

DOI 10.17516/1997-1389-0399

EDN YOCLPO

УДК 631.41

## Physicochemical Properties of Gray Forest Soils on the Eastern Outskirts of the Trans-Ural Plateau

Svetlana M. Kayugina<sup>\*a</sup>, Dmitry I. Eremin<sup>b</sup>

*<sup>a</sup>Northern Trans-Ural State Agricultural University  
Tyumen, Russian Federation*

*<sup>b</sup>Tyumen Research Centre, Siberian Branch of the RAS  
Tyumen, Russian Federation*

Received 04.03.2021, received in revised form 11.02.2022, accepted 05.10.2022

**Abstract.** Gray forest soils are the most promising for expanding the arable area in Northern Trans-Urals. The diversity of landscape and soil-forming rocks and human impact resulted in a wide range of their properties. The aim of the research is to examine the physicochemical properties of gray forest soils and determine the nature of their variability. The object of research is virgin gray forest soils (Luvic Retic Greyzemic Phaeozems). Three hundred and thirty full-profile sections were laid, their morphological description was provided, soil samples for laboratory analysis were selected according to genetic horizons. The results of the research show that gray forest soils on the eastern outskirts of the Trans-Ural Plateau have physical and chemical properties relatively favorable from an agronomic perspective. As the intensity of podzolization decreases, the total amount of exchangeable bases in humus horizons increases from 17.2 to 25.3 mmol (eq)/100 g in light gray and dark gray soils, respectively. A high degree of variation in the values of hydrolytic acidity of dark gray forest soils in Northern Trans-Urals, from 1.1 to 13.0 mmol (eq)/100 g of soil, was revealed (the variation coefficient in the humus horizon is 43 %). In light gray and gray forest soils, hydrolytic acidity is characterized by lower values: 4.6 and 5.2 mmol (eq)/100 g of soil, respectively. The absorption capacity of all gray forest soils is relatively high, even in the light gray subtype, where it varies in a wide range – from 12.2 to 31.0 mmol (eq)/100 g of soil. In dark gray soils of Northern Trans-Urals, the average cation exchange capacity is 32.1 mmol (eq)/100 g of soil, decreasing with depth. The degree of humus horizon saturation with bases in dark gray forest soils reaches 79 % of the cation exchange capacity varying from 67 to 95 %. Similar physical and chemical properties of light gray and gray forest soils make it possible to place them into one agricultural production group to develop a unified farming system

© Siberian Federal University. All rights reserved

This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License (CC BY-NC 4.0).

\* Corresponding author E-mail address: kayugina@yandex.ru

ORCID: 0000-0002-3934-835X (Kayugina S.); 0000-0002-3672-6060 (Eremin D.)

that provides enhanced restoration of soil fertility. In the agricultural use of dark gray forest soils, it is necessary to take into account immensely high variability of their physicochemical properties.

**Keywords:** soil formation, gray forest soils, virgin land, Trans-Ural Plateau, cation exchange capacity, degree of saturation with bases, leaching, variation.

**Citation:** Kayugina S. M., Eremin D. I. Physicochemical properties of gray forest soils on the eastern outskirts of the Trans-Ural Plateau. J. Sib. Fed. Univ. Biol., 2022, 15(4), 471–490. DOI: 10.17516/1997-1389-0399



## Физико-химические свойства серых лесных почв восточной окраины Зауральского Плато

С. М. Каюгина<sup>а</sup>, Д. И. Ерёмин<sup>б</sup>

*<sup>а</sup>Государственный аграрный университет Северного Зауралья  
Российская Федерация, Тюмень*

*<sup>б</sup>Тюменский научный центр СО РАН  
Российская Федерация, Тюмень*

**Аннотация.** Серые лесные почвы наиболее перспективны для расширения пахотного фонда Северного Зауралья. Разнообразие ландшафта, почвообразующих пород, влияние антропогенного фактора стали причинами варьирования их свойств в широком диапазоне. Целью исследования являлось изучение физико-химических свойств серых лесных почв и установление характера их изменчивости. Объект исследования – целинные серые лесные почвы (Luvic Retic Greyzemic Phaeozems). Было заложено 330 полнопрофильных разрезов, выполнено их морфологическое описание, отобраны по генетическим горизонтам почвенные образцы для лабораторных анализов. Результаты исследований показали, что серые лесные почвы восточной окраины Зауральского Плато в агрономическом отношении имеют сравнительно благоприятные физико-химические свойства. По мере снижения интенсивности оподзоливания сумма обменных оснований в гумусовых горизонтах возрастает от 17,2 в светло-серых до 25,3 ммоль(экв)/100 г в темно-серых почвах. Выявлена высокая степень варьирования значений гидролитической кислотности темно-серых лесных почв Северного Зауралья от 1,1 до 13,0 ммоль(экв)/100 г почвы (коэффициент вариации в гумусовом горизонте равен 43 %). В светло-серых и собственно серых лесных почвах гидролитическая кислотность характеризуется меньшими значениями – 4,6 и 5,2 ммоль(экв)/100 г почвы соответственно. Поглотительная способность серых лесных почв относительно высока, даже у подтипа светло-серых, где она варьирует в широком диапазоне – от 12,2 до 31,0 ммоль(экв)/100 г почвы. В темно-серых почвах Северного Зауралья емкость катионного обмена в гумусовом горизонте в среднем составляет 32,1 ммоль(экв)/100 г почвы, уменьшаясь с глубиной. Степень насыщенности основаниями гумусового горизонта в темно-серых лесных почвах достигает 79 % от емкости катионного обмена с варьированием значений от 67 до 95 %. Схожие физико-химические

свойства светло-серых и собственно серых лесных почв позволяют объединить их в одну агропроизводственную группу для разработки единой системы земледелия, обеспечивающей расширенное воспроизводство плодородия. При сельскохозяйственном использовании темно-серых лесных почв необходимо учитывать очень высокую вариабельность их физико-химических свойств.

**Ключевые слова:** почвообразование, серые лесные почвы, целина, Зауральское Плато, ёмкость катионного обмена, степень насыщенности основаниями, выщелачивание, вариация.

Цитирование: Каюгина, С.М. Физико-химические свойства серых лесных почв восточной окраины Зауральского Плато / С.М. Каюгина, Д.И. Ерёмин // Журн. Сиб. федер. ун-та. Биология, 2022. 15(4). С. 471–490. DOI: 10.17516/1997-1389-0399

## Введение

Северное Зауралье выделяется на территории Сибири своим разнообразным ландшафтом, почвообразующими породами. Основопологающим фактором формирования серых лесных почв, по мнению ученых, является рельеф, который начал формироваться еще в начале мезозойской эры. В последующие периоды происходили неоднократные трансгрессии и регрессии моря. К началу четвертичного периода рельеф и гидрографическая сеть Северного Зауралья приняли современный вид. В результате совместного действия ледников и трансгрессии моря на территории Северного Зауралья образовались террасы и окончательно сформировались покровные отложения, которые и являются почвообразующими породами. Наиболее распространены аллювиальные, озерные и озерно-аллювиальные, а также субаэральные покровные отложения. В лесостепной зоне Зауралья почвообразующие породы представлены современными аллювиальными отложениями разного гранулометрического состава, покровными и лессовидными суглинками и глинами. На территории Северного Зауралья почвообразующие породы преимущественно карбонатные, однако часто встречаются выщелоченные или изначально

не содержащие карбонат кальция. Почвообразующие породы и современный педогенез стали причиной почвенного разнообразия и высокой вариабельности свойств, проявляющейся в рамках видовой принадлежности, не говоря о подтипах почв.

Серые лесные почвы распространены в подтайге и лесостепи Зауралья. Они формируются на наиболее дренированных участках – водоразделах и верхней части склонов под березовыми или березово-осиновыми лесами. Различная степень освещенности лесов определяет формирование травостоя с широко варьирующей биомассой, что становится причиной разного уровня плодородия серых лесных почв. Необходимо отметить роль антропогенного фактора, оказывающего довольно сильное влияние на свойства почв. Активная вырубка хвойных и смешанных лесов, под которыми сформировались подзолистые почвы, привела к смене растительных сообществ и резкому усилению дернового процесса (Sorokina, 2010). Это способствовало увеличению вариабельности их свойств.

Очень высокая изменчивость свойств серых лесных почв Западной Сибири отражается на количестве и качестве сельскохозяйственной продукции. Для современного агропромышленного комплекса это считает-

ся недопустимым и требует оптимизации как механической обработки почвы, так и системы удобрений (Kuhling et al., 2017; Остапенко, Тоболова, 2013; Sherstobitov, 2019; Чикишев и др., 2020; Kazak, Loginov, 2020; Киселева, Рзаева, 2021).

