержание гумуса, %	Обменные катионы, смоль(экв)/кг почвы				Фракции, %		Сумма солей, %	СО <sub>2</sub> карбонатов, %
				Ca <sup>+2</sup>	Mg <sup>+2</sup>	Na <sup>+</sup>	Сумма	<0,001 мм	<0,01 мм		
АВса	26–36	9,4	2,9	7,1	9,1	1,2	17,4	20,2	38,5	0,357	8,4
Вса	50–60	9,2	0,6	7,1	6,1	0,3	13,5	16,6	37,3	0,234	9,2
ВСса	75–85	8,9	0,6	8,1	10,2	0,2	18,5	16,2	38,6	0,181	6,2
Сса	90–100	8,9	0,5	7,6	10,6	0,3	18,5	12,3	26,1	0,152	6,5

Примечание: Здесь и в табл. 3: н. о. – не обнаружено, прочерк – не определено, \* – приведено значение потери при прокаливании.

Таблица 3

Физико-химические свойства мерзлотных лугово-чернозёмных почв антропогенных ландшафтов Центральной Якутии

Горизонт	Глубина, см	pH <sub>Н2О</sub>	Содержание гумуса, %	Обменные катионы, смоль(экв)/кг почвы				Фракции, %		Сумма солей, %	СО <sub>2</sub> карбонатов, %
				Ca <sup>+2</sup>	Mg <sup>+2</sup>	Na <sup>+</sup>	Сумма	<0,001 мм	<0,01 мм		
Мерзлотная лугово-чернозёмная, разрез 8Ч-09											
Ар	8–18	7,7	8,5	32,5	6,3	3,1	41,9	8,9	23,4	–	н. о.
АВса	30–40	8,1	5,1	19,6	9,3	1,7	30,6	9,6	32,5	–	4,0
Вса	50–60	8,1	3,2	21,8	10,9	1,8	34,5	11,2	38,8	–	3,2
ВСса	75–85	8,2	0,7	12,3	9,7	2,0	24,0	12,3	43,2	–	3,1
С	110–120	8,7	–	–	–	–	–	–	–	–	н. о.
Мерзлотная лугово-чернозёмная, разрез 1БС-09											
Ар	5–15	7,4	2,6	13,8	6,1	2,0	21,9	13,1	31,9	0,055	н. о.
АВса	25–35	8,1	2,1	13,8	6,1	2,4	22,3	15,2	34,8	0,123	4,0
Вса	37–47	8,6	2,4	12,2	3,4	3,5	19,1	11,5	35,3	0,175	9,1
ВСса	70–80	8,9	1,6	7,1	5,6	4,4	17,1	9,1	28,2	0,251	3,4
С	115–125	8,5	–	–	–	–	–	8,4	19,2	0,116	н. о.
Мерзлотная лугово-чернозёмная, разрез 1БС-14											
Ар,са	5–15	8,4	2,6	12,2	5,1	0,5	17,8	7,6	21,1	0,242	1,9
АВса	25–35	8,9	2,2	11,1	5,0	0,5	16,6	18,1	31,8	0,285	1,3
Вса	45–55	9,2	1,5	8,0	3,0	0,3	11,3	13,5	24,8	0,233	2,2
ВСса	70–80	9,2	0,4	10,7	4,0	0,3	15,0	12,8	28,1	0,242	2,1
С1	96–100	9,5	–	8,0	3,0	0,3	11,3	5,3	11,0	–	н. о.
С2	105–110	9,2	–	7,0	2,0	–	9,0	8,9	16,4	–	н. о.
Мерзлотная лугово-чернозёмная, разрез 1БМ-16											
Ар	5–15	7,9	3,9	13,7	4,6	0,1	18,4	9,8	22,2	0,089	н. о.
АВ	20–27	8,1	3,4	10,1	7,1	0,1	17,3	10,1	22,4	0,095	н. о.
В	45–55	9,1	1,1	6,0	3,5	0,1	9,6	7,7	14,3	0,116	н. о.
ВСса	70–80	8,6	0,5	9,1	6,6	0,2	15,9	12,6	26,5	0,136	3,3
С1са	100–110	8,5	0,2	–	–	–	–	5,2	10,6	0,022	2,3
С2	137–147	8,6	–	–	–	–	–	9,5	22,5	–	н. о.
Мерзлотная лугово-чернозёмная, разрез 4 БС-18											
Ар	5–15	8,2	2,6	14,3	7,2	0,3	21,8	9,6	24,8	0,130	н. о.
АВса	30–40	9,3	1,5	9,1	6,1	1,0	16,2	13,9	33,9	0,352	5,6
Вса	45–55	9,5	0,4	6,1	5,0	1,7	12,8	10,1	22,0	0,316	2,8
ВС	70–80	9,1	0,4	6,0	4,0	1,3	11,3	7,3	16,5	0,235	н. о.
С	90–100	9,4	0,2	8,1	5,0	–	13,1	7,4	16,5	0,153	н. о.

