

УДК 631.417.1:631.472.71(571.56)

СКОРОСТЬ НАКОПЛЕНИЯ УГЛЕРОДА ПАХОТНОГО ГОРИЗОНТА ЗАБРОШЕННЫХ ПАШЕН В УСЛОВИЯХ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЯКУТИИ**^{1,2}Десяткин А.Р., ¹Филиппов Н.В., ¹Федоров П.П., ³Ивасаки Ш.**¹*ФГБУН «Институт биологических проблем криолитозоны СО РАН», Якутск, e-mail: desyatkinar@rambler.ru;*²*ФГБУН «Институт мерзлотоведения им. П.И. Мельникова», СО РАН, Якутск;*³*Сельскохозяйственная школа, Университет Хоккайдо, Япония, e-mail: i.shinya19@gmail.com*

Естественным хранилищем природного углерода является почвенный покров нашей планеты, при нарушении которого происходит активный вынос углерода в атмосферу, перестраивая глобальный баланс углерода в биосфере. Одним из основных факторов, вызывающих нарушения почвенного покрова, является деятельность человека. Центральная Якутия является одним из самых северных очагов земледелия. Путем раскорчевки тайги здесь были созданы огромные площади пашен. При этом отмечается лишь кратковременное увеличение сельскохозяйственной продуктивности новых пахотных земель. При работе пашен наблюдается значительная потеря почвенного углерода, и, наоборот, при выведении пашен из оборота сельскохозяйственных земель увеличивается содержание С в почве. Объекты изучения локализованы на Лено-Амгинском междуречье в Центральной Якутии. Климатические условия региона являются суровыми и не предполагают высокой продуктивности растительности и быстрого темпа разложения органических остатков. Зональный тип почвы – мерзлотная палевая, развитая под листовичным лесом (*Larix Gmelinii*). Изучены 3 действующие, 5 заброшенных пашен. Для контроля заложены 5 точек в ненарушенных естественных экотопах, характерных для данного региона. Показано, что в Центральной Якутии при переустройстве лесного массива в пашню существенные изменения происходят в физических свойствах почв, происходит существенная потеря почвенной влаги, сопровождаемая уплотнением, возрастает рН, увеличивается засоленность почв. При изъятии культивируемых земель из сельскохозяйственного оборота происходит постепенное восстановление естественной структуры и улучшение физико-химических свойств почв бывших пахотных угодий. Содержание С_{орг} в почвах заброшенных пахотных земель Центральной Якутии достигает первоначального уровня в течение 20 лет.

Ключевые слова: Центральная Якутия, углерод, пашни, почва, восстановление**CARBON ACCUMULATION RATE IN TOP SOIL HORIZON OF ABANDONED ARABLE LANDS UNDER CENTRAL YAKUTIA CONDITIONS****^{1,2}Desyatkin A.R., ¹Filippov N.V., ¹Fedorov P.P., ³Iwasaki Sh.**¹*Institute for biological problems of cryolithozone SB RAS, Yakutsk, e-mail: desyatkinar@rambler.ru;*²*Melnikov Permafrost Institute SB RAS, Yakutsk;*³*Graduate school of agriculture, Hokkaido University, Japan, e-mail: i.shinya19@gmail.com*

Soil cover is the natural storage of carbon in our planet, under disturbance of which there is an active release of carbon into the atmosphere. It is affecting the global carbon balance in the biosphere. One of the main factor that causes disturbance of the soil cover is human activity. Central Yakutia is one of the northernmost centers of agriculture. Through the tearing up of the taiga, here were created a huge area of arable land. At the same time, only a short-term increase in the agricultural productivity of new arable land is noted. When creating an arable land, a significant loss of soil carbon is observed, and vice versa, when abandoning arable lands the content of C in the soil is restoring. The objects of the study are localized on the Leno-Amga interfluvium in Central Yakutia. The climatic conditions of the region are severe and do not imply high productivity of vegetation and rapid rate of decomposition of organic matter. Zonal soil type is permafrost pale, developed under larch forest (*Larix Gmelinii*). Three working and five abandoned arable lands were studied. 5 plots of undisturbed natural ecotopes were chosen for characteristic of this region. It is shown that in Central Yakutia during the conversion of the forest massif into arable land, significant changes occur in the physical properties of soils, there is a significant loss of soil moisture accompanied by compaction, pH and soil salinity increase. While abandoning of cultivated lands from agricultural circulation, a gradual restoration of the natural structure and improvement of the physicochemical properties of the soils of former arable lands takes place. C content in the soils of abandoned arable land in Central Yakutia reaches its original intact level during 20 years.

