

Пространственная неоднородность содержания и запасов гумуса целинных светло-серых лесных почв юга Тюменской области

Светлана Михайловна Каюгина¹, Дмитрий Иванович Ерёмин²

¹Государственный аграрный университет Северного Зауралья, г. Тюмень, Россия

²Тюменский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук, г. Тюмень, Россия

e-mail: soil-tyumen@yandex.ru

Аннотация. Приведены результаты анализа гумусового состояния целинных светло-серых лесных почв юга Тюменской области. Всего было заложено и описано 96 полнопрофильных разрезов, отобраны почвенные образцы для лабораторных исследований. Обработку результатов выполняли в MS Excel, используя инструмент «Описательная статистика». Выявлено, что подтип светло-серых лесных почв имеет низкое содержание гумуса в верхней части профиля – $2,07 \pm 0,47$ %. Установлен резкий характер убывания гумуса в светло-серых лесных почвах Зауралья. В горизонте A_1A_2 содержание гумуса в среднем по выборке составляет 1,09 % с варьированием от 0,61 до 1,65 %. Гумусообразование в изучаемых почвах имеет аккумулятивный характер, поскольку в анализируемой выборке преобладают образцы с содержанием гумуса выше среднего. Содержание общего азота в горизонте A_1 составляет $0,11 \pm 0,03$ % при отношении углерода к азоту равном $11,2 \pm 1,0$. Вниз по профилю содержание общего азота резко уменьшается, что обусловлено вымыванием водорастворимых соединений азота. В среднем по горизонту A_1 запасы гумуса равны $38 \pm 11,7$ т/га, что составляет половину запасов в слое 0–100 см. При вовлечении светло-серых лесных почв в пашню питательный режим сельскохозяйственных культур будет складываться исключительно за счет горизонта A_1 .

Ключевые слова: гумус; плодородие; светло-серые лесные почвы; пространственная вариабельность; почвообразование.

Для цитирования: Каюгина С. М., Ерёмин Д. И. Пространственная неоднородность содержания и запасов гумуса целинных светло-серых лесных почв юга Тюменской области // Аграрный научный журнал. 2022. № 12. С. 36–40. <http://dx.doi.org/10.28983/asj.y2022i12pp36-40>.

AGRONOMY

Original article

Spatial heterogeneity of the content and reserves of humus of virgin light gray forest soils of the south of the Tyumen region

Svetlana M. Kayugina¹, Dmitry I. Eremin²

¹Northern Trans-Ural State Agricultural University, Tyumen, Russia

²Tyumen Research Centre, Siberian branch of the Russian Academy of Sciences, Tyumen, Russia

e-mail: soil-tyumen@yandex.ru

Abstract. The results of the analysis of the state of humus in virgin light gray forest soils in the south of the Tyumen region are presented. A total of 96 full profile sections were made and described, soil samples were taken for laboratory studies. The results were processed in MS Excel using the Descriptive Statistics tool. It was revealed that the subtype of light gray forest soils has a low content of humus in the upper part of the profile – 2.07 ± 0.47 %. A sharp decrease in the humus content down the profile was established. In the A_1A_2 horizon, the average humus content in the sample is 1.09 % with fluctuations from 0.61 to 1.65 %. Humus formation in the studied soils is of an accumulative nature, since soils with an above-average humus content predominate in the analyzed sample. The content of total nitrogen in horizon A_1 is 0.11 ± 0.03 % at a carbon to nitrogen ratio of 11.2 ± 1.0 . Down the profile, the content of total nitrogen sharply decreases, which is associated with the leaching of water-soluble nitrogen compounds. On average, humus reserves in the A_1 horizon are 38 ± 11.7 t/ha, which is half of the reserves in the 0–100 cm layer. When light gray forest soils are involved in arable land, the nutrient regime of agricultural crops will be formed exclusively due to the A_1 horizon.

Keywords: humus; fertility; light gray forest soils; spatial variability; soil formation.