Таким образом, учитывая, что для развития сельского хозяйства Сибири необходимы знания о свойствах почв, поставлена цель исследования: изучить физико-химические свойства серых лесных почв и установить характер их неоднородности.

### Материалы и методы

В период с 1965 по 2019 г. сотрудниками кафедры почвоведения и агрохимии Государственного аграрного университета Северного Зауралья было заложено 330 полнопрофильных разрезов, охватывающих все подтипы серых лесных почв (Классификация..., 1977) подтаежной и лесостепной зоны Зауралья. В качестве объекта исследований были выбраны целинные серые лесные почвы, которые никогда не использовались в пашне. Морфологические описания почвенных раз-

резов проводили почвоведы А.Г. Карякина, Н.М. Сулимова, Л.Н. Каретин и Д.И. Ерёмин. Одновременно с морфологическим описанием были отобраны почвенные образцы по генетическим горизонтам для более детального изучения и лабораторных анализов.

Гидролитическую кислотность определяли по методу Каппена в модификации ЦИНАО (ГОСТ 26121); сумму обменных оснований – по Каппену-Гильковицу (ГОСТ 27821). Емкость катионного обмена (ЕКО) и степень насыщенности основаниями рассчитывали по общепринятым формулам. Все анализы делали в кафедральной агрохимической лаборатории. Обработку результатов исследований проводили с помощью математических методов вариационной статистики на кафедре математики и информатики ГАУ Северного Зауралья. Вариабельность физико-химических свойств серых почв оценивалась в ходе анализа статистических данных, за основу взята оценка варьирования, предложенная В.И. Савичем (1971) (табл. 1).

Ниже описаны формулы генетического профиля и соответствующие морфологиче-

Таблица 1. Шкала, используемая для оценки уровня варьирования показателей по величине коэффициента вариации,  $C_v$ , % (Савич, 1971)

Table 1. The scale used to assess the level of variation of indicators by the value of the variation coefficient,  $C_v$ , % (Savich, 1971)

Коэффициент вариации	Варьирование	Балл
0–5	Незначительное	10
6–10		9
11–15	Небольшое	8
16–20		7
21–30	Среднее	6
31–40		5
41–45	Высокое	4
46–50		3
51–60	Очень высокое	2
>60		1

ские признаки изучаемых серых лесных почв. Названия подтипов приводятся по (Классификация..., 1977).

*Почва – светло-серая лесная  
тяжелосуглинистая*

A<sub>0</sub> 0–1 см. Лесная подстилка сильной степени разложения. Состоит из опада листьев березы, редко – осины, мелких веточек. Встречаются единичные остатки травянистой растительности.

A<sub>1</sub> 1–15 см. Светло-серый (по шкале Манселла: Hue 10YR 7/1), сухой, тяжелосуглинистый, комковато-пылеватый, слоится, рыхлый, много корней. Переход постепенный.

A<sub>2</sub>B 15–20 см. Белесоватый (Hue 10YR 7/2), сухой, среднесуглинистый, слегка уплотнен, пластинчатый, тонкопористый, корни. Переход заметный.

B 20–70 см. Темно-бурый (Hue 10YR 3/3), свежий, тяжелосуглинистый, ореховатый, плотный, тонкопористый, корни. Переход ясный.

BC 70–150 см. Светло-бурый (Hue 10YR 6/6), свежий, легкосуглинистый, неясно выраженной структуры, уплотнен, переход в почвообразующую породу постепенный.

C >150 см. Желто-светло-бурый (Hue 10YR 7/4), среднесуглинистый, уплотнен, бесструктурный, редкие корни.

*Почва – собственно серая лесная  
среднесуглинистая*

A<sub>0</sub> 5 см. Лесная подстилка сильной степени разложения, состоит из опада листьев березы, остатков травянистых растений и кустарничков.

A<sub>1</sub> 5–23 см. Серый (по шкале Манселла: Hue 10YR 6/2), в нижней части горизонта светло-серый (Hue 0N 7/0). Свежий, среднесуглинистый, комковато-ореховатый, слегка уплотнен, много корней, переход постепенный.

A<sub>1</sub>A<sub>2</sub> 23–32 см. Буровато-светло-серый (Hue 10YR 6/2), свежий, среднесуглинистый, ореховатый, уплотнен, пористый, кремнеземистая присыпка, много корней.

B 32–120 см. Бурый (Hue 10YR 8/5), свежий, тяжелосуглинистый, ореховатый, плотный, корни. Переход постепенный, по наличию карбонатов – ясный.

B<sub>k</sub> 120–170 см. Светло-бурый (Hue 10YR 7/6), свежий, среднесуглинистый, непрочно-ореховатый, тонкопористый, уплотнен, редко корни, вскипает от соляной кислоты, карбонаты в виде прожилок. Переход постепенный.

C<sub>k</sub>>170 см. Желто-палевый (Hue 5Y 8/3), влажный, среднесуглинистый, бесструктурный, тонкопористый, уплотнен, вскипает от соляной кислоты.

*Почва – темно-серая лесная  
тяжелосуглинистая*

A<sub>d</sub> 0–3 см. Хорошо развитая дернина, лесной опад листьев березы, остатки надземных частей травянистых растений.

A<sub>1</sub> 3–27 см. Темно-серый (по шкале Манселла: Hue 10YR 3/1), в нижней части становится светлее, свежий, тяжелосуглинистый, комковатый, в нижней части – комковато-ореховатый, рыхлый, много корней. Переход постепенный.

B<sub>1</sub> 27–60 см. Серый с хорошо выраженным буроватым оттенком (Hue 10YR 5/2), свежий, тяжелосуглинистый, плотный, в верхней части комковато-ореховатой структуры, в нижней – ореховатой, с хорошо выраженными по граням структурных отдельностей иллювиальными темно-серыми глянцевыми гумусово-глинистыми пленками, много корней. Переход постепенный.

B<sub>2</sub> 60–120 см. Бурый (Hue 7.5YR 5/3), увлажнен, тяжелосуглинистый, ореховатый, плотный, тонкопористый, корни, переход по-

степенный, по наличию карбонатов ясный по линии вскипания.

$V_k$  120–170 см. Светло-бурый (Hue 10YR 6/4), свежий, тяжелосуглинистый, структура непрочно-ореховатая, в нижней части – выражена плохо, тонкопористый, уплотнен, редкие корни, вскипает от соляной кислоты, карбонаты в виде прожилок и твердых скоплений. Переход постепенный.

$C_k > 170$  см. Желто-палевый (Hue 5Y 8/3), свежий, тяжелосуглинистый, бесструктурный, тонкопористый, уплотнен, бурно вскипает от соляной кислоты.

### Результаты и обсуждение

Серые лесные почвы Зауралья характеризуются в агрономическом отношении сравнительно благоприятными физико-химическими свойствами. Это обусловлено особенностями почвообразующих пород региона, которые преимущественно представлены лёссовидными и покровными суглинками и глинами. В отличие от Европейской части материка, почвообразующие породы изначально содержат карбонаты кальция, препятствующие сильному развитию подзолистого процесса, ограничивая почвообразование выщелачиванием солей и катионов щелочноземельных металлов. Разнообразие рельефа и гранулометрического состава почвообразующих пород способствовало проявлению неоднородности свойств почв Северного Зауралья.

Анализ 96 образцов в подтипе светло-серых лесных почв показал, что сумма обменных оснований варьирует по профилю от 13,6 до 17,7 ммоль(экв)/100 г почвы и зависит в большей степени от содержания физической глины (<0,01 мм). Этим и объясняются более высокие значения в переходном горизонте (BC). В составе поглощенных катионов преобладают катионы кальция, доля которых

составляет 95 %. Остальная часть приходится на катионы магния.

В гумусовом горизонте  $A_1$  светло-серых лесных почв сумма обменных оснований в среднем по выборке составила 17,2 ммоль(экв)/100 г почвы (табл. 2). Отрицательное значение эксцесса ( $E_x$ ) указывает на то, что распределение значений в выборке ближе к плосковершинному. Поскольку медиана ( $Med=18,1$ ) превышает среднее, а коэффициент асимметрии ( $A$ ) ниже нуля, следовательно, более половины исследуемых почвенных образцов имеют значение суммы обменных оснований выше среднего. Анализ таких статистических показателей как дисперсия ( $\sigma^2=13,7$ ), размах ( $max-min=14,6$ ) и коэффициент вариации ( $Cv=22$  %) позволяет сделать вывод о неоднородности распределения суммы обменных оснований в рассматриваемом генетическом горизонте.