Keywords: Central Yakutia, carbon, arable land, soil, restoration

Как известно, огромное количество природного углерода хранится в почвенном покрове нашей планеты, при минерализации которого происходит активный вынос углерода в атмосферу, перестраивая глобальный баланс углерода в биосфере. Основным фактором, вызывающим нарушения почвенного покрова, является деятельность

человека, один из основных – земледелие. Отмечено, что значительные изменения содержания почвенного С происходят при создании пашен и при выводе их из оборота сельскохозяйственных земель [1]. Таким образом, раскорчевка, вырубка леса и распашка целинных и залежных земель сопровождаются значительной динамикой содержания и потерей

ми почвенного углерода и, соответственно, эмиссией С в атмосферу [2]. Показано, что выведение пашен из оборота увеличивает содержание С в почве, и заброшенные пашни становятся стоком атмосферного углерода [3; 4]. Баланс почвенного углерода определяется соотношением между количеством поступившего в нее органического материала и интенсивностью его разложения, которое зависит от многих факторов, таких как климат, свойства почвы и особенности землепользования.

Центральная Якутия является одним из самых северных очагов земледелия. Путем раскорчевки тайги здесь были созданы огромные площади пашен (113,6 тыс. га) из которых к 2000 г. функционировали всего лишь 78 тыс. га. По отчетным данным, в используемых пашнях Центральной Якутии наблюдаются процессы снижения гумуса, увеличения засоления, истощения питательных веществ, а на заброшенных – наблюдается усиление криогенных процессов, вызывающих оседание поверхности почвы. Кроме того, в Центральной Якутии отмечается лишь кратковременное увеличение сельскохозяйственной продуктивности новых обрабатываемых пахотных земель сразу после раскорчевки, за которым следует долговременное снижение, связанное не столько с истощением, сколько с уплотнением почв [5]. Также одной из основных причин исключения пашен из оборота является засоление почв, и это закономерно, при господстве выпотного водного режима почв в условиях семиаридного климата с годами усиливается аккумуляция водорастворимых веществ в поверхностных слоях почв открытых пространств, поэтому засоленные почвы более распространены в Центральной Якутии [6].

К настоящему моменту констатируется факт слабой изученности динамики изменения почвенного С при переводе естественных таежно-аласных ландшафтов на пахотные земли. В основном исследовательские работы по изучению углерода почв велись на пойменных пашнях в годы их активного использования [7; 8]. Поэтому целью нашей работы является изучение динамики запасов углерода пахотного горизонта мерзлотных палевых почв при цикле создание – функционирование – забрасывание сельскохозяйственных пахотных угодий и выявление скорости накопления почвенного С в природно-климатических условиях Центральной Якутии.

Материалы и методы исследования

Исследуемые объекты локализованы на Лено-Амгинском междуречье в Центральной Якутии. Климат региона резко континентальный, характеризующийся суровой зимой и жарким летом. Среднегодовая температура составляет – 9,65 °С, с минимумом – 63 °С в январе и максимумом 38,3 °С в июле, теплый период длится с мая по сентябрь. Годовые осадки в среднем составляют 235 мм. Максимальное среднемесячное количество осадков приходится на июль и август и составляет 39 мм за оба месяца. Минимум – в феврале и марте, соответственно 8 и 6 мм. Таким образом, климатические условия региона являются суровыми и не предполагают высокой продуктивности растительности и быстрого темпа разложения органических остатков в течение короткого лета, что и должно быть главным лимитирующим фактором темпа оборота С в регионе.

Зональным типом почвы Центральной Якутии является мерзлотная палевая почва (классификация WRB, Cambic Turbic Cryosol), развитая под лиственничным лесом (*Larix Gmelinii*). Данная почва характеризуется тем, что максимум С сосредоточен в верхнем гумусово-аккумулятивном горизонте, глубже содержание С уменьшается [9].