For citation: Kayugina S. M., Eremin D. I. Spatial heterogeneity of the content and reserves of humus of virgin light gray forest soils of the south of the Tyumen region. Agrarnyy nauchnyy zhurnal = Agrarian Scientific Journal. 2022;(12):36–40. (In Russ.). <http://dx.doi.org/10.28983/asj.y2022i12pp36-40>.

Введение. Территория Российской Федерации преимущественно располагается в зоне лесов, под которыми формируются почвы с низкими показателями плодородия, но имеющие определенные отличительные особенности. Среди большого разнообразия почв наиболее интересными для ученых и аграриев являются светло-серые лесные почвы. Этот подтип формируется, в отличие от подзолистых почв, под густыми (молодыми) березняками и осинниками, а в Западной Сибири и под смешанными лесами. Подзолистый процесс, который лежит в основе формирования этих почв, менее выражен, поскольку химический состав лесного опада не такой агрессивный как у хвойных деревьев. Поэтому в лиственных лесах имеется возможность произрастания травянистой растительности. По мере осветления леса биомасса почвопокровной растительности возрастает, и подзолистый процесс начинает затухать.

Светло-серые лесные почвы имеют сходные с дерново-подзолистыми почвами морфологические признаки и физико-химические свойства. Особенно размыта грань между ними в Северном Зауралье, где накладываются определенные региональные особенности на генезис светло-серых лесных почв [7].





До настоящего времени достоверно не установлена направленность почвообразования светло-серых лесных почв. Существует ряд гипотез, одна из которых предполагает, что в Северном Зауралье светло-серые лесные почвы сформировались из темноцветных почв в результате развития на них лиственных и хвойных лесов. Другая гипотеза предусматривает формирование светло-серых лесных почв в результате смены хвойной растительности на лиственный лес в эволюционном или антропогенном порядке [1, 11].

Наиболее значимым показателем плодородия светло-серых лесных почв является гумусовое состояние, которое выражается в содержании и запасах перегноя.

Светло-серые лесные почвы имеют определенные преимущества перед подзолистыми. Это выражается в более высоких запасах гумуса, меньшей кислотности и благоприятных физико-химических свойствах. Вместе с тем эти почвы существенно уступают подтипу собственно-серых. Они характеризуются неводопрочной структурой и крайне быстро распыляются при вовлечении в пашню. Наличие карбонатной почвообразующей породы, на которой часто формируются светло-серые лесные почвы в Северном Зауралье, делает их потенциально-привлекательными при расширении сельскохозяйственных угодий в Западной Сибири.

Общая площадь серых лесных почв Сибири составляет 15,2 млн га. В Тюменской области на долю светло-серых лесных приходится 161,2 тыс. га, что составляет 18 % от типа серых лесных почв.

Ранее проведенные исследования показали, что в составе гумуса пахотных светло-серых лесных почв преобладают фульвокислоты с повышенным содержанием агрессивных фракций [2, 5]. Вместе с тем исследования целинных светло-серых лесных почв показали более благоприятный фракционно-групповой состав гумуса в этом подтипе. Аналогичные результаты были получены коллегами из Красноярска [12].

В подтаежной и лесостепной зонах складываются самые разнообразные условия для гумусообразования, и это не может не привести к формированию почв с большой вариабельностью по содержанию гумуса. Поэтому для оценки плодородия светло-серых лесных почв требуется масштабный анализ данных, охватывающих как можно большую территорию.

Цель исследования – оценка пространственной неоднородности содержания и запасов гумуса целинных светло-серых лесных почв юга Тюменской области.

Методика исследований. В основу статьи легли многолетние исследования кафедры почвоведения и агрохимии Государственного аграрного университета Северного Зауралья. Всего было заложено и описано 96 полнопрофильных разрезов целинных светло-серых лесных почв.

Изучаемые почвы имеют следующую формулу генетического профиля и морфологические признаки.

Почва: светло-серая лесная тяжелосуглинистая (Классификация..., 1977).

A_0 0–1 см. Лесная подстилка сильной степени разложения. Состоит из опада листьев березы, редко – осины, мелких веточек. Встречаются единичные остатки травянистой растительности.