Элювиально-иллювиальный горизонт ( $A_2B$ ) характеризуется минимальной суммой обменных оснований в профиле светло-серой лесной почвы. Причиной этого является процесс оподзоливания, при котором не только выщелачиваются катионы кальция и магния, но и идет разрушение органоминеральной матрицы, отвечающей за почвенно-поглощающий комплекс. В среднем по выборке сумма обменных оснований ниже, чем в гумусовом горизонте и составляет 13,6 ммоль(экв)/100 г почвы. Величина эксцесса ( $E_x = -1,2$ ) указывает на плосковершинное распределение. Вариабельность средняя – коэффициент вариации достигает 21 % (6 баллов).

В верхней части иллювиального горизонта ( $B_1$ ) сумма обменных оснований возрастает относительно вышележащего горизонта. В среднем по исследуемым почвенным образцам данный показатель составляет 16,4 ммоль(экв)/100 г почвы. Отклонение

Таблица 2. Статистические характеристики суммы обменных оснований серых лесных почв Северного Зауралья, ммоль(экв)/100 г почвы

Table 2. Statistical characteristics of the total of exchangeable bases of gray forest soils in Northern Trans-Urals, mmol (eq)/100 g of soil

Горизонты	m	Med	Mo	s	$\sigma^2$	Ex	A	max-min	min	max	Cv, %
Светло-серая (n=96)											
A <sub>1</sub>	17,2	18,1	15,3	3,7	13,7	-0,9	-0,3	14,6	10,0	24,6	22
A <sub>2</sub> B	13,6	13,9	10,2	2,9	8,4	-1,2	0,0	12,3	8,1	20,4	21
B <sub>1</sub>	16,4	17,3	17,2	4,2	17,3	-0,6	-0,3	18,0	7,8	25,8	25
B <sub>2</sub>	17,7	18,4	18,6	4,2	17,4	-0,8	-0,1	15,8	10,0	25,8	24
Собственно серая (n=111)											
A <sub>1</sub>	20,8	20,2	17,3	4,8	23,3	1,7	1,1	24,1	13,2	37,3	23
A <sub>1</sub> A <sub>2</sub>	18,1	17,7	18,0	5,0	25,0	3,5	1,6	25,4	10,2	35,6	28
B <sub>1</sub>	20,5	20,3	20,3	3,7	13,6	-0,3	0,3	17,9	12,2	30,1	18
B <sub>2</sub>	21,7	21,2	24,3	3,6	12,8	-0,5	0,2	17,2	13,5	30,7	17
Темно-серая (n=123)											
A <sub>1</sub>	25,3	25,5	20,3	4,2	18,1	0,7	0,4	23,0	17,2	40,2	17
B <sub>1</sub>	20,0	20,0	20,3	3,6	13,0	0,0	0,7	19,3	12,3	31,6	18
B <sub>2</sub>	18,1	17,5	17,0	2,9	8,6	0,6	0,9	15,3	12,2	27,5	16

Примечание: n – количество разрезов; m – средние значения; Med – медиана; Mo – мода; s – стандартное отклонение;  $\sigma^2$  – дисперсия выборки; Ex – эксцесс; A – коэффициент асимметрии; min – минимум; max – максимум; Cv – коэффициент вариации, %.

от среднего довольно высокое ( $s=4,2$ ), коэффициент вариации составляет 25 %. В нижней части иллювиального горизонта (B<sub>2</sub>) сумма обменных оснований варьирует в очень широком диапазоне – от 10,0 до 25,8 при среднем значении 17,7 ммоль(экв)/100 г. Вариабельность данного показателя средняя (Cv=24 %).

Подтип собственно серых лесных почв, в отличие от светло-серых, развивался под осветленными лиственными лесами с хорошо выраженным травянистым покровом. Оподзоливание в этом подтипе проявляется в меньшей степени, однако процесс выщелачивания по-прежнему остается по причине периодически промывного типа водного режима (Sorokina, 2010; Serbari et al., 2017; Kayugina, Eremin, 2022). Сумма обменных оснований в целом по профилю собственно серой лесной почвы варьирует от 18,1 до 21,7 ммоль(экв)/100 г по-

чвы. В верхней части профиля высокие показатели обусловлены содержанием гумусовых веществ, тогда как в иллювиальном горизонте – аккумуляцией физической глины.

В гумусовом горизонте A<sub>1</sub> собственно серых почв сумма обменных оснований максимально составляет 37,3 ммоль(экв)/100 г почвы при среднем значении 20,8 ммоль(экв)/100 г. Положительное значение эксцесса (Ex=1,7) соответствует островершинному распределению. Показатели медиана (Med=20,2) и мода (Mo=17,3), а также положительный коэффициент асимметрии указывают на наличие правого «хвоста», то есть более половины значений в выборке ниже среднего. Наблюдается средняя вариабельность исследуемого показателя (Cv=23 %).

В горизонте A<sub>1</sub>A<sub>2</sub> собственно серых лесных почв сумма обменных осно-

ваний в среднем по выборке составляет 18,1 ммоль(экв)/100 г почвы. Распределение островершинное ( $E_x=3,5$ ). Асимметрия правосторонняя ( $A=1,6$ ) – более половины значений в выборке ниже среднего. Высокая дисперсия ( $\sigma^2=25$ ), значительный размах ( $\max-\min=25,4$ ) и коэффициент вариации равный 28 % указывают на среднюю вариабельность.

Сумма обменных оснований верхней части иллювиального горизонта  $B_1$  значительно выше относительно вышележащего горизонта и в среднем по выборке равна 20,5 ммоль(экв)/100 г почвы с варьированием от 12,2 до 30,1 ммоль(экв)/100 г. Распределение близко к нормальному. Коэффициент вариации значительно ниже, чем в верхних слоях и равен 18 %, что соответствует небольшому варьированию. В нижней части иллювиального горизонта ( $B_2$ ) сумма обменных оснований в среднем достигает 21,7 ммоль(экв)/100 г почвы. Горизонт  $B_2$  характеризуется меньшей неоднородностью – коэффициент вариации равен 17 %, что соответствует небольшому варьированию (7 баллов).

Темно-серые лесные почвы восточной окраины Зауральского Плато по сумме обменных оснований и составу почвенных катионов сравнимы с лесостепными черноземами, несмотря на проявление процесса иллювиирования и меньшее содержание гумуса (Eremin, 2016; Еремин и др., 2018). В отличие от предыдущих подтипов, в темно-серых лесных почвах максимальная сумма обменных оснований отмечается в гумусовом горизонте ( $A_1$ ). В среднем по выборке – 25,3 ммоль(экв)/100 г почвы, что обусловлено высоким содержанием гумуса и биогенной аккумуляцией катионов кальция и магния при разложении травянистой растительности (Mikheeva, 2009). Снижение интенсивности промывного режима в темно-серых лесных почвах значительно уменьшает выщелачива-

ние катионов щелочноземельных металлов и вымывание илистых частиц вглубь. Темно-серые лесные почвы преимущественно развиваются на высоких пологоволнистых террасах крупных рек, а также в долинах с хорошо развитой овражно-балочной сетью. Наличие уклонов различной степени крутизны, локальных понижений рельефа и лесистость оказывают существенное влияние на водный режим территории, тем самым увеличивая размах вариации суммы обменных оснований, которая изменяется в диапазоне от 17,2 до 40,2 ммоль(экв)/100 г почвы. Распределение значений в выборке ближе к нормальному, стандартное отклонение не велико ( $s=4,2$ ), вариабельность небольшая ( $C_v=17\%$ ).

В горизонте  $B_1$ , где еще сохраняются признаки оподзоливания в виде кремнеземистой присыпки на гранях почвенных отдельностей, сумма обменных оснований в среднем уменьшается до 20,0 ммоль(экв)/100 г почвы при размахе вариации 19,3 ммоль(экв)/100 г. Максимальное значение в выборке составило 31,6 ммоль(экв)/100 г почвы, что сопоставимо со значениями чернозема выщелоченного лесостепной зоны Зауралья (Eremina, Eremin, 2019). В горизонте  $B_2$  сумма обменных оснований уменьшается до 18,1 ммоль(экв)/100 г почвы, что обусловлено очень низким содержанием гумуса. Показатели медианы, моды и положительный коэффициент асимметрии указывают на то, что более половины значений ниже среднего. Вариабельность показателя небольшая ( $C_v=16\%$ ).

Таким образом, подтипы светло-серых и собственно серых лесных почв характеризуются относительно высокой суммой обменных оснований, однако имеют среднюю степень неоднородности. Данный показатель в гумусовом слое темно-серых лесных почв варьирует от 17,2 до 40,2 ммоль(экв)/100 г при незначительной степени неоднородности.



Минимальная сумма обменных оснований характерна для легкосуглинистых разновидностей темно-серых лесных почв, сформировавшихся преимущественно в западной части Зауралья (Каюгина, 2021).