Для изучения динамики С почв в 2014 г. были отобраны три действующие и пять заброшенных пашен разного возраста (табл. 1). Рядом, в естественных экотопах заложены 5 контрольных точек для сравнения начального состояния С в лесных почвах до создания пашен.

На момент отбора проб используемые пашни были засеяны овсом (*Avena Sativa*) высотой от 40 (UNA-W, TG-W) до 60 (NEM-W) см. Заброшенные пашни зарастали степной растительностью с доминированием *Stipa capillata*, *Chenopodium album* и *Lappula squarrosa*. Высота травянистой растительности на этих участках в среднем составляла 40 см. Все пробы отбирались в тройной повторности с использованием объемного 100 мл кольца до глубины 30 см.

Анализы на содержание органического и неорганического углерода в почве, влажность почвы, объемную плотность (ОП), рН и электропроводность (ЭП) проводились в почвенной лаборатории ИБПК СО РАН с использованием общепринятых в почвоведении методов и анализаторов «B-173 conductivity meter, Horiba, Japan», «Flash 2000 NC-soil, Thermo Fisher Scientific».

Запасы органического и неорганического С ($\text{Мг С га}^{-1} 30 \text{ см}^{-1}$) каждого горизонта рассчитывались следующим образом:

$$\text{Запас С} = \text{ОП} \times \text{С} \times \text{Н} \times 10,$$

где ОП – объемная плотность грунта ($\text{Мг} \cdot \text{м}^{-3}$), С – содержание органического или неорганического углерода в почве (мг С кг^{-1}), а Н – глубина горизонта грунта (см), 10 – коэффициент пересчета единиц.

Результаты исследования и их обсуждение

В ходе проведенных исследований выявлено, что при переустройстве лесного массива в пашню существенные изменения происходят в содержании влаги в почве (табл. 2). Так, в ненарушенных лесных почвах влажность выше и в среднем составляет $11,9 \pm 3,5\%$, $\text{кг} \cdot \text{кг}^{-1}$. На рабочих пашнях же средняя влажность почв составила $9,4 \pm 2,0\%$, $\text{кг} \cdot \text{кг}^{-1}$, что почти сравнимо со средней влажностью заброшенных пашен $9,2 \pm 1,6\%$, $\text{кг} \cdot \text{кг}^{-1}$. Очевидно, что на открытых участках происходит существенная потеря почвенной влаги, которая влияет на продуктивность и активность биомассы, контролирует доступность кислорода и разложение органики [10].

На изученных площадках значительно изменяется объемная плотность почв (ОП): исходные лесные почвы имели существенный разброс от $0,99 \pm 0,18$ до $1,27 \pm 0,10 \text{ Мг} \cdot \text{м}^{-3}$. На действующих пашнях плотность почв значительно увеличивается и составляет в среднем $1,35 \pm 0,09 \text{ Мг} \cdot \text{м}^{-3}$. После вывода из хозяйственного оборота на заброшенных пашнях, в зависимости от возраста, на 36- и 20-летних залежах плотность несколько уменьшается, составляет $1,32 \pm 0,11$ и $1,31 \pm 0,09 \text{ Мг} \cdot \text{м}^{-3}$, соответственно. Плотность почв молодой 5-летней залежи равна плотности действующей пашни ($1,35 \pm 0,17 \text{ Мг} \cdot \text{м}^{-3}$). Средние значения всех рас-

смотренных точек показывают явные различия в плотности грунтов, которые начинаются с $1,17 \pm 0,17$ в лесной почве и увеличиваются до $1,36 \pm 0,08 \text{ Мг} \cdot \text{м}^{-3}$ в функционирующей пашне. Полученные данные соответствуют результатам исследований коллектива авторов [11] которые отмечают, что при снятии агрогенного пресса в пашнях происходит самовосстановление естественных свойств почв.

Уровень рН в лесной почве составляет $6,64 \pm 0,65$, на рабочих пашнях он увеличивается до $8,32 \pm 0,44$. На заброшенных пахотных землях рН снижается до $7,92 \pm 0,77$ без больших изменений в зависимости от возраста забрасывания.