A_1 1–15 см. Светло-серый, сухой, тяжелосуглинистый, комковато-пылеватый, слоится, рыхлый, много корней. Переход постепенный.

A_1A_2 15–20 см. Белесоватый, сухой, среднесуглинистый, слегка уплотнен, пластинчатый, тонкопористый, корни. Переход заметный.

B_1 20–70 см. Темно-бурый, свежий, тяжелосуглинистый, ореховатый, плотный, тонкопористый, корни. Переход ясный.

B_2 70–150 см. Светло-бурый, свежий, легкосуглинистый, неясно выраженной структуры, уплотнен, переход в почвообразующую породу постепенный.

C >150 см. Желто-светло-бурый, среднесуглинистый, уплотнен, бесструктурный, редкие корни.

При описании почвенных профилей выполняли отбор образцов для лабораторных исследований. Содержание органического углерода определяли методом Тюрина в модификации ЦИНАО (ГОСТ 26213-91), затем умножением на коэффициент 1,724 рассчитывали содержание гумуса. Общий азот определяли по Кьельдалю (ГОСТ 26107-84).

Статистическую обработку полученных результатов выполняли в MS Excel (надстройка «Анализ данных», инструмент «Описательная статистика»).

Оценку степени пространственной неоднородности выполняли по величине коэффициента вариации (C_v) согласно градации, предложенной В.И. Савичем для почвенных показателей: незначительное варьирование – 0–10; небольшое варьирование – 10–20; среднее – 20–40; высокое – 40–60; очень высокое – >60 [10].

Результаты исследований. Светло-серые лесные почвы наиболее распространены в подтаёжной зоне Северного Зауралья, где они активно используются в пашне как наиболее плодородные. В типе серых лесных они отличаются наибольшей оподзоленностью и наименьшей мощностью гумусового горизонта [4, 8]. По морфологическим признакам и свойствам они близки к дерново-подзолистым почвам, но в отличие от последних заметное количество гумуса содержится и в элювиальном горизонте A_1A_2 [9].

В горизонте A_1 светло-серых лесных почв содержание гумуса составляет $2,07 \pm 0,47$ % (табл. 1). Однако чаще встречаются почвенные образцы с содержанием гумуса выше среднего, на что указывает значение моды 2,14 % и медиана равная 2,13 %. Максимальное зафиксированное значение составило 3,11 %, приближая их к подтипу собственно-серых лесных почв. Коэффициенты асимметрии и эксцесса незначительно отличаются от нуля, что указывает на нормальность распределения в выборке. Выделяется довольно большой размах значений выборки – 2,06 %, при коэффициенте вариации 23 %. Это даёт основание сделать вывод о средней пространственной вариабельности.

В гумусово-элювиальном горизонте A_1A_2 светло-серых лесных почв содержание перегноя снижается, что обусловлено слабым развитием корневой системы почвопокровных растений в отсутствии питательных веществ, слабой освещенностью и интенсивным вымыванием органических соединений из верхнего горизонта в нижние [3]. В среднем по выборке содержание гумуса в рассматриваемом горизонте составило 1,09 %, значения варьируют в диапазоне от 0,61 до 1,65 %. У дерново-подзолистых почв содержание гумуса в аналогичном горизонте (A_2) в среднем



составляет 0,5–0,6 %. Это является в определенной степени доказательством более высокого плодородия светло-серых лесных почв в отношении подзолистых. Асимметрия умеренная. Более половины значений в выборке превышают среднее, о чём свидетельствуют величины моды и медианы. Вариабельность содержания гумуса в горизонте A_1A_2 ниже, чем в вышележащем, оценивается как небольшая (коэффициент вариации равен 19 %).