В составе почвенно-поглощающего комплекса, помимо катионов щелочных и щелочноземельных металлов, находятся алюминий и ионы водорода, которые обуславливают гидролитическую кислотность ( $H_r$ ) почвы. По данным Каличкина и Павловой (Kalichkin, Pavlova, 2011), ее основу составляет алюминий, доля ионов водорода гораздо меньше (не более 10 %). Гидролитическая кислотность – довольно стабильный показатель относительно других ее видов (актуальной и обменной). Она формируется в результате длительного выщелачивания и оподзоливания. Также она зависит от гранулометрического состава, гумусированности, глубины залегания иллювиально-карбонатного горизонта. Гидролитическая кислотность не оказывает прямого воздействия на рост и развитие растений, в том числе и сельскохозяйственных культур (Еремин, Еремина, 2018). Однако имеется сильная корреляционная связь между значением гидролитической кислотности и кислотностью почвенного раствора (Медведев, Мельник, 2010; Котченко и др., 2019). Поэтому принято считать, что  $H_r$  показывает способность почвы к подкислению.

Серые лесные почвы по своей природе изначально характеризуются высокой гидролитической кислотностью, поэтому их принято относить к категории кислых земель. В Западной Сибири, по причине своеобразного почвообразования, серые лесные почвы имеют очень широкий диапазон значений физико-химических свойств (Котченко, Еремина, 2020), что затрудняет их рациональное использование в сельском хозяйстве. В Европейской части России и Белоруссии варьи-

вание свойств не столь существенное (Дабахова, Кузнецов, 2010; Клебанович и др., 2019).

Многолетние исследования кафедры почвоведения и агрохимии Государственного аграрного университета Северного Зауралья показали, что гидролитическая кислотность в гумусовом горизонте ( $A_1$ ) светло-серых лесных почв в среднем по выборке составляет 4,6 ммоль(экв)/100 г почвы (табл. 3). Варьирование значений находится в пределах от 2 до 8,5 ммоль(экв)/100 г. Коэффициент вариации, равный 25 %, указывает на среднюю изменчивость показателя. Данный факт отличает светло-серые лесные почвы Западной Сибири от аналогичных почв Европейской части России (Осипов, 2019). Причиной столь высокой изменчивости признака ( $Cv=25$  %) является совокупность таких факторов почвообразования, как рельеф и климат, обеспечивающих возможность роста лесов на возвышенностях и карбонатных почвообразующих породах (Degefie et al., 2014). В Европейской части России такие возвышения обычно занимает травянистая растительность, под которой формируются черноземные почвы (Яковлева и др., 2016). На равнинных участках складываются благоприятные условия для промывного типа водного режима, который усиливает выщелачивание и тем самым способствует повышению гидролитической кислотности современных светло-серых лесных почв. В случае формирования почвы на бескарбонатных почвообразующих породах, наличие которых в Западной Сибири неоднократно отмечали ученые (Груздева, Еремин, 2019), усиливается подзолистый процесс, при котором потенциальная кислотность гумусового горизонта увеличивается.

В Северном Зауралье преобладают светло-серые лесные почвы, у которых гидролитическая кислотность в горизонте  $A_1$  находится в интервале от 3,5 до 4,9 ммоль(экв)/100 г

Таблица 3. Статистические характеристики гидролитической кислотности серых лесных почв Северного Зауралья, ммоль(экв)/100 г почвы

Table 3. Statistical characteristics of hydrolytic acidity of gray forest soils in Northern Trans-Urals, mmol (eq)/100 g of soil

Горизонты	m	Med	Mo	s	$\sigma^2$	Ex	A	max-min	min	max	Cv, %
Светло-серая (n=96)											
A <sub>1</sub>	4,6	4,5	4,5	1,1	1,3	0,8	0,7	6,5	2,0	8,5	25
A <sub>2</sub> B	4,1	4,1	3,8	0,9	0,8	0,0	-0,4	4,5	1,3	5,8	21
B <sub>1</sub>	3,5	3,7	3,8	0,9	0,8	-0,5	0,0	3,7	1,8	5,5	25
B <sub>2</sub>	2,9	2,7	2,4	1,0	0,9	-0,4	0,4	4,3	1,2	5,5	33
Собственно серая (n=111)											
A <sub>1</sub>	5,2	5,1	4,2	1,3	1,7	-0,6	0,2	5,5	2,5	8,0	25
A <sub>1</sub> A <sub>2</sub>	5,6	5,7	5,7	1,2	1,3	-0,2	0,3	5,3	3,3	8,6	21
B <sub>1</sub>	3,9	4,0	3,8	0,8	0,7	0,3	-0,2	4,2	1,6	5,8	21
B <sub>2</sub>	3,0	2,8	2,8	0,9	0,9	0,5	0,7	4,3	1,1	5,4	31
Темно-серая (n=123)											
A <sub>1</sub>	6,8	7,0	10,4	3,0	8,7	-1,0	0,0	11,9	1,1	13,0	43
B <sub>1</sub>	5,8	6,0	2,3	2,9	8,2	-0,9	0,2	11,9	0,8	12,7	49
B <sub>2</sub>	4,5	4,3	5,0	2,6	6,5	-0,2	0,6	11,2	0,9	12,1	57

Примечание: n – количество разрезов; m – средние значения; Med – медиана; Mo – мода; s – стандартное отклонение;  $\sigma^2$  – дисперсия выборки; Ex – эксцесс; A – коэффициент асимметрии; min – минимум; max – максимум; Cv – коэффициент вариации, %.

почвы (рис. 1а). Это 60 % исследованных образцов. Горизонт A<sub>2</sub>B светло-серых лесных почв характеризуется максимальным проявлением подзолистого процесса. В среднем по выборке гидролитическая кислотность равна 4,1 ммоль(экв)/100 г почвы, что на 11 % ниже значений гумусового горизонта. Размах вариации меньше, чем в вышележащем горизонте и составляет 4,5 ммоль(экв)/100 г в диапазоне от 1,3 до 5,8 ммоль(экв)/100 г почвы. Изменчивость гидролитической кислотности оценивается как средняя (Cv=21 %). В верхней части иллювиального горизонта (B<sub>1</sub>) H<sub>r</sub> уменьшается относительно горизонта A<sub>2</sub>B. В среднем по исследуемым образцам равна 3,5 ммоль(экв)/100 г почвы при стандартном отклонении 0,9 ммоль(экв)/100 г. Размах вариации составляет 3,7 в диапазоне от 1,8 до 5,5 ммоль(экв)/100 г почвы. Варьирова-

ние гидролитической кислотности в горизонте B<sub>1</sub> выше, чем в верхней части профиля (Cv=25 %).

В нижней части иллювиального горизонта (B<sub>2</sub>) среднее значение гидролитической кислотности снижается до 2,9 ммоль(экв)/100 г почвы при стандартном отклонении 1,0 ммоль(экв)/100 г и коэффициенте вариации 33 %, что соответствует средней степени изменчивости (5 баллов).

Собственно серые лесные почвы имеют схожие со светло-серыми морфогенетические признаки. Однако отличительной особенностью подтипа собственно серых почв является более высокое содержание гумуса (Еремин и др., 2018), обусловленное формированием их при преобладающем воздействии дернового процесса над элювиальным в силу благоприятного химического состава