Увеличение электропроводности (ЭП) свидетельствует об увеличении концентрации солей в исследованных почвах. Наибольшей ЭП характеризуются рабочие пашни, а в заброшенных пашнях происходит уменьшение ЭП, что свидетельствует о снижении общего засоления после забрасывания.

Содержание почвенного органического углерода ($\text{С}_{\text{орг}}$) в лесных почвах самое высокое и составляет в среднем $47,2 \pm 13,9 \text{ Мг С га}^{-1}$. Разброс содержания $\text{С}_{\text{орг}}$ здесь значительный, от $31,6 \pm 15,2$ до $58,2 \pm 8,4 \text{ Мг С га}^{-1}$. Концентрация $\text{С}_{\text{орг}}$ работающих пашен почти в два раза ниже запасов лесных точек, в среднем составляют $27,8 \pm 8,7 \text{ Мг С га}^{-1}$. Что свидетельствует о потере большого количества почвенного углерода вследствие раскорчевки леса под пашни. На заброшенных пашнях четко наблюдается увеличение $\text{С}_{\text{орг}}$. В среднем наблюдается 30% увеличение $\text{С}_{\text{орг}}$, которое достигает $38,8 \pm 8,7 \text{ Мг С га}^{-1}$. При этом возраст забрасывания пашен не имеет прямой корреляции с содержанием $\text{С}_{\text{орг}}$. Так, 36-летняя заброшенная пашня имеет меньшее содержание $\text{С}_{\text{орг}}$, чем 20-летняя ($34,5 \pm 3,9$ и $44,9 \pm 4,8 \text{ Мг С га}^{-1}$ в среднем, соответственно). А почвы 5-летней заброшенной пашни содержат $35,3 \pm 9,1 \text{ Мг С га}^{-1} \text{ С}_{\text{орг}}$.

Таблица 1

Возраст залежей и действующих пашен

Пашни	Точка	Год создания	Год вывода из с/х оборота	Время функционирования, лет	Время восстановления, лет
Используемые	NEM-W	1985		29	0
	UNA-W	1985		29	0
	TG-W	1985		29	0
Заброшенные	NEM-1-A	1965	1978	13	36
	NEM-2-A	1965	1978	13	36
	NEM-3-A	1965	1994	29	20
	UNA-A	1985	1994	9	20
	TG-A	1985	2009	24	5

Таблица 2

Физические свойства почв (ОП – объемная плотность, ЭП – электропроводность)