Таблица 1

Статистические характеристики содержания гумуса в почвенном профиле светло-серой лесной почвы ($n = 96$), %

Показатель	Горизонт			
	A_1	A_1A_2	B_1	B_2
Среднее	2,07	1,09	0,37	0,12
Медиана	2,13	1,12	0,35	0,08
Мода	2,14	1,14	0,32	0,05
Стандартное отклонение	0,47	0,21	0,17	0,09
Дисперсия выборки	0,22	0,04	0,03	0,01
Экссесс	-0,11	0,19	-0,22	0,48
Асимметричность	-0,25	-0,53	0,64	1,1
Размах	2,06	1,04	0,69	0,37
Минимум	1,05	0,61	0,11	0,01
Максимум	3,11	1,65	0,8	0,38
Коэффициент вариации, %	23	19	46	75

Примечание: n – количество почвенных разрезов.

В иллювиальных горизонтах B_1 и B_2 содержание гумуса в среднем составляет 0,37 и 0,12 % соответственно. Коэффициент асимметрии увеличивается и указывает на «правый хвост», то есть более половины значений в выборке ниже среднего. Значительный разброс значений также подтверждает коэффициент вариации, который для горизонта B_1 равен 46 %, а для горизонта B_2 – 75 %. Столь низкие значения содержания гумуса в горизонте B указывают на ослабление иллювиирования в светло-серых лесных почвах. Необходимо отметить, что при вовлечении светло-серых лесных почв в пашню питательный режим сельскохозяйственных культур будет складываться исключительно за счет горизонта A_1 .

Общее количество азота в почвах зависит в основном от содержания в них органического вещества и величины гумусового горизонта, так как практически весь азот почвы депонирован в гумусе. Также важный вклад в пополнение почвы азотом вносит ботанический состав растений, произрастающих на этой почве. В ходе полевых исследований нами было установлено, что на светло-серых лесных почвах Северного Зауралья бобовый компонент практически полностью отсутствуют. В почвопокровной растительности преимущественно встречаются кустарнички и разнотравно-осоковая растительность. Химический состав этих растений содержит минимальное количество азота. Нужно также учесть, что в светло-серых лесных почвах проявляется промывной тип водного режима, который способствует вымыванию неорганических соединений азота вглубь почвенного профиля.

Анализ выборки из 96 разрезов показал, что в гумусовом горизонте A_1 светло-серых лесных почв среднее содержание общего азота составляет 0,11 % при стандартном отклонении 0,03 % (табл. 2). В исследованных почвенных образцах данный показатель варьирует в интервале от 0,05 до 0,19 %. Равенство среднего, медианы и моды, а также значение эксцесса близкое к нулю, указывают на нормальность распределения. Асимметрия незначительна. Коэффициент вариации, равный 27 %, позволяет сделать вывод о средней пространственной вариабельности содержания общего азота в верхней части почвенного профиля светло-серых лесных почв. В гумусово-элювиальном горизонте A_1A_2 светло-серых лесных почв содержание азота уменьшается в среднем до 0,07 %, при этом значения изменяются в диапазоне от 0,04 до 0,12 %. Коэффициент вариации равен 29 %, что соответствует средней степени изменчивости. Статистический анализ позволяет сделать вывод о наличии внешних факторов, от которых зависит характер вымывания азота вглубь почвы. Содержание общего азота в горизонте B_1 снижается до 0,04 %, в горизонте B_2 до 0,02 %. При этом наблюдается сильный разброс значений в выборке, особенно в нижней части иллювиального горизонта, где коэффициент вариации равен 100 %.

Таблица 2

Статистические характеристики содержания общего азота в светло-серых лесных почвах Северного Зауралья ($n = 96$), %

Показатель	Горизонт			
	A_1	A_1A_2	B_1	B_2
Среднее	0,11	0,07	0,04	0,02
Медиана	0,11	0,07	0,04	0,02
Мода	0,11	0,06	0,02	0,01
Стандартное отклонение	0,03	0,02	0,02	0,02
Дисперсия выборки	0,0009	0,0004	0,0005	0,0004
Экссесс	0,02	-0,3	0,94	39,7
Асимметричность	0,32	0,7	1,01	5,4
Размах	0,14	0,08	0,11	0,16
Минимум	0,05	0,04	0,01	0,01
Максимум	0,19	0,12	0,12	0,17
Коэффициент вариации, %	27	29	50	100



Наиболее важным показателем качественного состава гумуса и связанной с ним агрономической ценности является отношение углерода к азоту (C:N). Отношение этих химических элементов в почве отражает биологическую ценность органического вещества. В первые годы после распашки почвы происходит очень сильная минерализация гумуса за счет высокой активности аэробной микрофлоры [6]. Это особенно критично для светло-серых лесных почв, которые характеризуются явным дефицитом гумуса.