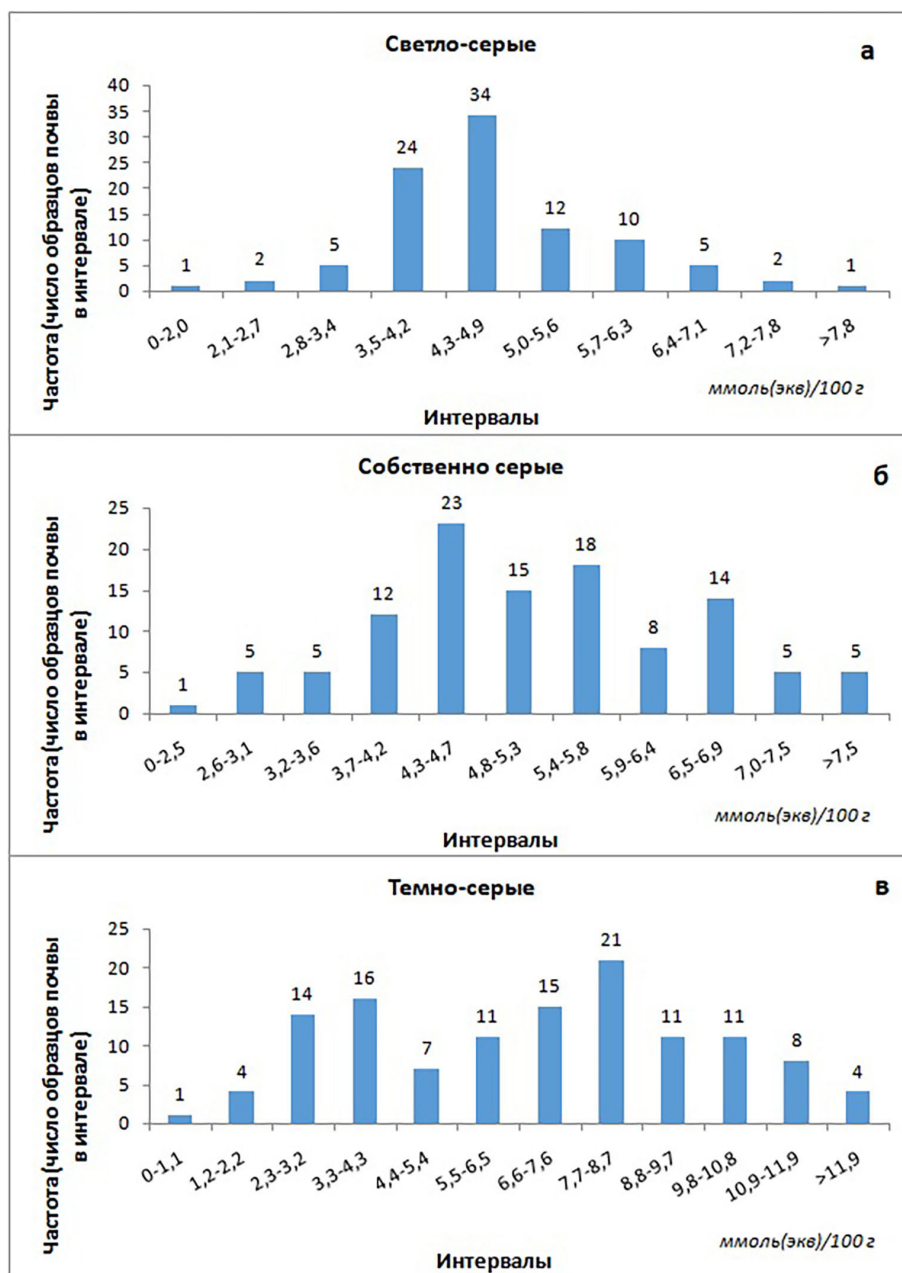


Рис. 1. Гистограммы распределения гидролитической кислотности в горизонте  $A_1$  разных подтипов серых лесных почв

Fig. 1. Histograms of distribution of hydrolytic acidity in the  $A_1$  horizon of different subtypes of gray forest soils

продуктов разложения лесного опада. В отличие от черноземов, серые лесные почвы Зауралья развиваются в условиях промывного, редко периодически промывного типа водного режима (Каретин, 1990). Это усиливает

процесс выщелачивания катионов кальция и магния из почвенно-поглощающего комплекса серых лесных почв путем замещения их ионами водорода, а позже – катионами алюминия, образующимися при разрушении

алюмосиликатной части почвы. Таким образом, увеличение емкости катионного обмена серой лесной почвы происходит за счет проявления дернового процесса, но в условиях сильного выщелачивания почвенно-поглощающий комплекс насыщается катионами алюминия, что приводит к повышению гидролитической кислотности. Несмотря на меньшую степень оподзоливания, гидролитическая кислотность гумусового горизонта собственно серой лесной почвы выше значений светло-серых лесных почв:  $A_1-5,2$ ;  $A_1A_2-5,6$  ммоль(экв)/100 г. Значение  $H_r$  в гумусовом горизонте ( $A_1$ ) изменяется в широком диапазоне – от 2,5 до 8,0 ммоль(экв)/100 г почвы. Отрицательный коэффициент эксцесса указывает, что значения рассеяны относительно среднего, асимметрия незначительна. Анализ таких показателей вариационной статистики как стандартное отклонение, равное 1,3 ммоль(экв)/100 г, значительный размах вариации, составляющий 5,5 ммоль(экв)/100 г, а также значение коэффициента вариации 25 %, позволяет сделать вывод о средней изменчивости гидролитической кислотности в верхней части почвенного профиля. Более чем у половины исследованных образцов собственно серых лесных почв гидролитическая кислотность в горизонте  $A_1$  выше среднего по выборке ( $m=5,2$  ммоль(экв)/100 г почвы) (рис. 1б).

В горизонте  $A_1A_2$  собственно серых лесных почв гидролитическая кислотность варьирует в пределах 3,3–8,6 ммоль(экв)/100 г почвы при коэффициенте вариации 21 %, что соответствует средней степени изменчивости. В верхней части иллювиального горизонта ( $B_1$ ) среднее значение гидролитической кислотности составляет 3,9 ммоль(экв)/100 г почвы. Неоднородность  $H_r$  выражается в широком диапазоне значений от 1,6 до 5,8 ммоль(экв)/100 г почвы при коэффи-

циенте вариации 21 %. В нижней части иллювиального горизонта ( $B_2$ ) средний показатель гидролитической кислотности по выборке снижается до 3,0 ммоль(экв)/100 г почвы при коэффициенте варьирования 31 %, что соответствует 5 баллам.

Темно-серые лесные почвы, обладая высокой гумусированностью и минимальным проявлением процессов оподзоливания, внешне схожи с черноземами лесостепной зоны (Kuznetsova et al., 2009). Тем не менее физико-химические свойства темно-серых лесных почв варьируют в широком диапазоне. В гумусовом горизонте ( $A_1$ ) гидролитическая кислотность в среднем по выборке равна 6,8 ммоль(экв)/100 г почвы при стандартном отклонении 3 ммоль(экв)/100 г почвы. Размах значений составляет 11,9 ммоль(экв)/100 г почвы при максимальном значении 13,0 ммоль(экв)/100 г почвы. В лесостепной зоне Зауралья встречаются участки темно-серых лесных почв, где гидролитическая кислотность практически отсутствует (1,1 ммоль(экв)/100 г почвы). Это указывает на полное отсутствие способности почвы подкислять раствор. Коэффициент вариации достигает рекордных значений – 43 % (высокая степень изменчивости). В Северном Зауралье преобладают темно-серые почвы с гидролитической кислотностью в горизонте  $A_1$  свыше 6,5 ммоль(экв)/100 г почвы (рис. 1в).

В горизонте  $B_1$  гидролитическая кислотность в среднем по выборке составляет 5,8 ммоль(экв)/100 г почвы при стандартном отклонении 2,9 ммоль. Размах значений не отличается от вышележащего горизонта. Неоднородность выборки по гидролитической кислотности высокая – коэффициент варьирования достигает 49 %, что по шкале В.И. Савича (1971) соответствует высокой степени изменчивости (3 балла). При изучении 123 почвенных разрезов также было вы-

явлено существенное варьирование глубины залегания карбонатов кальция. В тех разрезах, где линия вскипания максимально приближалась к гумусовому слою, гидролитическая кислотность в горизонтах  $A_1$  и  $B_1$  была минимальной, достигая 0,8 ммоль(экв)/100 г почвы. В почвах, где  $H_r$  достигала максимальных значений (до 13 ммоль(экв)/100 г почвы), карбонаты кальция обнаруживались только в материнской породе на глубине 2 и более метров.

Близость карбонатов к иллювиальному горизонту ( $B_2$ ) обусловила общее понижение гидролитической кислотности. В среднем для темно-серых лесных почв она составляет 4,5 ммоль(экв)/100 г почвы при варьировании в пределах от 0,9 до 12,1 ммоль(экв)/100 г почвы. Вариабельность очень высокая ( $C_v=57\%$ ).

Ёмкость катионного обмена (ЕКО) один из важнейших показателей физико-химических свойств, который зависит от гранулометрического состава и гумусированности почвы. С ЕКО связаны также физические свойства, которые могут быть благоприятными или неблагоприятными для растений в зависимости от состава катионов, насыщающих почвенно-поглощающий комплекс (Гедройц, 1975; Кленов, Якутин, 2017).