Точка	n	Возраст залежки	ОП, Мг м ⁻³	рН	ЭП, м См м ⁻¹	Влаж-ть, % кг кг ⁻¹	С		
							С _{орг}	С _{неорг}	
							Мг С га ⁻¹ 30 см ⁻¹		
Лес	NEM-1	3	1,1 ± 0,22	7,26 ± 1,19	5,90 ± 4,50	11,8 ± 2,5	31,6 ± 15,2	2,5 ± 1,1	34,1 ± 15,5
	NEM-3	3	0,99 ± 0,18	6,33 ± 0,44	9,27 ± 5,35	14,3 ± 4,8	45,1 ± 14,7	7,2 ± 3,4	52,3 ± 17,3
	TG	3	1,26 ± 0,10	6,34 ± 0,13	5,80 ± 0,75	7,2 ± 0,6	45,1 ± 5,1	3,6 ± 2,6	48,7 ± 7,5
	UNA	3	1,27 ± 0,10	6,78 ± 0,59	10,23 ± 2,80	12,6 ± 3,2	56,2 ± 11,6	2,2 ± 2,2	58,4 ± 11,0
	US	3	1,25 ± 0,07	6,49 ± 0,28	4,23 ± 0,87	13,5 ± 1,2	58,2 ± 8,4	7,6 ± 9,2	65,8 ± 17,2
	Среднее	15	1,17 ± 0,17	6,64 ± 0,65	7,09 ± 3,72	11,9 ± 3,5	47,2 ± 13,9	4,6 ± 4,6	51,9 ± 16,3
Рабочие пашни	NEM-W	3	1,36 ± 0,08	8,70 ± 0,06	16,90 ± 11,40	7,1 ± 0,4	39,0 ± 1,9	4,5 ± 1,4	43,5 ± 3,1
	TG-W	3	1,42 ± 0,08	7,81 ± 0,32	5,80 ± 2,71	9,7 ± 0,7	22,1 ± 0,9	0,7 ± 0,4	22,8 ± 1,2
	UNA-W	3	1,28 ± 0,06	8,46 ± 0,23	8,97 ± 1,12	11,5 ± 0,6	22,3 ± 3,8	2,5 ± 2,2	24,8 ± 5,7
	Среднее	9	1,35 ± 0,09	8,32 ± 0,44	10,56 ± 7,69	9,4 ± 2,0	27,8 ± 8,7	2,6 ± 2,1	30,4 ± 10,4
Заброшенные пашни	NEM-1-A	3	1,39 ± 0,06	8,24 ± 0,32	11,53 ± 7,66	10,7 ± 0,9	37,3 ± 5,4	9,2 ± 8,0	46,5 ± 2,7
	NEM-2-A	3	1,24 ± 0,08	8,45 ± 0,13	12,83 ± 1,25	9,2 ± 1,7	31,7 ± 1,6	28,5 ± 13,0	60,2 ± 11,2
	NEM-3-A	3	1,38 ± 0,07	7,88 ± 0,97	9,13 ± 3,35	10,2 ± 2,0	41,5 ± 13,2	8,9 ± 4,5	50,4 ± 11,1
	UNA-A	3	1,25 ± 0,02	6,70 ± 0,13	5,00 ± 0,40	7,3 ± 0,3	48,3 ± 1,8	2,4 ± 1,7	50,7 ± 1,3
	TG-A	3	1,35 ± 0,17	8,32 ± 0,18	8,27 ± 1,07	8,8 ± 0,3	35,3 ± 9,1	6,6 ± 5,9	41,8 ± 7,9
Среднее	15	1,32 ± 0,10	7,92 ± 0,77	9,35 ± 4,28	9,2 ± 1,6	38,8 ± 8,7	11,1 ± 11,2	49,9 ± 9,2	

Полученные закономерности схожи с результатами аналогичных работ, проведенных в зоне южной тайги, где содержание $C_{\text{орг}}$ на рабочих пашнях на глубине 0–50 см составляет $30,6 \text{ Мг С га}^{-1}$ [12], что практически сопоставимо с нашими данными. В общем, тенденция накопления $C_{\text{орг}}$ в почвах заброшенных пашен под воздействием травянистой растительности в зоне распространения сплошной вечной мерзлоты идет по типу накопления C во внемерзлотных областях [13–15].

Содержание карбонатного углерода ($C_{\text{неорг}}$) в почвах работающих и заброшенных пашен имеет значительные отличия. По сравнению с лесными почвами ($4,6 \pm \pm 1,1 \text{ Мг С га}^{-1}$) среднее содержание $C_{\text{неорг}}$ на работающих пашнях резко уменьшается и составляет $2,6 \pm 2,1 \text{ Мг С га}^{-1}$. Наибольшее содержание карбонатного углерода наблюдается на заброшенных пашнях, в среднем составляя $11,1 \pm 11,2 \text{ Мг С га}^{-1}$. Объединив $C_{\text{орг}}$ и $C_{\text{неорг}}$, мы получаем общее содержание углерода ($C_{\text{общ}}$) в измеренных почвах, которое показывает резкое уменьшение содержания почвенного C на рабочих пашнях по сравнению с почвами под лесами и на заброшенных пашнях. Почвы на заброшенных пахотных землях демонстрируют стабильное увеличение $C_{\text{общ}}$ в зависимости от возраста. Анализ ANOVA показывает значительную разницу $C_{\text{общ}}$ между рабочими и заброшенными пашнями.

Как показывают полученные результаты, скорость накопления $C_{\text{общ}}$ в заброшенных пахотных землях в течение первых 5 лет равняется $2,29 \pm 1,31 \text{ Мг С га}^{-1} \text{ год}^{-1}$. Последующие 20 и 36 лет восстанавливающиеся пахотные земли имеют тенденцию снижения скорости накопления $C_{\text{общ}}$ со средними $1,01 \pm 0,76$ и $0,64 \pm 0,43 \text{ Мг С га}^{-1} \text{ год}^{-1}$ соответственно. Полученные данные выше, чем сообщалось Кургановой и др. [14], где средняя скорость накопления C (по всей России) в верхних 20 см минеральной почвы составляла $0,96 \text{ Мг С га}^{-1} \text{ год}^{-1}$ в течение первых 20 лет после забрасывания, и $0,19 \text{ Мг С га}^{-1} \text{ год}^{-1}$ в течение последующих 30 лет постагрогенной эволюции и восстановления естественной растительности.