Необходимо отметить, что согласно значениям суммы солей почвы разрезов 4БМ-16, 1БС-09 и 1БМ-16 нужно характеризовать как незасоленные, разрезов 6Ой-04, 12БС-18, 1БС-14 и 4БС-18 как слабозасоленные, разрезов 1БС-05, 10БС-18 и 12БС-18 в основном как средnezасоленные, а почву разреза 4Д-03 как сильнозасоленную (см. табл. 2, 3).

Мерзлотные лугово-чернозёмные почвы естественных ландшафтов Центральной Якутии более гумусированы по сравнению с их антропогенно-изменёнными аналогами. Так, содержание гумуса в гумусо-аккумулятивных горизонтах А первых составляет 4,4–9,5 % (см. табл. 2) и характеризуется по известной шкале [Орлов, Лозанская, Попов, 1985] в основном как среднее и высокое, тогда как в пахотных горизонтах Ар последних содержится 2,6–8,5 % гумуса (см. табл. 3). Высокое содержание гумуса в горизонте Ар разреза 8Ч-09 обусловлено тем, что данная почва в последнее время является залежью (см. табл. 1) и представляет собой исключение из общего правила.

В целом в горизонте Ар агрогенно-трансформированных мерзлотных лугово-чернозёмных почв пашен Центральной Якутии общее количество гумуса составляет 2,6–3,9 % (см. табл. 3), характеризуется как низкое, на что нами ранее уже указывалось [Горохова, Чевычелов, 2013; Влияние длительного применения ... , 2018], и связано с процессом их дегумификации в ходе сельскохозяйственного использования.

Мерзлотные лугово-чернозёмные почвы антропогенных ландшафтов Центральной Якутии используются главным образом как пахотные угодья в условиях орошаемого земледелия, поэтому они характеризуются более лёгким, в основном легко- и среднесуглинистым гранулометрическим составом верхних почвенных горизонтов, меньшей степенью засоления и солонцеватости (см. табл. 3) по сравнению с аналогами, которые формируются в условиях естественных ландшафтов и используются в большей степени под пастбища в условиях богары. Верхние горизонты этих почв характеризуются более тяжёлым, средне- (разрезы 4Д-03, 12БС-18) и даже тяжелосуглинистым (разрез 10БС-18) составом (см. табл. 2). В условиях низкой продуктивности пастбищ они подвержены перевыпасу, поэтому их поверхностные горизонты уплотнены и характеризуются высокой степенью засоления (разрезы 4Д-03, 10БС-18, 12БС-18) и солонцеватости (разрез 6Ой-04) (см. табл. 2). В этих почвах также отмечается более высокая вариабельность значений физико-химических показателей по сравнению с агрогенно-трансформированными (см. табл. 2, 3).

Значения объёмной и удельной магнитных восприимчивостей генетических горизонтов исследуемых почв приведены в табл. 4 и 5. Здесь же приведены средневзвешенные значения УМВ, рассчитанные для профилей изучаемых почв с учётом мощности отдельных почвенных горизонтов (см. табл. 1). Значения ОМВ мерзлотных лугово-чернозёмных почв естественных ландшафтов изменяются значительно: более чем в 4 раза (31,4–138,9 ед. Си), а УМВ – более чем в 3 раза (31,4–102,3·10<sup>-8</sup> м<sup>3</sup>/кг) (см. табл. 4). Среди всех исследованных типов почв по значениям этих физических показателей выделяются почвы двух разрезов – 4Д-03 и 12БС-18, в которых средневзвешенные значения УМВ понижены в 1,5–2 раза. Первая почва формируется на аллювиальных юрских отложениях р. Тамма Абалахской поверхности

(см. табл. 1), которые вообще по сравнению с аллювием Лены, на котором развиваются остальные почвы, характеризуются более низкими значениями УМВ (см. табл. 4).

Таблица 4

Показатели магнитной восприимчивости мерзлотных лугово-чернозёмных почв естественных ландшафтов Центральной Якутии