В гумусовом горизонте  $A_1$  светло-серых лесных почв ёмкость катионного обмена (ЕКО) варьирует в пределах от 12,2 до 31 ммоль(экв)/100 г почвы, в среднем по выборке она равна 21,9 ммоль(экв)/100 г (табл. 4). Показатели медианы ( $Med=22,1$ ) и моды ( $Mo=24,8$ ) указывают на то, что большая часть значений в выборке выше среднего. Это позволяет утверждать, что светло-серые

Таблица 4. Статистические характеристики ёмкости катионного обмена серых лесных почв Северного Зауралья, ммоль(экв)/100 г почвы

Table 4. Statistical characteristics of the cation exchange capacity of gray forest soils in Northern Trans-Urals, mmol (eq)/100 g of soil

Горизонты	m	Med	Mo	s	$\sigma^2$	Ex	A	max-min	min	max	$C_v$ , %
Светло-серая (n=96)											
$A_1$	21,9	22,1	24,8	4,2	17,4	-0,7	-0,2	18,8	12,2	31,0	19
$A_2B$	17,7	18,2	21,5	3,4	11,7	-1,3	-0,2	13,0	10,8	23,8	19
$B_1$	19,9	21,0	21,0	4,3	18,7	-0,7	-0,4	18,4	10,2	28,6	22
$B_2$	20,6	20,7	24,6	4,2	17,7	-0,9	-0,1	16,7	12,3	29,0	20
Собственно серая (n=111)											
$A_1$	26,0	25,7	24,9	5,6	31,6	1,1	0,8	28,4	15,8	44,2	22
$A_1A_2$	23,6	23,3	24,6	5,6	31,6	2,4	1,2	29,3	13,5	42,8	24
$B_1$	24,5	24,1	21,5	3,8	14,4	-0,4	0,3	17,6	16,2	33,8	16
$B_2$	24,7	24,2	23,4	4,0	15,9	-0,6	0,2	19,0	15,9	34,9	16
Темно-серая (n=123)											
$A_1$	32,1	32,2	34,7	5,7	32,9	0,0	0,3	27,7	20,1	47,9	18
$B_1$	25,8	25,1	22,7	5,2	27,6	0,2	0,6	25,8	13,7	39,4	20
$B_2$	22,6	22,3	22,8	4,4	19,1	0,3	0,8	21,4	15,2	36,6	19

Примечание: n – количество разрезов; m – средние значения; Med – медиана; Mo – мода; s – стандартное отклонение;  $\sigma^2$  – дисперсия выборки; Ex – эксцесс; A – коэффициент асимметрии; min – минимум; max – максимум;  $C_v$  – коэффициент вариации, %.

лесные почвы Северного Зауралья обладают хорошей поглотительной способностью. Вариабельность ЕКО небольшая – коэффициент вариации составляет 19 % (7 баллов).

В элювиально-иллювиальном горизонте ( $A_2B$ ) средний показатель ЕКО по выборке снижается до 17,7 ммоль(экв)/100 г почвы. Отмечается разброс значений относительно среднего, что соответствует плосковершинному распределению с эксцессом равным  $-1,3$ . Вариабельность значений емкости катионного обмена небольшая ( $C_v=19$  %). В иллювиальном горизонте ( $B_1$ ) средняя по выборке емкость катионного обмена повышается до 19,9 ммоль(экв)/100 г почвы. Значения медианы и моды показывают, что большая часть значений в выборке выше среднего. Коэффициент вариации, равный 22 %, указывает на среднее варьирование ЕКО в пределах рассматриваемого генетического горизонта. В нижней части иллювиального горизонта ( $B_2$ ) наблюдается незначительное повышение средней ЕКО до 20,6 ммоль(экв)/100 г почвы с варьированием значений в диапазоне от 12,3 до 29 ммоль(экв)/100 г. Распределение плосковершинное ( $E_x = -0,9$ ), асимметрия незначительна. Коэффициент вариации равен 20 %, что соответствует небольшой изменчивости емкости катионного обмена.

Подтип серых лесных почв характеризуется более высоким содержанием гумуса в верхней части профиля, поэтому емкость катионного обмена у них выше, чем в светло-серых лесных почвах. Анализ выборки из 111 почвенных разрезов показал, что величина емкости катионного обмена в среднем составляет 26 ммоль(экв)/100 г почвы с варьированием в диапазоне от 15,8 до 44,2 ммоль(экв)/100 г. Анализ показателей вариации позволяет сделать вывод о средней изменчивости ЕКО в гумусовом горизонте. В горизонте  $A_1A_2$  емкость катионного обмена

на снижается до 23,6 ммоль(экв)/100 г почвы в среднем по выборке. Причиной этого является меньшая гумусированность и обеднение горизонта элементарными почвенными частицами, размеры которых меньше 0,01 мм (Mikheeva, Kuz'mina, 2000). Коэффициент эксцесса, равный 2,4, указывает на островершинное распределение. Более половины почвенных образцов в выборке имеют ЕКО ниже среднего, поскольку асимметрия правосторонняя (среднее больше медианы). Вариабельность средняя ( $C_v=24$  %), что соответствует 6 баллам.

Емкость катионного обмена в иллювиальных горизонтах ( $B_1$  и  $B_2$ ) в среднем по выборке равна 24,5–24,7 ммоль(экв)/100 г и по статистическим параметрам горизонт является однородным. Коэффициент варьирования составляет 16 %, что соответствует небольшому уровню изменчивости (7 баллов).

Темно-серые лесные почвы отличаются от других подтипов высоким плодородием и благоприятными, с агрономической точки зрения, физико-химическими свойствами. Данный подтип в Западной Сибири наиболее изучен, поскольку именно он использовался при расширении пахотного фонда после распашки черноземов. В настоящее время целинных темно-серых лесных почв в Северном Зауралье осталось крайне мало. Сгруппированные данные основных свойств, охватывающих большую территорию, считаются наиболее ценными, поскольку по ним можно судить о региональных особенностях почвообразования и рационального землепользования.

Темно-серые лесные почвы имеют более высокую емкость катионного обмена в верхней части почвенного профиля в сравнении со светло-серыми и собственно серыми лесными почвами. В гумусовом горизонте ЕКО изменяется в пределах от 20,1

до 47,9 ммоль(экв)/100 г почвы, при среднем значении 32,1 ммоль(экв)/100 г. Поскольку коэффициент эксцесса равен нулю, а значение коэффициента асимметрии чуть выше нуля ( $A=0,3$ ), значения в выборке распределены симметрично относительно среднего. Вариабельность небольшая ( $Cv=18\%$ ). С глубиной содержание гумуса в темно-серых лесных почвах уменьшается, что отражается на величине емкости катионного обмена. В среднем по выборке она составляет 25,8 ммоль(экв)/100 г почвы. Значения изменяются в диапазоне от 13,7 до 39,4 ммоль(экв)/100 г почвы при небольшой вариабельности ( $Cv=20\%$ ). В нижней части иллювиального горизонта емкость катионного обмена продолжает снижаться, достигая в среднем по выборке 22,6 ммоль(экв)/100 г почвы. Основная часть почвенных образцов имеет ЕКО ниже среднего, на что указывают положительный коэффициент асимметрии, а также значение медианы ниже среднего. Вариабельность небольшая ( $Cv=19\%$ , 7 баллов).

Степень насыщенности почв основаниями является комплексным показателем физико-химических свойств, поскольку для его расчета используют сумму обменных оснований, гидролитическую кислотность и емкость катионного обмена. С агрохимической точки зрения она также важна. В определенной мере степень насыщенности основаниями характеризует буферную способность почвы, ее кислотно-щелочную характеристику и устойчивость к техногенному воздействию (Motorin et al., 2018). В аграрном секторе по этому показателю принимается решение об известковании почвы, поскольку известно, что при снижении степени насыщенности основаниями менее 75 % от емкости катионного обмена в почве начинается процесс оподзоливания (Kalichkin, Pavlova, 2011), который нельзя допускать на пахотных

землях, особенно в Западной Сибири (Самсонова и др., 2019).

Степень насыщенности основаниями гумусового горизонта ( $A_1$ ) светло-серой лесной почвы в среднем по выборке равна 79 % от ЕКО (табл. 5). Данный показатель изменяется в диапазоне от 70 до 89 % с размахом значений 19 % от ЕКО. Степень насыщенности основаниями горизонта  $A_1$  незначительно изменяется в пределах выборки, о чем свидетельствует минимальный коэффициент варьирования (6 %; 9 баллов).

В горизонте ( $A_2B$ ) насыщенность поглощающего комплекса катионами щелочноземельных металлов снижается незначительно. В среднем она составляет 77 % от ЕКО в том же диапазоне варьирования, что и у вышележащего горизонта. В целом можно отметить однородность верхнего слоя светло-серой лесной почвы по степени насыщенности основаниями, что делает возможным смешивания горизонтов  $A_1$  и  $A_2B$  при формировании полноценного пахотного горизонта. Коэффициент вариабельности равен 5 %, что соответствует незначительной изменчивости.

Верхняя часть иллювиального горизонта ( $B_1$ ) не подвержена выщелачиванию, поэтому степень насыщенности основаниями в среднем по выборке достигает 82 % от емкости катионного обмена. В нижней части ( $B_2$ ) данный показатель возрастает до 86 %, что соответствует высокому уровню насыщения основаниями почвенно-поглощающего комплекса. Размах значений по всему иллювиальному горизонту достигает 24 % в абсолютных величинах. Необходимо отметить, что в выборке присутствуют разрезы светло-серых лесных почв, где очень высокая степень насыщенности основаниями в иллювиальном горизонте, достигающая максимальных значений 95 % от ЕКО, что делает их наиболее перспектив-

Таблица 5. Статистические характеристики степени насыщенности основаниями серых лесных почв Северного Зауралья, %

Table 5. Statistical characteristics of the degree of base saturation of gray forest soils in Northern Trans-Urals, %

Горизонты	m	Med	Mo	s	$\sigma^2$	Ex	A	max-min	min	max	Cv, %
Светло-серая (n=96)											
A <sub>1</sub>	79	79	81	5	22	-0,8	0,1	19	70	89	6
A <sub>2</sub> B	77	76	73	4	14	0,6	0,7	19	70	89	5
B <sub>1</sub>	82	82	89	5	28	-0,8	-0,1	23	71	94	7
B <sub>2</sub>	86	86	90	5	28	-0,5	-0,4	24	71	95	6
Собственно серая (n=111)											
A <sub>1</sub>	80	79	78	4	12	-0,7	0,1	16	72	88	4
A <sub>1</sub> A <sub>2</sub>	76	76	72	4	15	0,2	0,5	19	67	86	5
B <sub>1</sub>	84	84	81	4	14	-0,2	-0,1	19	75	94	5
B <sub>2</sub>	88	88	92	3	10	0,0	-0,5	16	79	95	4
Темно-серая (n=123)											
A <sub>1</sub>	79	78	70	7	53	-1,1	0,3	28	67	95	9
B <sub>1</sub>	78	75	70	9	72	-1,3	0,3	30	65	95	11
B <sub>2</sub>	81	80	92	9	73	-1,3	-0,1	30	65	95	11

Примечание: n – количество разрезов; m – средние значения; Med – медиана; Mo – мода; s – стандартное отклонение;  $\sigma^2$  – дисперсия выборки; Ex – эксцесс; A – коэффициент асимметрии; min – минимум; max – максимум; Cv – коэффициент вариации, %.

ными для вовлечения в пахотный фонд Северного Зауралья.

Собственно серые лесные почвы по степени насыщенности основаниями не отличаются от светло-серых лесных. Средняя величина в гумусовом горизонте (A<sub>1</sub>) по выборке составляет 80 % от емкости катионного обмена с варьированием в диапазоне от 72 до 88 % от ЕКО. Вариабельность степени насыщенности в рамках собственно серых лесных почв незначительная – коэффициент вариации не превышает 5 %. В более глубоких слоях существенной разницы относительно светло-серых лесных почв не обнаружено, что позволяет объединить два подтипа в одну агропроизводственную группу.

Несмотря на высокую гумусированность, темно-серые лесные почвы по степени насыщенности основаниями отличаются от черноземов (Котченко, Еремина, 2020). В среднем

по выборке она в горизонте A<sub>1</sub> составляет 79 % от ЕКО, что соответствует уровню предыдущих подтипов. В ходе анализа было выявлено, что часть темно-серых лесных почв характеризуется средней степенью насыщенности поглощающего комплекса основаниями – 67 % от ЕКО, что свойственно подзолистым почвам Северного Зауралья. Такие почвы – изначально кислые и их вовлечение в сельскохозяйственный оборот потребует серьезных капиталовложений для нейтрализации кислотности. Максимальная степень насыщенности основаниями была на отметке 95 % от ЕКО, что указывает на наличие в Северном Зауралье почв с очень высоким содержанием кальция и магния в поглощающем комплексе. Такие почвы обычно формируются при близком залегании карбонатов кальция.

В иллювиальном горизонте степень насыщенности основаниями в среднем по вы-



борке возрастает до 81 % от емкости катионного обмена. Несмотря на значительный размах значений (от 65 до 95 %), варьирование оценивается как небольшое ( $C_v=11$  %).

### Заключение

Серые лесные почвы восточной окраины Зауральского Плато имеют сравнительно благоприятные физико-химические свойства в агрономическом отношении. По мере уменьшения интенсивности выщелачивания сумма обменных оснований в гумусовых горизонтах возрастает от 17,2 в светло-серых до 25,3 ммоль(экв)/100 г почвы в темно-серых.

Выявлена высокая степень варьирования гидролитической кислотности в гумусовом горизонте темно-серых лесных почв Северного Зауралья от 1,1 до 13,0 ммоль(экв)/100 г почвы (коэффициент вариации равен 43 %, что соответствует высокой изменчивости). В светло-серых и собственно серых подтипах гидролитическая кислотность характеризуется меньшими значениями – 4,6 и 5,2 ммоль(экв)/100 г почвы соответственно.

Поглотительная способность серых лесных почв относительно высока, даже у подтипа светло-серых, где она варьирует в широком диапазоне – от 12,2 до 31,0 ммоль(экв)/100 г

почвы. В темно-серых почвах Северного Зауралья в среднем емкость катионного обмена составляет 32,1 ммоль(экв)/100 г почвы, уменьшаясь с глубиной до 22,6 ммоль(экв)/100 г.

С повышением гумусированности в подтипе темно-серых лесных почв возрастает поглотительная способность, что в условиях периодически промывного типа водного режима и выщелачивания приводит к повышению гидролитической кислотности гумусового горизонта. Степень насыщенности основаниями в темно-серых лесных почвах достигает 79 % от емкости катионного обмена с варьированием значений от 67 до 95 %.

Схожие физико-химические свойства светло-серых и собственно серых лесных почв позволяют объединить их в одну агропроизводственную группу для разработки единой системы земледелия и расширенного воспроизводства плодородия. При сельскохозяйственном использовании темно-серых лесных почв необходимо учитывать очень высокую вариабельность физико-химических свойств. Мероприятия по улучшению гумусового состояния серых лесных почв должны сопровождаться обязательным известкованием для насыщения почвенно-поглощающего комплекса катионами кальция и магния.

### Список литературы / References

Гедройц К.К. (1975) *Избранные научные труды*. М., Наука, 638 с. [Gedroits K.K. (1975) *Selected works*. Moscow, Nauka, 638 p. (in Russian)]

Груздева Н.А., Ерёмин Д.И. (2019) Изменение химических свойств светло-серых лесных почв Северного Зауралья в процессе их сельскохозяйственного использования. *Вестник Алтайского государственного аграрного университета*, 10: 56–62 [Gruzdeva N. A., Yeremin D. I. (2019) The change of the chemical properties of light gray forest soils of Northern Trans-Urals during their agricultural use. *Bulletin of Altai State Agricultural University* [Vestnik Altaiskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta], 10: 56–62 (in Russian)]

Дабахова Е.В., Кузнецов В.А. (2010) Физико-химические свойства темно-серых лесных и черноземных почв Нижегородской области. *Агрохимический вестник*, 3: 2–4 [Dabakhova E. V., Kuznetsov V. A. (2010) The physical-chemical properties of the dark gray forest and chernozem soils of Nizhniy Novgorod region. *Agrochemical Herald* [Agrokhimicheskii vestnik], 3: 2–4 (in Russian)]

Еремин Д. И., Груздева Н. А., Еремина Д. В. (2018) Изменение гумусового состояния серых лесных почв Восточной окраины Зауральского Плато под действием длительной распашки. *Почвоведение*, 7: 826–835 [Eremin D. I., Gruzdeva N. A., Eremina D. V. (2018) Changes in the humus component of gray forest soils on the eastern outskirts of the Trans-Ural Plateau under long-term plowing. *Soil Science* [Pochvovedenie], 7: 826–835 (in Russian)]

Каретин Л. Н. (1990) *Почвы Тюменской области*. Новосибирск, Наука, Сибирское отделение, 286 с. [Karetin L. N. (1990) *Soils of the Tyumen region*. Novosibirsk, Nauka, Siberian Branch, 286 p. (in Russian)]

Каюгина С. М. (2021) Сравнительная характеристика подтипов серых лесных почв Северного Зауралья по гранулометрическому составу. *Мир инноваций*, 4: 3–6 [Kayugina S. M. (2021) Comparative characteristics of subtypes of gray forest soils of the Northern Trans-Urals by granulometric composition. *World of Innovation* [Mir innovatsii], 4: 3–6 (in Russian)]

Киселева Т. С., Рзаева В. В. (2021) Влияние основной обработки почвы на урожайность зернобобовых культур в северной лесостепи Тюменской области. *Достижения науки и техники АПК*, 35(1): 21–25 [Kiseleva T. S., Rzaeva V. V. (2021) Influence of the primary tillage on the yield of leguminous crops in the northern forest-steppe of the Tyumen region. *Achievements of Science and Technology of the Agro-Industrial Complex* [Dostizheniya nauki i tekhniki APK], 35(1): 21–25 (in Russian)]

*Классификация и диагностика почв СССР* (1977) М., Колос, 223 с. [*A classification of soils of the USSR and their diagnostics* (1977) Moscow, Kolos, 223 p. (in Russian)]

Клебанович Н. В., Киндеев А. Л., Сазонов А. А., Червань А. Н., Домась А. С., Ереско М. А., Ефимова И. А. (2019) Пространственная неоднородность почвенного покрова и агрохимических показателей почв Солигорского района. *Земля Беларуси*, 1: 39–48 [Klebanovich N. V., Kindeev A. L., Sazonov A. A., Chervan A. N., Domas A. S., Yeresko M. A., Efimova I. A. (2019) Spatial inhomogeneity of soil cover structure and agrochemical indicators of the Soligorsk district. *Land of Belarus* [Zemlya Belarusi], 1: 39–48 (in Russian)]

Кленов Б. М., Якутин М. В. (2017) Емкость катионного обмена и органическая составляющая выщелоченных черноземов Приобья. *Интерэкспо Гео-Сибирь*, 4(2): 166–170 [Klenov B. M., Yakutin M. V. (2017) Cation exchange capacity and organic constituent of leached chernozems of near-Ob river area. *Interexpo Geo-Siberia* [Interekspo Geo-Sibir'], 4(2): 166–170 (in Russian)]

Котченко С. Г., Груздева Н. А., Еремин Д. И. (2019) Динамика химических свойств серой лесной почвы Северного Зауралья при интенсивном ее использовании в пашне. *Вестник Алтайского государственного аграрного университета*, 11: 49–56 [Kotchenko S. G., Gruzdeva N. A., Eremin D. I. (2019) The chemical property dynamics of gray forest soil of the northern Trans-Urals under intensive use in arable land. *Bulletin of Altai State Agricultural University* [Vestnik Altaiskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta], 11: 49–56 (in Russian)]

Котченко С. Г., Еремина Д. В. (2020) Агрогенные изменения химических свойств темно-серых лесных почв Северного Зауралья. *Вестник Алтайского государственного аграрного университета*, 10: 42–50 [Kotchenko S. G., Eremina D. V. (2020) Agrogenic changes in chemical properties of dark gray forest soils of the northern Trans-Urals. *Bulletin of Altai State Agricultural University* [Vestnik Altaiskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta], 10: 42–50 (in Russian)]

Медведев В. В., Мельник А. И. (2010) Неоднородность агрохимических показателей почвы в пространстве и во времени. *Агрохимия*, 1: 20–26 [Medvedev V. V., Mel'nik A. I. (2010)

Heterogeneity of soil agrochemical properties in the space and the time. *Agrochemistry* [Agrokhimiya], 1: 20–26 (in Russian)]

Осипов А. И. (2019) История и практические аспекты известкования кислых почв в России. *Агрохимический вестник*, 3: 28–36 [Osipov A. I. (2019) History and practical aspects of acid soils liming in Russia. *Agrochemical Herald* [Agrokhimicheskii vestnik], 3: 28–36 (in Russian)]

Остапенко А. В., Тоболова Г. В. (2013) Изучение полиморфизма авенина сортов овса посевного (*Avena sativa* L.) в Тюменской области. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*, 171: 38–41 [Ostapenko A. V., Tobolova G. V. (2013) Studies of avenin polymorphism of oats varieties (*Avena sativa* L.) under condition of Tyumen region. *Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding* [Trudy po prikladnoi botanike, genetike i selektsii], 171: 38–41 (in Russian)]

Савич В. И. (1971) Варьирование свойств почв во времени и пространстве. *Сборник научных трудов Российской сельскохозяйственной академии им. К. А. Тимирязева*, 162: 111–115 [Savich V. I. (1971) Variation of soil properties in time and space. *A collection of works of Russian Timiryazev Agricultural Academy* [Sbornik nauchnykh trudov Rossiiskoi sel'skokhozyaistvennoi akademii im. K. A. Timiryazeva], 162: 111–115 (in Russian)]

Самсонова В. П., Кротов Д. Г., Кондрашкина М. И., Дядькина С. Е. (2019) Оценка динамики агрохимических свойств пахотных почв. *Проблемы агрохимии и экологии*, 2: 54–59 [Samsonova V. P., Krotov D. G., Kondrashkina M. I., Dyadkina S. E. (2019) The dynamics of agrochemical properties of arable soils. *Problems of Agrochemistry and Ecology* [Problemy agrokhimii i ekologii], 2: 54–59 (in Russian)]

Чикишев Д. В., Абрамов Н. В., Ларина Н. С., Шерстобитов С. В. (2020) Формирование химического состава зерна яровой пшеницы при различном уровне минерального питания. *Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология*, 10(3): 496–505 [Chikishev D. V., Abramov N. V., Larina N. S., Sherstobitov S. V. (2020) Chemical composition of spring wheat at different levels of mineral nutrition. *Proceedings of Universities. Applied Chemistry and Biotechnology* [Izvestiya Vuzov. Prikladnaya Khimiya i Biotekhnologiya], 10(3): 496–505 (in Russian)]

Яковлева Е. В., Степанова Л. П., Писарева А. В. (2016) Генетико-химическая и агроэкономическая характеристика пахотных темно-серых лесных почв. *Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П. А. Костычева*, 2: 63–68 [Yakovleva E. V., Stepanova L. P., Pisareva A. V. (2016) Genetic-chemical and agroeconomic characteristics of arable dark grey forest soil. *Bulletin of the P. A. Kostychev Ryazan State Agrotechnological University* [Vestnik Ryazanskogo gosudarstvennogo agrotekhnologicheskogo universiteta im. P. A. Kostycheva], 2: 63–68 (in Russian)]

Cerbari V., Lungu M., Stahi M. (2017) Genesis and evolution of forest and arable soils from Codri area formed under deciduous forest vegetation. *Scientific Papers. Series A. Agronomy*, LX: 36–41

Degefie D. T., Fleischer E., Klemm O., Soromotin A. V., Soromotina O. V., Tolstikov A. V., Abramov N. V. (2014) Climate extremes in south Western Siberia: past and future. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 28(8): 2161–2173

Eremin D. I. (2016) Changes in the content and quality of humus in leached chernozems of the Trans-Ural forest-steppe zone under the impact of their agricultural use. *Eurasian Soil Science*, 49(5): 538–545

Eremin D. I., Eremina D. V. (2018) Simulation the fertility parameters of artificial soils for green zones in the infrastructure of cities in Western Siberia. *Journal of Environmental Management and Tourism*, 9(3): 599–604

Eremina D., Eremin D. (2019) Fertility of agrogenic and postagrogenic chernozems of Western Siberia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 403(1): 012173

Kalichkin V. K., Pavlova A. I. (2011) Application of automated geospatial analysis methods for agro-ecological assessment of lands. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 17(5): 649–654

Kayugina S., Eremin D. (2022) Microaggregate composition as a factor of variability in the physical properties of gray forest soils in Western Siberia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1043(1): 012015

Kazak A. A., Loginov Y. P. (2020) The yield and baking quality of Siberia-bred spring soft wheat varieties in the north forest-steppe of the Tyumen region. *Amazonia Investiga*, 9(29): 124–136

Kuhling I., Redozubov D., Broll G., Trautz D. (2017) Impact of tillage, seeding rate and seeding depth on soil moisture and dryland spring wheat yield in Western Siberia. *Soil and Tillage Research*, 170: 43–52

Kuznetsova I. V., Tikhonravova P. I., Bondarev A. G. (2009) Changes in the properties of cultivated gray forest soils after their abandoning. *Eurasian Soil Science*, 42(9): 1062–1070

Mikheeva I. V. (2009) Divergence of probability distribution of the soil properties as a quantitative characteristic of the soil cover transformation. *Contemporary Problems of Ecology*, 2(6): 667–670

Mikheeva I. V., Kuz'mina E. D. (2000) Statistical characteristics of soil particle-size composition formula. *Eurasian Soil Science*, 33(7): 713–722

Motorin A. S., Iglovikov A. V., Bukin A. V. (2018) Changing in water-physical properties of drained peat soils during extraction and exploration of minerals in the conditions of the northern urals. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 194(8): 082026

Sherstobitov S. (2019) The results of the differential mineral fertilization in the automatic mode according to the task map. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 537(6): 062011

Sorokina O. A. (2010) Diagnostic parameters of soil formation in grey forest soils of abandoned fields overgrowing with pine forests in the middle reaches of the Angara river. *Eurasian Soil Science*, 43(8): 867–875