В гумусовом горизонте A_1 светло-серых лесных почв отношение углерода к азоту составляет $11,2 \pm 1,0$ (табл. 3). Данный показатель в выборке наблюдается в диапазоне от 9 до 13,6 при коэффициенте вариации 9 %, что можно охарактеризовать как незначительную степень изменчивости. Более половины исследованных образцов почвы имеют отношение C:N в гумусовом горизонте выше среднего, о чём свидетельствуют величины моды и медианы. В гумусово-элювиальном горизонте (A_1A_2) отношение углерода к азоту уменьшается до 8,8, но размах вариации возрастает до 7,1. В иллювиальных горизонтах B_1 и B_2 отношение C:N снижается до 5,7 и 3,5 соответственно за счет внутри-профильной миграции минеральных соединений азота. В горизонте B_1 наблюдается существенная правосторонняя асимметрия, то есть более половины значений в выборке ниже среднего. Вариабельность отношения C:N в нижней части профиля высокая. Данный факт указывает на проявление современных процессов вымывания водорастворимых соединений азота, что негативно влияет на формирование плодородия в ходе естественного почвообразования.

Таблица 3

Статистические характеристики отношения углерода к азоту (C:N) светло-серых лесных почв ($n = 96$)

Показатель	Горизонт			
	A_1	A_1A_2	B_1	B_2
Среднее	11,2	8,8	5,7	3,5
Медиана	11,3	8,7	5,2	3,5
Мода	11,7	10,4	4,6	2,9
Стандартное отклонение	1,0	1,5	1,4	1,3
Дисперсия выборки	1,1	2,3	1,9	1,8
Экссесс	-0,6	-0,4	1,5	0,2
Асимметричность	0,1	0,1	1,2	-0,6
Размах	4,6	7,1	6,9	6,3
Минимум	9,0	5,7	3,5	0,1
Максимум	13,6	12,8	10,4	6,4
Коэффициент вариации, %	9	17	25	37

Подтип светло-серых лесных почв характеризуется низким содержанием и незначительной мощностью гумусового горизонта, поэтому по запасам органического вещества он существенно проигрывает собственно серым и темно-серым лесным почвам.

В среднем по горизонту A_1 запасы гумуса составляют 38 т/га при величине стандартного отклонения 11,7 т/га (табл. 4). Отрицательное значение коэффициента эксцесса, равного -0,76, указывает на плосковершинное распределение – разброс относительно среднего. Неоднородность выборки средняя – коэффициент вариации равен 31 %. В гумусово-элювиальном горизонте A_1A_2 запасы органического вещества в среднем по выборке снижаются по сравнению с A_1 и составляют 15 т/га. Запасы гумуса варьируются в пределах выборки от 7 до 23 т/га. Коэффициент вариации, равный 22 %, указывает на среднюю степень изменчивости. В иллювиальном горизонте B_1 в среднем запасы гумуса составляют 12 т/га. Однако можно судить о преобладании почв с более низкими запасами гумуса в данном горизонте, поскольку асимметрия правосторонняя. Размах значений существенный – от 4 до 30 т/га. Коэффициент вариации равен 48 %. В иллювиальном горизонте B_2 запасы гумуса еще ниже и составляют в среднем 10 т/га, изменяясь от 1 до 34 т/га. Вариабельность очень высокая – 78 %.