№ разреза	Горизонт	Глубина, см	$\chi, n \cdot 10^{-5}$ ед. Си	$P, n \cdot 10^3$ кг/м <sup>3</sup>	$\chi, n \cdot 10^{-8}$ м <sup>3</sup> /кг	$\chi/\chi_c$
4Д-03	A	5–15	31,4	1,00	31,4	–
	ABca	25–35	35,7	1,07	33,4	–
	Bca	40–50	48,5	1,16	41,8	–
	BCca	60–70	62,4	1,20	52,0	–
					41,3*	
6Ой-04	A	0–10	88,4	0,99	89,3	1,1
	A	10–20	91,3	1,08	84,5	1,0
	AB	22–32	101,4	1,14	87,4	1,0
	Bca	34–47	76,9	1,06	72,5	0,9
	BC	60–70	85,5	1,17	73,1	0,9
	C	110–120	99,0	1,18	83,9	1,0
				80,3*		
1БС-05	Ad	0–2	63,8	0,90	71,0	0,8
	A	5–15	92,7	1,13	82,0	0,9
	AB	25–35	96,0	1,19	80,7	0,9
	Bca	50–60	97,4	1,28	76,1	0,9
	BC	70–80	108,7	1,33	81,8	0,9
	C	100–110	120,1	1,38	87,0	1,0
				83,1*		
4БМ-16	Ad	0–1	51,4	0,70	102,3	1,0
	A	5–15	113,1	1,22	92,7	0,9
	AB	25–35	114,8	1,21	94,9	1,0
	Bca	45–55	67,2	1,09	61,6	0,6
	BCca	67–75	126,7	1,34	94,5	1,0
	C	100–110	138,9	1,41	98,5	1,0
				90,6*		
P.10БС-18	A	5–15	97,2	1,08	90,0	1,2
	AB	17–27	95,7	1,21	79,1	1,0
	Bca	35–45	71,1	1,16	61,3	0,8
	BCca	70–80	84,7	1,21	70,0	0,9
	C	92–102	92,4	1,20	77,0	1,0
				73,2*		
12БС-18	Ad,ca	0–2	63,7	1,18	54,0	0,9
	Aca	10–20	90,0	1,18	76,3	1,3
	ABca	26–36	83,7	1,31	63,9	1,1
	Bca	50–60	55,4	1,28	43,3	0,7
	BCca	75–85	52,5	1,31	40,1	0,7
	Cca	90–100	75,1	1,25	60,1	1,0
				56,9*		

Примечание: здесь и в табл. 5: прочерк – не определено, \* – средневзвешенное значение для почвенного профиля,  $\chi_c$  – удельная магнитная восприимчивость почвообразующей породы (гор. С).

Таблица 5

Показатели магнитной восприимчивости мерзлотных лугово-чернозёмных почв антропогенных ландшафтов Центральной Якутии

№ разреза	Горизонт	Глубина, см	$\chi, n \cdot 10^{-5}$ ед. Си	$P, n \cdot 10^3$ кг/м <sup>3</sup>	$\chi, n \cdot 10^{-8}$ м <sup>3</sup> /кг	$\chi/\chi_c$
8Ч-09	Ap	8–18	68,2	0,98	69,6	0,5
	ABca	30–40	68,6	1,05	65,3	0,4
	Vca	50–60	31,5	1,03	30,6	0,2
	BCca	75–85	87,5	1,21	72,3	0,5
	C	110–120	195,0	1,32	147,7	1,0
					76,5*	
1БС-09	Ap	5–15	98,7	1,25	79,0	1,0
	ABca	25–35	88,1	1,17	75,3	0,9
	Vca	37–47	62,0	1,06	58,5	0,7
	BCca	70–80	80,5	1,17	68,8	0,8
	C	115–125	96,8	1,20	80,7	1,0
					72,5*	
1БС-14	Ap,ca	5–15	108,5	1,23	88,2	1,1
	ABca	25–35	104,7	1,24	84,4	1,0
	Vca	45–55	108,8	1,18	92,2	1,1
	BCca	70–80	100,8	1,26	80,0	1,0
	C	100–110	106,4	1,28	83,1	1,0
					85,0*	
1БМ-16	Ap	5–15	149,9	1,29	116,2	1,2
	AB	20–27	154,9	1,32	117,3	1,2
	B	45–55	267,8	1,34	199,8	2,0
	BCca	70–80	117,6	1,26	93,3	1,0
	C	110–120	137,4	1,41	97,4	1,0
					122,7*	
4БС-18	Ap	5–15	96,3	1,25	77,0	0,9
	ABca	30–40	70,5	1,10	64,1	0,7
	Vca	45–55	99,8	1,25	79,8	0,9
	BC	70–80	110,7	1,20	92,2	1,0
	C	90–100	109,6	1,23	89,1	1,0
					83,4*	

Почва разреза 12БС-18, развивающаяся на ленском аллювии, отличается пониженными значениями УМВ вследствие значительной засоленности и, главным образом, высокой степени карбонатности. Здесь содержание подвижных карбонатов отмечается с поверхности и составляет 4,0–9,2 % по почвенным горизонтам профиля. Известно, что кальцит ( $\text{CaCO}_3$ ) и сильвин ( $\text{KCl}$ ) в магнитном отношении являются диамагнетиками с отрицательными значениями УМВ ( $-0,38 \cdot 10^{-8}$  и  $-0,52 \cdot 10^{-8}$  м<sup>3</sup>/кг соответственно) [Магнетизм почв, 1995, с. 53]. Следовательно, накопление подвижных карбонатов или кальцита, а также солей в почве снижает значения её УМВ. Это обстоятельство объясняет и уменьшение ОМВ и УМВ в иллювиально-карбонатных горизонтах изучаемых почв, в которых обычно наблюдается максимальное содержание подвижных карбонатов (см. табл. 2, 3).



Данные предположения подтверждаются и результатами корреляционного анализа (табл. 6) связей магнитной восприимчивости и отдельных свойств изучаемых мерзлотных лугово-чернозёмных почв.

Таблица 6

Значения коэффициентов корреляции между удельной магнитной восприимчивостью и некоторыми физико-химическими свойствами мерзлотных лугово-чернозёмных почв Центральной Якутии

№ разреза, <i>n</i>	рН <sub>н2о</sub>	Гумус	Фракции песка		Сумма солей	СО <sub>2</sub> карбонатов
			1–0,25 мм	0,25–0,05 мм		
Почвы естественных ландшафтов						
6Ой-04 <i>n</i> = 6	–0,640	0,624	0,217	0,539	–0,843	–0,777
10БС-18 <i>n</i> = 5	–0,752	0,766	0,597	0,147	–0,891	–
Антропогенно-изменённые почвы						
1БС-09 <i>n</i> = 5	–0,534	–0,375	0,803	0,655	–0,639	–0,882
4БС-18 <i>n</i> = 5	0,093	–0,602	0,042	0,991	–0,535	–

Положительные корреляционные связи УМВ почв естественных ландшафтов были установлены для показателей содержания гумуса, фракций крупного и среднего (1–0,25 мм), а также мелкого (0,25–0,05 мм) песка, тогда как отрицательные связи – для показателей рН, суммы солей и содержания подвижных карбонатов.

Исходя из значений полученных коэффициентов корреляции, нужно предполагать, что магнитные минералы тяжёлой фракции концентрируются в исследуемых почвах в большей степени во фракции мелкого (разрезы 6Ой-04 и 4БС-18) или во фракции крупного и среднего песка (разрез 10 БС-18), либо в обеих фракциях одновременно (разр. 1БС-09) (см. табл. 6). Необходимо отметить, что в антропогенно-изменённых почвах отдельные корреляционные связи утрачиваются. Так, в почвах разрезов 1БС-09 и 4БС-18 положительные связи между показателем УМВ и содержанием гумуса утрачиваются в связи со значительным уменьшением содержания последнего в верхних почвенных горизонтах вследствие процесса дегумификации антропогенно-изменённых почв.

Заметно более вариабельные значения магнитной восприимчивости отмечаются в антропогенно-изменённых аналогах изучаемых почв, в которых значения ОМВ составляют 31,5–267,8 ед. Си, а УМВ – 30,6–199,8·10<sup>–8</sup> м<sup>3</sup>/кг, изменяясь соответственно в 8,5 и 6,5 раза (см. табл. 5; рис., в, г). Увеличение значений этих показателей мы объясняем следующим образом: ранее лугово-чернозёмные почвы пахотных угодий, формирующиеся в условиях криоаридного климата Центральной Якутии, в широких масштабах орошались для повышения урожайности сельскохозяйственных культур, вода для полива подавалась к объектам орошения в основном по стальным трубам, которые естественным образом ржавели, а оксиды железа попадали на поверхность почв орошаемых участков.

Накопление оксидов железа и их дальнейшая трансформация определялись как свойствами орошаемой почвы, так и условиями полива (нормы, сроки и т. д.). Поэтому увеличение значений ОМВ и УМВ может отмечаться как в средней части профиля (см. табл. 5; рис., в), так и в горизонте С на границе с многолетней мерзлотой в случае сквозного промачивания почвы (см. табл. 5; рис., г). Подобное накопление железа в орошаемых почвах в первом приближении можно назвать процессом агрогенного ожелезнения.

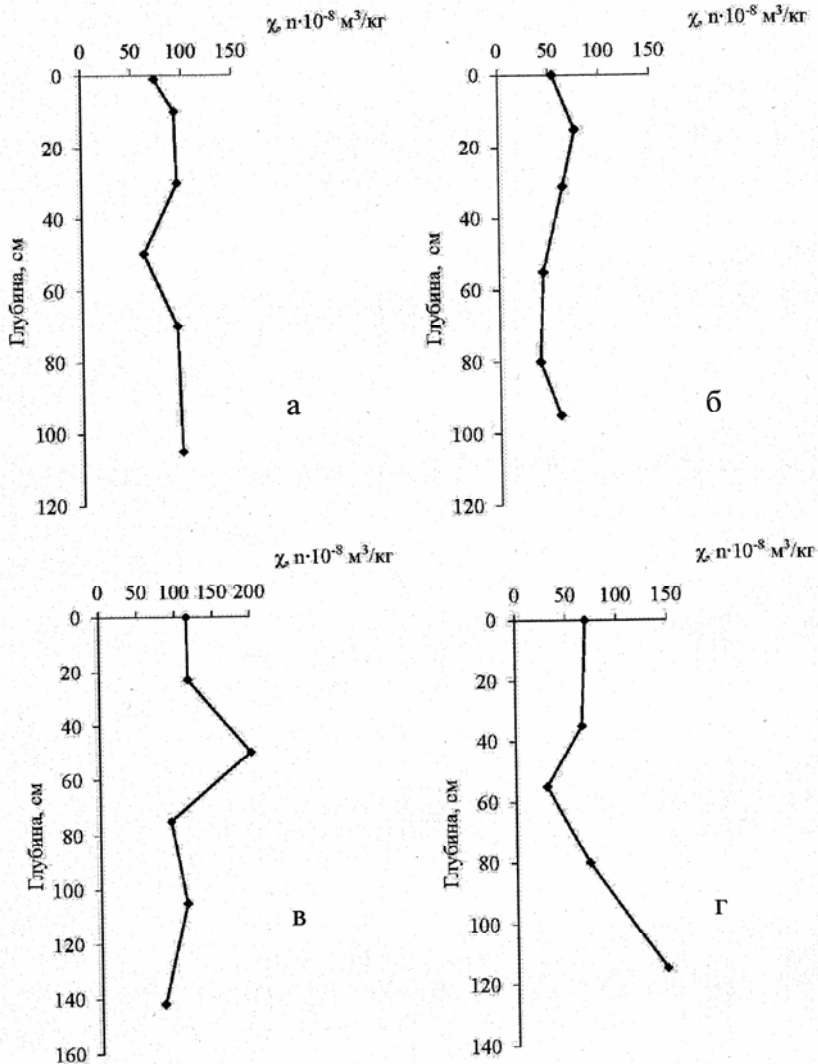


Рис. Магнитные профили мерзлотных лугово-чернозёмных почв естественных (а, б) и антропогенных (в, г) ландшафтов Центральной Якутии. Разрезы: а – 4БМ-16; б – 12БС-18; в – 1БМ-16; г – 8Ч-09

Магнитные профили исследуемых почв, которые характеризуются отношением  $\chi/\chi_c$ , в почвах естественных ландшафтов приближаются к более-менее равномерному типу распределения, где значения отношений  $\chi/\chi_c$  приближаются к 1,0 и составляют 0,7–1,3 (см. табл. 5). Это кардинально отличает магнитные профили мерзлотных лугово-чернозёмных почв Центральной Якутии от соответствующих почв других немерзлотных регионов России, в которых обычно формируются аккумулятивные типы магнитных профилей, а отношение  $\chi/\chi_c$  в поверхностных гумусовых горизонтах составляет около 1,5 и даже более [Магнетизм почв, 1995; Фаттахова, Шинкарев, Косарева, 2016; Физические, водно-химические ..., 2017].

В мерзлотных лугово-чернозёмных почвах антропогенных ландшафтов Центральной Якутии значения отношения  $\chi/\chi_c$  существенно сужаются или расширяются до 0,2–2,0 (см. табл. 5) и значительно отличаются от показателей, характерных для их аналогов, формирующихся в природных ландшафтах. Таким образом, можно однозначно утверждать, что существенное увеличение значений ОМВ и УМВ с одновременным изменением значений  $\chi/\chi_c$ , существенно отличающихся от 1,0, однозначно идентифицирует процессы агрогенной трансформации мерзлотных лугово-чернозёмных почв региона.

### **Выводы**

1. Физико-химические свойства мерзлотных лугово-чернозёмных почв Центральной Якутии значительно различаются в зависимости от условий почвообразования, а также от характера и уровня антропогенной нагрузки. Почвы естественных ландшафтов в отличие от их антропогенно-изменённых аналогов, как правило, отличаются большей вариабельностью свойств и состава.

2. Отмечается увеличение значений объёмной и удельной магнитной восприимчивости, а также изменение отношения  $\chi/\chi_c$  в профиле антропогенно-изменённых почв по сравнению с формирующимися в естественных ландшафтах. Магнитные профили этих категорий почв также существенно различаются.

3. Магнитные профили исследуемых мерзлотных лугово-чернозёмных почв Центральной Якутии отличаются от соответствующих почв других немерзлотных регионов России, где обычно формируются аккумулятивные типы магнитных профилей.

### Список литературы

Алифанов В. М., Ваганов И. М., Гугалинская Л. А. Закономерности варьирования магнитной восприимчивости в профилях палеокриоморфных почв // Почвоведение. 2013. № 3. С. 322–327.

Аринушкина Е. В. Руководство по химическому анализу почв. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1970. 487 с.

Ваганов И. М., Алексеев А. О. Магнитная восприимчивость в оценке пространственной и профильной неоднородности почв, обусловленная палеоэкологическими факторами // Известия РАН. Серия географическая. 2015. № 5. С. 99–106.

Васильев А. А., Лобанова Е. С. Картограмма магнитной восприимчивости почвенного покрова г. Перми // Пермский аграрный вестник. 2013. № 3(3). С. 24–27.

Влияние длительного применения удобрений на урожайность растений и изменение свойств мерзлотной лугово-чернозёмной почвы / А. П. Чевычелов, Н. В. Барашкова, О. Г. Захарова, В. В. Устинова, А. П. Аржакова // *Агрохимический вестник*. 2018. № 3. С. 26–31. <https://doi.org/10.24411/0235-2516-2018-10007>

Водяницкий Ю. Н., Шоба С. А. Магнитная восприимчивость как индикатор загрязнения тяжёлыми металлами городских почв (обзор литературы) // *Вестник Московского университета. Серия 17, Почвоведение*. 2015. № 1. С. 13–20.

Воробьева Л. А. Химический анализ почв. М. : Изд-во Моск. ун-та, 1989. 272 с.