Определенный интерес представляет то, что заброшенные в одно и то же время пахотные земли зарастают или луговыми сообществами, или подростом лесной растительности. Этот вопрос требует дальнейшего изучения, поскольку основные параметры почв на луговых и лесных растительных участках не всегда одинаковы. Как

правило, они имеют некоторые различия в ОП, pH, влажности почвы и $C_{\text{общ}}$.

Заключение

Таким образом, полученные результаты показывают, что в Центральной Якутии при изъятии культивируемых земель из сельскохозяйственного оборота происходит постепенное восстановление естественной структуры и улучшение физико-химических свойств почв бывших пахотных угодий.

При этом, благодаря развитию дернового процесса, накоплению подземной и надземной фитомассы регенеративной сукцесией и соответственно, дополнительному поступлению разлагаемого органического остатка, содержание $C_{\text{общ}}$ в почвах заброшенных пахотных земель Центральной Якутии достигает первоначального уровня в течение 20 лет.

Работа выполнена в рамках государственного задания по проекту «Выявление обратимых и необратимых изменений почв и почвенного покрова мерзлотной области, характера естественных и антропогенных экологических процессов и разработка фундаментальных основ охраны почв и почвенного покрова криолитозоны в условиях возрастающего антропогенного пресса и глобальных изменений». Регистрационный номер: АААА-А17-117020110057-7. Направление 54 «Почвы как компонент биосферы (формирование, эволюция, экологические функции)» программы фундаментальных научных исследований государственных академий наук на 2013–2020 гг.

Список литературы

1. Houghton R.A., Goodale C.L. Effects of land-use change on the carbon balance of terrestrial ecosystems. *Ecosystems and Land Use Change*, 2004, vol.153, pp. 85–98.
2. Don A., Schumacher J., Freibauer A. Impact of tropical land-use change on soil organic carbon stocks—a meta-analysis. *Global Change Biol.*, 2011, no. 17, pp.1658–1670.
3. Guo L.B., Gifford R.M. Soil carbon stocks and land use change: a meta analysis. *Global Change Biol.*, 2002, no. 8, pp. 345–360.
4. Kalinina O., Barmin A.N., Chertov O., Dolgikh A.V., Goryachkin S.V., Lyuri D.I., Gianni L. Self-restoration of post-agrogenic soils of Calcisol–Solonetz complex: Soil development, carbon stock dynamics of carbon pools. *Geoderma*, 2015, vol. 237–238, pp. 117–128.
5. Государственный доклад о состоянии и охране окружающей среды Республики Саха (Якутия) за 2000 год / Министерство охраны природы Республики Саха (Якутия). – Якутск: Сахаполиграфиздат, 2015. – 164 с.
6. Десяткин Р.В. Почвообразование в термокарстовых котловинах – аласах криолитозоны / Р.В. Десяткин. – Новосибирск: Наука, 2008. – 324 с.
7. Еловская Л.Г. Почвы земледельческих районов Якутии и пути повышения их плодородия / Л.Г. Еловская. – Якутск: Якуткнигоиздат, 1964. – 76 с.

8. Коноровский А.К. Режимы мерзлотных пойменных почв долины Лены / А.К. Коноровский, отв. ред. Л.Г. Еловская. – Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1974. – 168 с.

9. Десяткин Р.В. Почвы Якутии / Р.В. Десяткин, М.В. Оконешникова, А.Р. Десяткин. – Якутск: Бичик, 2009. – 64 с.

10. Влияние влажности на стабильность органического вещества почв и растительных остатков / А.С. Тулина // Почвоведение. – 2009. – № 11. – С. 1333–1344.

11. Сравнительная оценка содержания углерода в постагрогенных почвах различных природно-климатических зон / Ю.И. Баева и [др.] // Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. – 2014. – Т. 28, № 2. – С. 27–39.

12. Ryzhova I.M., