

Научная статья

УДК 631.45:634.42

DOI: 10.37102/0869-7698_2022_223_03_13

Естественная и антропогенная трансформация лугово-бурых тяжелосуглинистых почв и ее влияние на продуктивность агроценозов

Н.А. Селезнева✉, Т.А. Асеева

Наталья Александровна Селезнева

научный сотрудник

Хабаровский федеральный исследовательский центр ДВО РАН, обособленное подразделение Дальневосточный научно-исследовательский институт сельского хозяйства, Хабаровск, Россия

nataliselezneva82@mail.ru

<http://orcid.org/0000-0002-6331-4045>

Татьяна Александровна Асеева

доктор сельскохозяйственных наук, член-корреспондент РАН

Дальневосточный научно-исследовательский институт сельского хозяйства, Хабаровск, Россия

aseeva59@mail.ru

<http://orcid.org/0000-0001-8471-0891>

Аннотация. Исходя из анализа полученных результатов в ходе исследований установили, что критерии естественной трансформации почв как в экосистеме, так и в агроценозе зависят от климатических (гидротермических) условий, к критериям антропогенной трансформации относятся пищевой режим почв и продуктивность агроценоза. Урожай сельскохозяйственных культур без внесения минеральных удобрений определяется запасами гумуса. При внесении минеральных удобрений их содержание в почве оказывало влияние на урожай в большей степени, чем содержание гумуса.

Ключевые слова: антропогенная трансформация, естественная трансформация, лугово-бурые почвы, минеральные удобрения, продуктивность

Для цитирования: Селезнева Н.А., Асеева Т.А. Естественная и антропогенная трансформация лугово-бурых тяжелосуглинистых почв и влияние на продуктивность агроценозов // Вестн. ДВО РАН. 2022. № 3. С. 128–137. http://dx.doi.org/10.37102/0869-7698_2022_223_03_13.

Финансирование. В рамках государственного задания.

Natural and anthropogenic transformation of meadow-brown heavy loamy soil and its impact on the productivity of agrocenoses

N.A. Selezneva, T.A. Aseeva

Natalia A. Selezneva

Researcher

Khabarovsk Federal Research Center of the Far Eastern Agricultural Research Institute,
Khabarovsk, Russia

nataliselezneva82@mail.ru

<http://orcid.org/0000-0002-6331-4045>

Tatiana A. Aseeva

Doctor of Sciences in Agriculture, Corresponding Member of the Russian Academy of
Sciences

Far Eastern Agricultural Research Institute, Khabarovsk, Russia

aseeva59@mail.ru

<http://orcid.org/0000-0001-8471-0891>

Abstract. Based on the analysis of the results obtained, the research established that the criteria for the natural transformation of soils both in the ecosystem and in the agrocenosis depend on climatic (hydrothermal) conditions, the criteria for anthropogenic transformation include the food regime of soils and the productivity of agrocenosis. The yield of crops without the introduction of mineral fertilizers is determined by the reserves of humus. When applying mineral fertilizers, their content in the soil affected the crop to a greater extent than the humus content.

Keywords: anthropogenic transformation, natural transformation, meadow-brown soils, mineral fertilizers, productivity

For citation: Selezneva N.A., Aseeva T.A. Natural and anthropogenic transformation of meadow-brown heavy loamy soil and the impact on the productivity of agrocenoses. *Vestnik of the FEB RAS*. 2022;(3):128-137. (In Russ.). http://dx.doi.org/10.37102/0869-7698_2022_223_03_13.

Funding. Financing within the framework of the state task.

Введение

Применение современных систем земледелия приводит к агрогенной трансформации почв, в результате которой происходят дегумификация, снижение содержания элементов питания и изменение физических свойств почв [1, 2]. К факторам, способствующим агрогенной трансформации, относят смену естественных биогеоценозов агроценозами, внесение минеральных удобрений, орошение, механическую обработку почв [3].

Антропогенное воздействие приводит к значительному изменению природных свойств почвы и нарушению биологического круговорота, в агроэкосистемах

складывается некомпенсированный круговорот питательных элементов, вызванный отчуждением органического вещества с получаемым урожаем, что приводит к снижению процессов образования гумуса и дегумификации [4–6]. Это негативно сказывается на физико-химических и энергетических параметрах, что приводит к росту энтропийных процессов и изменяет экологическое состояние почв в целом [7, 8].

При использовании лугово-бурых почв в хозяйственной деятельности происходит воздействие на весь комплекс почвообразования, изменяются морфологические свойства почвы и почвенные режимы. Антропогенное воздействие может быть как положительным – формирование более плодородных почв, так и отрицательным – снижение качества почвы или деградация [9, 10]. Если природные факторы воздействуют на почву стихийно, то антропогенная деятельность является целенаправленной.

Среди природных факторов наиболее значимыми при проводимых исследованиях являются климатические (гидротермические) условия. Почвенный покров формируется в неблагоприятных климатических условиях, основные осадки выпадают в летний период, что не способствует промывному режиму, а в результате сильных зимних ветров и раннего стаивания снега зимние осадки незначительно влияют на водный режим лугово-бурых почв. Вода, которая образуется при таянии снега, не фильтруется вниз по профилю из-за мерзлоты, а подтягивается к поверхности почвы и испаряется [11]. В результате в исследуемых почвах складывается своеобразный «мятниковый» режим миграции кальция и магния: летом и осенью из пахотных горизонтов в подпахотные, а зимой и весной – из подпахотных в пахотные.

Исходя из вышесказанного цель работы – изучить влияние естественной и антропогенной трансформации лугово-бурой тяжелосуглинистой почвы на продуктивность агроценоза.

В задачи исследования входило:

1. Определить влияние природных факторов на содержание питательных веществ в почве.
2. Оценить содержание питательных веществ в почве и продуктивность агроценоза при агрогенной трансформации.

Материалы и методы исследований

Исследования проводились в 2018–2020 гг. на базе Дальневосточного научно-исследовательского института сельского хозяйства (Хабаровский край) в длительных стационарных опытах, заложенных в 1963–1965 гг. на трех полях полевого севооборота в VIII ротации севооборота. Объектом исследования являются лугово-бурые почвы [12], на которых в течение 55 лет воспроизводятся одни и те же условия, определяемые агротехникой, в качестве индикатора изменений агрохимических свойств почвы и их влияние на продуктивность изучали на примере сорта сои Батя. Среднеспелый, продолжительность вегетационного периода – 108–118 сут.

Схема опыта включала следующие варианты: без удобрений с 1963 г. – контроль; последствие внесения в течение шести ротаций по 100 т торфокомпоста на 1 га севооборотной площади (ТФК, 100 т/га, последствие); минеральные удобрения в двойной дозе ($N_2P_2K_2$); последствие известкования, проводившегося

в течение шести ротаций севооборота (32 т/га известковой муки) с доведением общей дозы Са до 2,25 г.к. (известь по 2,25 г.к., последствие) – фон; внесение возрастающих доз минеральных удобрений – $N_1P_1K_1$, $N_2P_2K_2$, $N_3P_3K_3$, $N_4P_4K_4$ (соответственно фон + $N_1P_1K_1$, фон + $N_2P_2K_2$, фон + $N_3P_3K_3$). Одинарная доза минеральных удобрений ($N_1P_1K_1$) под сою – $N_{32}P_{32}K_{32}$, увеличения доз всех элементов на каждом уровне составлял 16 кг д.в./га. Площадь делянок в опыте составляла 150...270 м², повторность закладки вариантов – 4-кратная. В качестве экосистемы, которая никогда не подвергалась антропогенному воздействию, был выбран луг. В естественных экосистемах выбирали три точки, из которых отбирали почвенные образцы со слоя 0–30 см.

Почвенные образцы отбирали в период вегетации четыре раза: до внесения удобрений; в фазу 3-й тройчатый лист; в фазу цветения; уборку. В почвенных образцах определяли: аммоний колориметрически с реактивом Несслера по Е.В. Аринушкиной [13]; нитратный азот ГОСТ 26951-86, значения рН сол. ГОСТ 26483-85; гидролитическую кислотность ГОСТ 26212-91; фосфор и калий ГОСТ Р 54650-2011, алюминий ГОСТ 26485-85, органическое вещество ГОСТ 26213-91.

Статистический анализ результатов проводили по методике дисперсионного и корреляционного анализов с использованием стандартных компьютерных программ (Statistica 6.0; Microsoft Office, Excel 2003-2007).