Гладышева М. А., Иванов А. В., Строганова М. Н. Выявление ареалов техногенно-загрязнённых почв Москвы по их магнитной восприимчивости // *Почвоведение*. 2007. № 2. С. 235–242.

Горохова О. Г., Чевычелов А. П. Оценка плодородия мерзлотной лугово-чернозёмной почвы Центральной Якутии // *Наука и образование*. 2013. № 2. С. 55–60.

Дергачева М. В. Магнитная восприимчивость почв и ее использование в палеопочвоведении // *Палеопочвы, природная среда и методы их диагностики*. Новосибирск : Ин-т почвоведения и агрохимии СО РАН, 2012. С. 163–172.

Еловская Л. Г., Коноровский А. К. Районирование и мелиорация мерзлотных почв Якутии. Новосибирск : Наука, 1978. 175 с.

Еловская Л. Г. Классификация и диагностика мерзлотных почв Якутии. Якутск : Изд-во ЯФ СО АН СССР, 1987. 172 с.

Магнетизм почв / В. Ф. Бабанин, В. И. Трухин, Л. О. Карпачевский, А. В. Иванов, В. В. Морозов. Ярославль : Изд-во ЯГТУ, 1995. 223 с.

Орлов Д. С., Лозанская И. Н., Попов П. Д. Органическое вещество почв и органические удобрения. М. : Изд-во Москов. ун-та, 1985. 98 с.

Роде А. А. Система методов исследования в почвоведении. Новосибирск : Наука, 1971. 92 с.

Розанов Б. Г. Морфология почв. М. : Изд-во Москов. ун-та, 1983. 320 с.

Фаттахова Л. А., Шинкарев А. А., Косарева Л. Р. Магнитные профили почв Волжко-Камской лесостепи // *Ученые записки Казанского университета. Серия Естественные науки*. 2016. Т. 158. Кн. 3. С. 391–403.

Физические, водно-химические и физико-химические показатели чернозёма выщелоченного / А. Х. Шеуджен, О. А. Гуторова, Х. Д. Хурум, И. А. Лебедевский, И. А. Осипов, С. В. Есипенко // *Международный научно-исследовательский журнал*. 2017. № 4(58). Ч. 1. С. 166–171.

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.

Чевычелов А. П. Чернозёмы и чернозёмовидные почвы Центральной Якутии // *Степи Северной Евразии : материалы VII Междунар. симп. Оренбург : ИС УрО РАН, Димур*, 2015. С. 909–912.

De Jong E., Pennock D. J., Nestor P. A. Magnetic susceptibility of soils in different slope positions in Sashatchewan, Canada // *Catena*. 2000. Vol. 40, N 3. P. 291–305. [https://doi.org/10.1016/S0341-8162\(00\)00080-1](https://doi.org/10.1016/S0341-8162(00)00080-1)

Mullins C. E. Magnetic susceptibility of the soils and its significance in soil science – a review // *J. Soil Sci.* 1977. Vol. 28. P. 223–246. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2389.1977.tb02232.x>

Wojas A. The magnetic susceptibility of soils in Krakow, Southern Poland // *Acta Geophys.* 2017. Vol. 65, N 3. P. 453–463. <https://doi.org/10.1007/s11600-017-0041-x>

## Magnetic Susceptibility of Permafrost Meadow-Chernozem Soils of Central Yakutia

A. P. Chevychelov, A. A. Alekseev, L. I. Kuznetsova

*Institute for Biological Problems of the Cryolithozone SB RAS, Yakutsk, Russian Federation*

**Abstract.** Magnetic susceptibility was studied for the first time, as well as geographical and genetic features of the formation of properties and composition of permafrost meadow-chernozem soils in Central Yakutia, depending on the conditions of soil formation and anthropogenic impact. A total of 11 soil sections were studied, with 6 soils developing under natural vegetation, and 5 under various agricultural lands. Various soil research methods, such as comparative geographical, profile-genetic, and comparative-analytical, were used in the course of this work, and the composition and properties of soils were determined using generally accepted methods. The volume magnetic susceptibility (VMS) was determined using a small-sized magnetic susceptibility meter KM-7, which is an improved version of the kt-6 kappameter. The value of the specific magnetic susceptibility (SMS) was obtained by dividing the VMS value by the soil density  $\rho$  (expressed in  $\text{kg/m}^3$ ),  $\chi = \chi/\rho$ . It is shown that the properties of the studied soils differed significantly depending on the conditions of soil formation, as well as on the nature and level of anthropogenic impact. Also, the values of VMS and SMS of these soils of natural landscapes of Central Yakutia changed significantly, making up 31.4-138.9 Si units, respectively.  $31.4-102.3 \cdot 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$ . Even more variable values of VMS and SMS were observed in anthropogenic-modified analogs of the studied soils, where the values of VMS were 31.5-267.8 Si units, and those of SMS—  $30.6-199.8 \cdot 10^{-8} \text{ m}^3/\text{kg}$ . The magnetic profiles of the studied soils, which are characterized by the ratio  $\chi/\chi_c$ , in the soils of natural landscapes corresponded to a more or less uniform type of distribution, where the values of the ratio  $\chi/\chi_c$  were 0.7-1.3, while in the studied soils of anthropogenic landscapes the values of these relations significantly narrow down and expanded to 0.2-2.0. This cardinally distinguishes the magnetic profiles of the studied permafrost meadow-chernozem soils from the corresponding chernozem soils of other non-permafrost regions of Russia, where accumulative types of magnetic profiles are usually formed, and the ratio  $\chi/\chi_c$  in the surface humus horizons is about 1.5 or even more.