Таблица 4

Статистические характеристики распределения гумуса по почвенному профилю светло-серых лесных почв ($n = 96$), т/га

Показатель	Горизонт			
	A_1	A_1A_2	B_1	B_2
Среднее	38	15	12	10
Медиана	37	15	11	7
Мода	35	14	7	4
Стандартное отклонение	11,7	3,4	5,8	7,7
Дисперсия выборки	136,4	11,2	33,2	59,1
Экссесс	-0,76	-0,55	0,42	0,49
Асимметричность	0,14	0,18	0,87	1,07
Размах	46	16	26	33
Минимум	15	7	4	1
Максимум	61	23	30	34
Коэффициент вариации, %	31	22	48	78

При оценке потенциального плодородия целинных почв крайне важно знать об общих запасах гумуса в метровом слое. Наши расчеты показали, что в светло-серых лесных почвах они составляют 75 ± 20 т/га при очень широком размахе вариации – 102 т/га. Экссесс и асимметрия незначительны. Пространственную вариабельность запасов гумуса в метровом слое светло-серых лесных почв можно оценить как среднюю.



Заключение. Светло-серые лесные почвы преимущественно распространены в подтаёжной зоне Северного Зауралья. Они характеризуются низким содержанием органического вещества в гумусовом горизонте (A_1) – в среднем $2,07 \pm 0,47$ %. Пространственная неоднородность оценивается как средняя ($C_v = 23$ %). Установлен аккумулятивный характер гумусообразования, поскольку в анализируемой выборке преобладают образцы с содержанием гумуса выше среднего. Характер убывания гумуса в светло-серых лесных почвах Зауралья – резкий. В горизонте A_1A_2 его величина составляет в среднем 1,09 % с варьированием от 0,61 до 1,65 %.

Содержание общего азота в горизонте A_1 составляет $0,11 \pm 0,03$ % при C:N равном $11,2 \pm 1,0$. С глубиной содержание общего азота резко уменьшается, достигая в горизонте B_2 минимальных значений – 0,02 %. В ходе анализа установлен факт вымывания водорастворимых соединений азота вглубь почвенного профиля.

Запасы гумуса в светло-серых лесных почвах Северного Зауралья в среднем составляют 75 т/га, из которых половина приходится на горизонт A_1 .

При вовлечении светло-серых лесных почв в пахотный фонд Тюменской области необходимо учитывать возможное усиление микробиологических процессов, которые увеличат минерализацию гумуса, что крайне критично для данного подтипа почв.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Александровский А. Л., Чендев Ю. Г., Юртаев А. А. Почвы со вторым гумусовым горизонтом и палеочерноземы как свидетельства эволюции педогенеза в голоцене на периферии лесной зоны и в лесостепи (обзор) // Почвоведение. 2022. № 2. С. 147–167. DOI 10.31857/S0032180X22020022.
2. Груздева Н. А., Котченко С. Г., Ерёмин Д. И. Динамика содержания и запасов гумуса в агросерых лесных почвах Северного Зауралья // Плодородие. 2017. № 3 (96). С. 16–19.
3. Егорова О. Н. Пространственное варьирование величины pH в серых лесных почвах Владимирского ополья: специальность 03.02.13 «Почвоведение»: диссертация на соискание ученой степени кандидата биологических наук / Егорова Ольга Николаевна. М., 2004. 111 с.
4. Ерёмин Д. И. Особенности морфогенетических свойств серых лесных почв юга Тюменской области // Вестник Курганской ГСХА. 2017. № 3 (23). С. 8–11.
5. Ерёмин Д. И., Груздева Н. А., Ерёмина Д. В. Изменение гумусового состояния серых лесных почв восточной окраины Зауральского Плато под действием длительной распашки // Почвоведение. 2018. № 7. С. 826–835.
6. Ерёмин Д. И. Агрогенная трансформация чернозема выщелоченного Северного Зауралья: специальность 03.02.13 «Почвоведение»: дис. ... д-ра биол. наук / Ерёмин Дмитрий Иванович. Тюмень, 2012. 419 с.
7. Каретин Л. Н. Почвы Тюменской области. Новосибирск, 1990. 286 с.
8. Каюгина С. М., Ерёмин Д. И. Пространственная вариабельность мощности генетических горизонтов серых лесных почв Северного Зауралья // Вестник КрасГАУ. 2020. № 10 (163). С. 3–12.
9. Наумов В. Д., Каменных Н. Л., Лосев А. И. Характеристика гумусового состояния дерново-подзолистых почв ЛОД РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева / АгроЭкоИнфо: Электронный научно-производственный журнал. 2021. № 1. Режим доступа: http://agroecoinfo.narod.ru/journal/STATYI/2021/1/st_201.pdf.
10. Савич В. И. Применение вариационной статистики в почвоведении. М., 1972. 104 с.
11. Сорокина О. А. Трансформация серых лесных старопашотных почв Среднего Приангарья под воздействием сосняков разного возраста // Почвоведение. 2006. № 8. С. 907–913.
12. Сорокина О. А. Оценка трансформации плодородия серых почв по степени гумусированности // Вестник КрасГАУ. 2018. № 3(138). С. 240–246.

REFERENCES

1. Aleksandrovsky A. L., Yu. G. Chendev, Yurtaev A. A. Soils with a second humus horizon and paleochernozems as evidence of the evolution of pedogenesis in the Holocene on the periphery of the forest zone and in the forest-steppe (review). *Eurasian Soil Sci.* 2022; 2:147-167. DOI 10.31857/S0032180X22020022. (In Russ.).
2. Gruzdeva N. A., Kotchenko S. G., Eremin D. I. Dynamics of the content and reserves of humus in agro-gray forest soils of the Northern Trans-Urals. *Soil Fertility*. 2017; 3 (96): 16–19. (In Russ.).
3. Egorova O. N. Spatial variation of the pH value in the gray forest soils of the Vladimir opolye: specialty 03.02.13 “Soil science”: dissertation for the degree of Candidate of Biological Sciences. Moscow, 2004. 111 p. (In Russ.).
4. Eremin D. I. Features of the morphogenetic properties of gray forest soils in the south of the Tyumen region. *Bulletin of the Kurgan State Agricultural Academy*. 2017; 3 (23): 8–11. (In Russ.).
5. Eremin D. I., Gruzdeva N. A., Eremina D. V. Changes in the humus state of gray forest soils of the eastern margin of the Trans-Ural Plateau under the influence of long-term plowing. *Eurasian Soil Sci.* 2018; 7: 826–835. (In Russ.).
6. Eremin D. I. Agrogenic transformation of the leached chernozem of the Northern Trans-Urals: specialty 03.02.13 “Soil science”: dissertation for the degree of Doctor of Biological Sciences. Tyumen, 2012. 419 p. (In Russ.).
7. Karetin L. N. Soils of the Tyumen region. Novosibirsk, 1990. 286 p. (In Russ.).
8. Kayugina S. M., Eremin D. I. Spatial variability in the thickness of genetic horizons of gray forest soils of the Northern Trans-Urals. *Vestnik KrasGAU*. 2020; 10 (163): 3–12. (In Russ.).
9. Naumov V. D., Kamennykh N. L., Losev A. I. Characteristics of the humus state of soddy-podzolic soils of the Leningrad State Agrarian University named after K.A. Timiryazev. *AgroEcoInfo: Electronic scientific and production journal*. 2021; 1. URL: http://agroecoinfo.narod.ru/journal/STATYI/2021/1/st_201.pdf. (In Russ.).
10. Savich V. I. Application of variation statistics in soil science. Moscow, 1972. 104 p. (In Russ.).
11. Sorokina O. A. Transformation of gray forest old arable soils of the Middle Angara region under the influence of pine forests of different ages. *Eurasian Soil Sci.* 2006; 8: 907-913. (In Russ.).
12. Sorokina O. A. Assessment of the transformation of gray soil fertility according to the degree of humus content. *Vestnik KrasGAU*. 2018; 3(138): 240–246. (In Russ.).

Статья поступила в редакцию 27.03.2022; одобрена после рецензирования 18.04.2022; принята к публикации 29.04.2022.
The article was submitted 27.03.2022; approved after reviewing 18.04.2022; accepted for publication 29.04.2022.