Результаты и обсуждение

Характер проявления сезонного почвообразовательного процесса зависит прежде всего от природных факторов почвообразования. В Приамурье к ним в

Таблица 1

Коэффициенты корреляции (r) между элементами минерального питания и осадками

Показатель		Естественная экосистема (лес)	1-й опыт	2-й опыт
рН	г	–0,84	–0,86	–0,99
	р	0,030	0,033	0,033
Нг, мг-экв./100 г	г	–0,93	0,15	0,13
	р	0,034	0,033	0,030
N мин., мг/кг	г	0,89	0,77	0,83
	р	0,036	0,040	0,040
P ₂ O ₅ , мг/100 г	г	0,76	0,71	0,88
	р	0,034	0,030	0,030
K ₂ O, мг/100 г	г	–0,91	0,81	0,91
	р	0,045	0,038	0,040
Ca ²⁺ , мг-экв./100 г	г	0,5	0,41	0,46
	р	0,039	0,037	0,037
Mg ²⁺ , мг-экв./100 г	г	–0,88	–0,93	–1,0
	р	0,040	0,03	0,036
Al ³⁺ , мг/ 100 г	г	–0,47	–0,4	–0,17
	р	0,029	0,030	0,029
Гумус, %	г	–0,98	–0,49	–0,59
	р	0,032	0,031	0,031

Примечание. Для всех показателей в агро- и естественной экосистемах полученные значения $p < 0,05$.

первую очередь относится климат с его переменным гидротермическим режимом.

Осадки, выпадающие в период вегетации сельскохозяйственных культур, также оказывают значительное влияние на содержание питательных веществ в почве, о чем свидетельствуют коэффициенты корреляции (табл. 1).

Минеральный азот и подвижный фосфор в естественной экосистеме и агроценозе, а обменный калий – только в агроценозе имеют сильную положительную взаимосвязь между осадками и содержанием питательных элементов в почве.

Значительную отрицательную зависимость в обеих экосистемах имеют значения рН и магния. В естественной экосистеме такую зависимость имеют гумус, обменный калий и гидролитическая кислотность. Остальные элементы питания имеют среднюю зависимость – как положительную, так и отрицательную.

Путем сравнительного анализа почв агро- и естественных экосистем нами выявлены особенности изменения химического состава лугово-бурых пахотных почв. Анализ данных, приведенных в табл. 2, показывает, что за период исследований верхний горизонт (0–10 см) лугово-бурых почв под естественной растительностью характеризовался среднекислой (рН 4,9) реакцией среды, нижележащие горизонты имели сильнокислую (рН 4,1) и очень кислую (рН 3,5) реакцию

Таблица 2

Изменение химических свойств лугово-бурых почв (среднее за 2018–2020 гг.)

Вариант	Глубина, см	рН _{сол.}	Нг, мг-экв./ 100 г почвы	Al, мг/ 100 г почвы
Естественная экосистема (лес)	0–10	4,9	5,5	1,35
	10–20	4,1	7,1	0,71
	20–30	3,5	6,9	0,56
Контроль	0–10	4,4	6,3	3,37
	10–20	4,1	6,0	3,07
	20–30	3,9	5,3	2,86
ТФК по 100 т/га –последствие	0–10	4,4	6,2	2,34
	10–20	4,1	5,4	2,13
	20–30	3,7	5,2	1,93
N ₂ P ₂ K ₂	0–10	4,5	6,7	4,46
	10–20	4,2	6,2	4,35
	20–30	3,8	5,7	3,24
Известь по 2,25 г.к. – последствие (фон)	0–10	4,7	6,4	1,65
	10–20	4,5	6,1	1,15
	20–30	3,8	5,4	0,94
Фон + N ₁ P ₁ K ₁	0–10	5,0	4,5	0,35
	10–20	4,8	3,6	0,24
	20–30	4,4	3,2	0,21
Фон + N ₂ P ₂ K ₂	0–10	5,1	4,8	0,51
	10–20	4,7	4,2	0,43
	20–30	4,0	3,5	0,40
Фон + N ₃ P ₃ K ₃	0–10	5,0	5,9	0,53
	10–20	4,5	5,4	0,48
	20–30	4,2	4,5	0,38
N ₄ P ₄ K ₄	0–10	5,1	5,2	0,63
	10–20	4,8	4,6	0,57
	20–30	4,3	3,7	0,49

среды. Пахотные горизонты аналогичных почв в агроценозах в основном имеют реакцию среды от сильнокислой (рН 3,7–4,5) до среднекислой (рН 4,5–5,0).

Однако нижележащие горизонты имеют в обоих опытах сильнокислую и очень сильнокислую реакцию, что указывает на высокую устойчивость сложившихся почвенных процессов, несмотря на интенсивное сельскохозяйственное использование и изменения, происходящие в пахотном горизонте.

На плодородие почвы, как потенциальное, так и эффективное, оказывают сильное влияние кислотно-щелочные свойства почвы. Лугово-бурые почвы обладают высокой буферностью к подкислению и подщелачиванию. Внесение извести в IV ротации севооборота не привело к значительному изменению реакции почвенного раствора, так как из-за периодического переувлажнения почвы нейтрализующее действие извести снижается. Отрицательное влияние почвенной кислотности (обменной и гидролитической) на растения и урожайность связано с обменными формами алюминия, содержание которого снижается только в результате известкования. Внесение минеральных удобрений, и в первую очередь минеральных форм азота, обменного калия и подвижного фосфора, оказывает прямое воздействие на урожайность сельскохозяйственных культур.

Таблица 3

Изменение пищевого режима лугово-бурых почв (среднее за 2018–2020 гг.)

Вариант	Глубина, см	P ₂ O ₅ , мг/100 г почвы	K ₂ O, мг/100 г почвы	N _{мин.} , мг/кг	Гумус, %
Естественная экосистема (лес)	0–10	6,7	25,9	5,5	4,9
	10–20	2,7	21,8	3,4	3,4
	20–30	1,3	15,4	1,6	2,8
Контроль	0–10	1,7	11,8	16,3	2,7
	10–20	1,4	10,5	12,6	2,4
	20–30	0,8	7,9	10,3	2,0
ТФК по 100 т/га – последствие	0–10	1,9	10,8	16,8	3,7
	10–20	1,4	7,4	14,5	3,2
	20–30	1,1	6,2	10,7	2,4
N ₂ P ₂ K ₂	0–10	3,1	14,3	26,5	3,5
	10–20	2,6	12,1	25,2	3,2
	20–30	0,7	9,5	17,6	2,4
Известь по 2,25 г.к. – последствие (фон)	0–10	2,4	12,7	18,6	3,2
	10–20	1,6	10,2	15,7	2,7
	20–30	0,9	7,2	13,5	2,1
Фон + N ₁ P ₁ K ₁	0–10	3,6	15,3	22,3	3,6
	10–20	2,8	13,1	19,8	3,1
	20–30	1,3	9,5	14,6	2,4
Фон + N ₂ P ₂ K ₂	0–10	3,6	15,2	30,2	3,4
	10–20	3,4	11,7	26,0	3,2
	20–30	2,4	9,6	16,5	2,7
Фон + N ₃ P ₃ K ₃	0–10	3,9	16,4	28,6	3,5
	10–20	3,4	14,7	24,6	3,3
	20–30	2,6	10,4	13,8	2,6
N ₄ P ₄ K ₄	0–10	4,2	17,9	40,1	3,4
	10–20	3,7	15,3	36,2	3,0
	20–30	2,5	12,4	23,0	2,3

Содержание гумуса в верхнем горизонте почвы изменялось от среднего до низкого [14], минимальное его содержание в почвах естественных экосистем имеет горизонт A_2g (20–30 см) – 2,8 % (табл. 3). Полученные результаты свидетельствуют о потере гумуса в пахотном горизонте агроценоза (0–20 см) в результате его сельскохозяйственного использования. Содержание гумуса в контрольном варианте по сравнению с почвами естественных экосистем снизилось в среднем в 1,6 раза.

Длительное последствие органических удобрений и известкования оказало незначительное влияние на изменение содержания гумуса при выращивании сои (табл. 3).

В вариантах опыта по длительному последствию органических удобрений и известки содержание гумуса увеличилось по сравнению с контрольным вариантом на 0,4 и 0,6 % соответственно, что способствовало росту урожайности сои сорта Батя на 1,7 и 3,1 ц/га (табл. 4). Статистическая обработка данных позволила установить тесную зависимость между урожайностью и содержанием гумуса в пахотном горизонте ($r = 0,946$, $p < 0,05$).

Таблица 4

Урожайность сои сорта Батя, 2018–2020 гг.

Вариант	Урожайность, ц/га	Прибавка урожая	
		ц/га	%
Контроль	19,2	0	0
ТФК по 100 т/га-последствие	20,9	1,7	8,8
$N_2P_2K_2$	28,6	9,3	48,5
Известь по 2,25 г.к. – последствие (фон)	22,3	3,1	15,9
Фон + $N_1P_1K_1$	25,5	6,3	32,8
Фон + $N_2P_2K_2$	29,1	9,8	51,1
Фон + $N_3P_3K_3$	31,2	12,0	62,4
$N_4P_4K_4$	33,1	13,8	71,9

Внесение минеральных удобрений в дозе $N_2P_2K_2$ и минеральных удобрений по известковому фону в дозе (Фон + $N_1P_1K_1$, Фон + $N_2P_2K_2$) увеличило содержание гумуса в среднем на 0,75 %. Минеральные удобрения по известковому фону в дозе (Фон + $N_3P_3K_3$, Фон + $N_4P_4K_4$) привели к снижению гумуса по сравнению с другими вариантами, при этом урожайность сои в данных вариантах была максимальной. Снижение гумуса здесь вероятнее всего связано с повышенным использованием растениями питательных веществ из почвы, а также с усилением минерализации гумуса под действием минеральных удобрений. Исследованиями установлено, что содержание гумуса при внесении минеральных удобрений влияет на урожайность сои на 42,1 %, что описывается коэффициентом корреляции ($r = 0,652$, $p > 0,05$), следовательно, зависимость низкая и недостоверная.

Минеральный азот представлен суммой нитратного и аммонийного азота. При длительной антропогенной нагрузке накопление минеральных форм азота не снижалось, а в некоторые годы в контрольном варианте значения были выше, чем в вариантах с длительным последствием органических удобрений. Содержание минерального азота в пахотном горизонте лугово-бурых почв существенно влияет на урожайность сельскохозяйственных культур (коэффициент корреляции $r = 0,937$, $p < 0,05$). Влияние минерального азота на урожайность в исследуемой ситуации составляет 87,7 % от общей вариабельности урожайности.

В почвах природных экосистем обеспеченность обменным калием находится на высоком и повышенном уровнях по всему почвенному профилю, что соответствует почвообразовательным процессам в лугово-бурых почвах [15]. В почвах агроэкосистем обеспеченность калием изменяется в широких пределах – от средней до очень низкой (табл. 3). Подвижность обменного калия напрямую зависит от гидротермических условий, поэтому в засушливые периоды содержание обменного калия снижается. Исследованиями установлено, что содержание обменного калия влияет на урожайность сои на 73,7 %, что описывается коэффициентом корреляции: $r = 0,859$, $p < 0,05$.

В лугово-бурых почвах естественных экосистем содержание подвижного фосфора находится в средней группе обеспеченности, так как содержание фосфатов в лесном опаде невелико [16]. В верхнем слое почвы при использовании различных систем удобрений содержание подвижного фосфора очень низкое. Применение возрастающих доз минеральных удобрений по известкованному фону несколько повышает его содержание – от очень низкого до низкого. Увеличение содержания подвижного фосфора связано с улучшением кислотно-щелочных свойств почвы и снижением содержания алюминия (табл. 3). Влияние подвижного фосфора на урожайность сельскохозяйственных культур составляет 89,9 % и выражается коэффициентом корреляции $r = 0,948$, $p < 0,05$.

Заклучение

В ходе исследований установлено, что критерием естественной трансформации почв как в экосистеме, так и в агроценозе служат реакция почвенного раствора, содержание минерального азота, обменного калия и магния. Выявлена тесная связь между урожайностью и содержанием гумуса, что соответствует литературным данным [9, 10]. Содержание гумуса в пахотном слое лугово-бурых почв находится в интервале 2,3–3,5 %, поскольку в результате длительного антропогенного воздействия пахотным слоем становятся нижележащие горизонты, обедненные гумусом, обнаженные в результате эрозионных процессов. Содержание гумуса определяет плодородие почвы и доступность питательных веществ в ней и зависит от применяемых систем удобрений. Снижение содержания гумуса при возрастании доз минеральных удобрений может быть связано с увеличением его подвижности и миграцией по почвенному профилю. Урожай сельскохозяйственных культур без внесения минеральных удобрений определяется запасами гумуса. В то же время при внесении минеральных удобрений их содержание в почве оказывало влияние на урожай в большей степени, чем содержание гумуса. Высокий урожай сельскохозяйственных культур получен в опытах с дозой минеральных удобрений $N_4P_4K_4$, где содержания минеральных веществ в пахотном слое лугово-бурых почв достигают своих максимальных значений.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Черкашина А.А., Силаев А.В. Изучение и картографирование агрогенной трансформации почвенного покрова Тункинской котловины // Успехи современного естествознания. 2016. № 5. С. 168–173.
2. Агрогенная и постагрогенная трансформация почв Льговского района Курской области / И.В. Замотаев, В.П. Белобров, А.Н. Курбатова, Д.В. Белоброва // Бюл. Почвенного ин-та им. В.В. Докучаева. 2016. № 85. С. 97–114. <https://doi.org/10.19047/0136-1694-2016-85-97-114>.

3. Иванов А.Л., Лебедева И.И., Гребенников А.М. Факторы и условия антропогенной трансформации черноземов, методология изучения эволюции почвообразования // Бюл. Почвенного ин-та им. В.В. Докучаева. 2013. № 72. С. 26–46. <https://doi.org/10.19047/0136-1694-2013-72-26-46>.
4. Голов В.И. Круговорот серы и микроэлементов в основных агроэкосистемах Дальнего Востока: монография. Владивосток: Дальнаука, 2004. 316 с.
5. Litalien A., Zeeb B. Curing the earth: A review of anthropogenic soil salinization and plant-based strategies for sustainable mitigation // *Science of the Total Environment*. 2020. Vol. 698. 134235. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134235>.
6. Селезнева Н.А., Асеева Т.А., Федорова Т.Н. Изменение качественного состава органического вещества в лугово-бурой тяжелосуглинистой почве при антропогенном воздействии // Плодородие почв России. Состояние, тенденции и прогноз: материалы Международной научной конференции. М., 2019. С. 287–293. <https://doi.org/10.25680/VNIIA.2019.77.60.074>.
7. Rates of anthropogenic transformation of soils in the Botanical Garden of Jagiellonian University in Krakow (Poland) / L. Musielok [et al.] // *Catena*. 2018. Vol. 170. P. 272–282. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2018.06.023>.
8. Пуртова Л.Н., Костенков Н.М. Содержание органического углерода и энергозапасы в почвах природных и агрогенных ландшафтов юга Дальнего Востока России: оценка и методы индикации. Владивосток: Дальнаука, 2009. 124 с.
9. Abiotic and biotic controls on dynamics of labile phosphorus fractions in calcareous soils under agricultural cultivation / F.-R. Li, L.-L. Liu, J.-L. Liu, K. Yang // *Science of the Total Environment*. 2019. Vol. 681. P. 163–174. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.05.091>.
10. Quantifying influences of interacting anthropogenic-natural factors on trace element accumulation and pollution risk in karst soil / H. Tao [et al.] // *Science of the Total Environment*. 2020. Vol. 721. 137770. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137770>.
11. Федоров А.А., Басистый В.П. Зимнее промораживание и химические свойства лугово-бурых почв // *Сибирский вестн. сельскохоз. науки*. 1974. № 6. С. 12–18.
12. Иванов Г.И. Почвообразование на юге Дальнего Востока. М: Наука, 1976. 199 с.
13. Аринушкина Е.В. Руководство по химическому анализу почв. М.: МГУ, 1970. 485 с.
14. Шелуджен А.Х., Нещадим Н.Н., Онищенко Л.М. Органическое вещество почвы и методы его определения. Майкоп: Адыгея, 2007. 344 с.
15. Басистый В.П. Основы почвоведения. Почвы российского Дальнего Востока. Хабаровск: Изд-во ТОГУ, 2008. 171 с.
16. Изменение химических и микробиологических свойств почвы при антропогенном воздействии в полевом севообороте / Н.А. Селезнева [и др.] // *Достижения науки и техники АПК*. 2020. Т. 34, № 6. С. 5–10. <https://doi.org/10.24411/0235-2451-2020-10601>.

REFERENCES

1. Cherkashina A.A., Silaev A.V. Izuchenie i kartografirovaniye agrogennoi transformatsii pochvennogo pokrova Tunkinskoi kotloviny = [Studying and mapping the agrogenic transformation of soil cover of Tunka depression]. *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya*. 2016;(5):168-173. (In Russ.).
2. Zamotaev I.V., Belobrov V.P., Kurbatova A.N., Belobrova D.V. Anthropogenic and post-Anthropogenic transformation of soils of L'gov region of kursk oblast. *Dokuchaev Soil Bulletin*. 2016;(85):97-114. (In Russ.). <https://doi.org/10.19047/0136-1694-2016-85-97-114>.
3. Ivanov A.L., Lebedeva I.I., Grebennikov A.M. Factors for anthropogenic transformation of chernozems. *Dokuchaev Soil Bulletin*. 2013;(72):26-46. (In Russ.). <https://doi.org/10.19047/0136-1694-2013-72-26-46>.
4. Golov V.I. Cycle of sulphur and microelements in the basic agroecosystems of the Russian Far Est. Vladivostok: Dalnauka; 2004. 316 p. (In Russ.).
5. Litalien A., Zeeb B. Curing the earth: A review of anthropogenic soil salinization and plant-based strategies for sustainable mitigation. *Science of the Total Environment*. 2020;(698):134235. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134235>.
6. Selezneva N.A., Aseeva T.A., Fedorova T.N. Izmenenie kachestvennogo sostava organicheskogo veshchestva v lugovo-buroi tyazhelosuglinistoi pochve pri antropogennom vozdeistvii = [Change in the qualitative composition of organic matter in meadow-brown heavy loamy soil under anthropogenic influence]. In: *Plodorodie pochv Rossii. Sostoyanie, tendentsii i prognoz: materialy Mezhdunarodnoi nauchnoi konferentsii*. Moscow; 2019. P. 287–293. (In Russ.). <https://doi.org/10.25680/VNIIA.2019.77.60.074>.

7. Musielok L., Drewnik M., Stolarczyk M., Gus M. et al. Rates of anthropogenic transformation of soils in the Botanical Garden of Jagiellonian University in Krakow (Poland). *Catena*. 2018;(170):272-282. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2018.06.023>.
8. Purtova L.N., Kostenkov N.M. Content of organic carbon and energy reserves in soils of natural and agricultural landscapes in the south Far East Russian: an estimation and methods of indication. Vladivostok: Dalnauka; 2009. 124 p. (In Russ.).
9. Li F.-R., Liu L.-L., Liu J.-L., Yang K. Abiotic and biotic controls on dynamics of labile phosphorus fractions in calcareous soils under agricultural cultivation. *Science of the Total Environment*. 2019;(681):163-174. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.05.091>.
10. Tao H., Liao X., Li Y., Xu C. et al. Quantifying influences of interacting anthropogenic-natural factors on trace element accumulation and pollution risk in karst soil. *Science of the Total Environment*. 2020;(721):137770. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137770>.
11. Fedorov A.A., Basisty V.P. Zimnee promorazhivanie i khimicheskie svoystva lugovo-burykh pochv = [Winter freezing and chemical properties of meadow-brown soils]. *Sibirskii vestnik sel'skokhozyaistvennykh nauki*. 1974;(6):12-18. (In Russ.).
12. Ivanov G.I. Pochvoobrazovanie na juge Dal'nego Vostoka. M: Nauka; 1976. 199 p. (In Russ.).
13. Arinushkina E.V. Rukovodstvo po khimicheskomu analizu pochv. M.: MGU; 1970. 485 p. (In Russ.).
14. Sheudzen A.Kh, Neshchadim N.N, Onishchenko L.M. Organicheskoe veshchestvo pochvy i metody ego opredeleniya = [Organic matter of the soil and methods for its determination]. Maikop: OAO Poligrafizdat «A dygeYA»; 2007. 344 p. (In Russ.).
15. Basisty V.P. Osnovy pochvovedeniya. Pochvy rossiiskogo Dal'nego Vostoka. Khabarovsk: Izd-vo TOGU; 2008. 171 p. (In Russ.).
16. Selezneva N.A., Tishkova A.G., Fedorova T.N., Aseeva T.A. et al. Changes in the chemical and microbiological properties of soil under anthropogenic impact in the field crop rotation. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*. 2020;34(6):5-10. <https://doi.org/10.24411/0235-2451-2020-10601>.