**Keywords:** permafrost meadow-chernozem soils, composition and properties, magnetic susceptibility.

**For citation:** Chevychelov A.P., Alekseev A.A., Kuznetsova L.I. Magnetic Susceptibility of Permafrost Meadow-Chernozem Soils of Central Yakutia. *The Bulletin of Irkutsk State University. Series Biology. Ecology*, 2021, vol. 36, pp. 57-71. <https://doi.org/10.26516/2073-3372.2021.36.57> (in Russian)

### References

Alifanov V.M., Vaganov I.M., Gugalinskaya L.A. Zakonomernosti var'irovaniya magnetnoj vospriimchivosti v profilyah paleokriomorfnyh pochv [Regularities of the variation of the magnetic susceptibility profiles paleocryogenic of soils]. *Eurasian Soil Sci.*, 2013, no. 3, pp. 322-327. (in Russian)

Arinushkina E.V. *Rukovodstvo po himicheskomu analizu pochv* [Guide to chemical analysis of soils]. Moscow, Moscow St. Univ. Publ., 1970, 487 p. (in Russian)

Vaganov I.M., Alekseev A.O. Magnitnaya vospriimchivost' v ocenke prostranstvennoj i profil'noj neodnorodnosti pochv, obuslovlennaya paleoekologicheskimi faktorami [Magnetic susceptibility in the assessment of spatial and profile heterogeneity of soils due to paleoecological factors]. *Izvestiya RAN. Seriya Geograficheskaya* [Bull. RAS. Ser. Geograph.], 2015, no. 5, pp. 99-106. (in Russian)

Vasil'ev A.A., Lobanova E.S. Kartoskhema magnitnoj vospriimchivosti pochvennogo pokrova g. Permi [Mapping of magnetic susceptibility of the Perm soil cover]. *Permskij agrarnyj vestnik* [Perm Agrarian Bull.], 2013, no. 3(3), pp. 24-27. (in Russian)

Chevychelov A.P., Barashkova N.V., Zaharova O.G., Ustinova V.V., Arzhakova A.P. Vliyanie dlitel'nogo primeneniya udobrenij na urozhajnost rastenij i izmenenie svojstv merzlotnoj lugovo-chernozemnoj pochvy [The Effect of long-term use of fertilizers on plant productivity and changes in the properties of permafrost meadow-Chernozem soil]. *Agrohimicheskij vestnik* [Agrochem. Bull.], 2018, no. 3, pp. 26-31. <https://doi.org/10.24411/0235-2516-2018-10007> (in Russian)

Vodyanickij Yu.N., Shoba S.A. Magnitnaya vospriimchivost' kak indikator zagryazneniya tyazhelymi metallami gorodskih pochv (obzor literatury) [Magnetic susceptibility as an indicator of heavy metal contamination of urban soils (literature review)]. *Vestn. Mosk. un-ta. Ser. 17. Pochvovedenie* [Bull. Moscow St. Univ. Ser. 17. Pedology], 2015, no. 1, pp. 13-20. (in Russian)

Vorob'eva L.A. *Himicheskij analiz pochv* [Chemical analysis of soils]. Moscow, Moscow St. Univ. Publ., 1989, 272 p. (in Russian)

Gladysheva M.A., Ivanov A.V., Stroganova M.N. Vyyavlenie arealov tekhnogenno-zagryaznennykh pochv Moskvy po ih magnitnoj vospriimchivosti [Identification of areas of technogenic-contaminated soils in Moscow by their magnetic susceptibility]. *Pochvovedenie* [Soil Sci.], 2007, no. 2, pp. 235-242. (in Russian)

Gorohova O.G., Chevychelov A.P. Ocenka plodorodiya merzlotnoj lugovo-chernozemnoj pochvy Central'noj Yakutii [Assessment of the fertility of permafrost meadow-Chernozem soil in Central Yakutia]. *Nauka i obrazovanie* [Science and Education], 2013, no. 2, pp. 55-60. (in Russian)

Dergacheva M.V. Magnitnaya vospriimchivost' pochv i ee ispol'zovanie v paleo-pochvovedenii [Magnetic susceptibility of soils and its use in paleo-soil science]. *Paleopochvy, prirodnyaya sreda i metody ih diagnostiki* [Paleo-soils, natural environment and methods of their diagnostics]. Novosibirsk, In-t Soil Sci. Agrochem. SB RAS Publ., 2012, pp. 163-172. (in Russian)

Elovskaya L.G., Konorovskij A.K. *Rajonirovanie i melioraciya merzlotnykh pochv Yakutii* [Zoning and reclamation of permafrost soils of Yakutia]. Novosibirsk, Nauka Publ., 1978, 175 p. (in Russian)

Elovskaya L.G. *Klassifikaciya i diagnostika merzlotnykh pochv Yakutii* [The Classification and diagnosis of permafrost soils of Yakutia]. Yakutsk, YaB SB RAS USSR, 1987, 172 p. (in Russian).

Babanin V.F., Truhin V.I., Karpachevskij L.O., Ivanov A.V., Morozov V.V. *Magnetizm pochv* [Soil Magnetism]. Yaroslavl', Yaroslavl' St. Tech. Univ. Publ., 1995, 223 p. (in Russian)

Orlov D.S., Lozanskaya I.N., Popov P.D. *Organicheskoe veshchestvo pochv i organicheskie udobreniya* [Soil organic matter and organic fertilizers]. Moscow, Moscow St. Univ. Publ., 1985, 98 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)

Fattahova L.A., Shinkarev A.A., Kosareva L.R. Magnitnye profili pochv Volzhko-Kamskoj lesostepi [Magnetic profiles of soils of the Volga-Kama forest-steppe]. *Uchenye zapiski Kazanskogo universiteta. Seriya estestvennye nauki* [Sci. Notes Kazan St. Univ. Ser. Nat. Sci.], 2016, vol. 158, book 3, pp. 391-403. (in Russian)

Sheudzen A.H., Gutorova O.A., Hurum H.D., Lebedovskij I.A., Osipov I.A., Esipenko S.V. Fizicheskie, vodno-himicheskie i fiziko-himicheskie pokazateli chernozema vshchelochennogo [Physical, water-chemical and physical-chemical indicators of leached Chernozem].

*Mezhdunarodnyj nauchno-issledovatel'skij zhurnal* [Int. Sci. Res. J.], 2017, no. 4(58), part 1, pp. 166-171. (in Russian)

Chevychelov A.P., Skrybykina V.P., Vasil'eva T.I. Geografo-geneticheskie osobennosti formirovaniya svojstv i sostava merzlotnyh pochv Central'noj Yakutii [Geographical and genetic features of the formation of properties and composition of permafrost soils in Central Yakutia]. *Pochvovedenie* [Soil Science], 2009, no. 6, pp. 648-657. (in Russian)

Chevychelov A.P. Chernozemy i chernozemovidnye pochvy Central'noj Yakutii [Chernozems and Chernozem-like soils of Central Yakutia]. *Stepi Severnoj Evrazii: materialy VII mezhdunarodnogo simpoziuma* [Steppes of Northern Eurasia: Proc. VII Int. Symp., Orenburg, Russia]. Orenburg, UrB RAS Publ., Dimur Publ., 2015, pp. 909-912. (in Russian)

De Jong E., Pennock D.J., Nestor P.A. Magnetic susceptibility of soils in different slope positions in Sashatchewan, Canada. *Catena*, 2000, vol. 40, no. 3, pp. 291-305. [https://doi.org/10.1016/S0341-8162\(00\)00080-1](https://doi.org/10.1016/S0341-8162(00)00080-1)

Mullins C.E. Magnetic susceptibility of the soils and its significance in soil science – a review. *J. Soil Sci.*, 1977, vol. 28, pp. 223-246. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2389.1977.tb02232.x>

Wojas A. The magnetic susceptibility of soils in Krakow, Southern Poland. *Acta Geophys.*, 2017, vol. 65, no. 3, pp. 453-463. <https://doi.org/10.1007/S11600-017-0041-x>.

*Чевычелов Александр Павлович*  
доктор биологических наук,  
главный научный сотрудник  
Институт биологических проблем  
криолитозоны СО РАН  
Россия, 677980, г. Якутск, просп. Ленина, 41  
e-mail: chev.soil@list.ru

*Chevychelov Aleksandr Pavlovich*  
Doctor of Sciences (Biology),  
Principal Research Scientist  
Institute for Biological Problems  
of the Cryolithozone SB RAS  
41, Lenin av., Yakutsk, 677980,  
Russian Federation  
e-mail: chev.soil@list.ru

*Алексеев Алексей Алексеевич*  
лаборант  
Институт биологических проблем  
криолитозоны СО РАН  
Россия, 677980, г. Якутск, просп. Ленина, 41  
e-mail: alex3.fromru@gmail.com

*Alekseev Aleksey Alekseevich*  
Laboratory Assistant  
Institute for Biological Problems  
of the Cryolithozone SB RAS  
41, Lenin av., Yakutsk, 677980,  
Russian Federation  
e-mail: alex3.fromru@gmail.com

*Кузнецова Любовь Ивановна*  
инженер-исследователь  
Институт биологических проблем  
криолитозоны СО РАН  
Россия, 677980, г. Якутск, просп. Ленина, 41  
e-mail: likkol@yandex.ru

*Kuznetsova Lyubov Ivanovna*  
Engineer  
Institute for Biological Problems  
of the Cryolithozone SB RAS  
41, Lenin av., Yakutsk, 677980,  
Russian Federation  
e-mail: likkol@yandex.ru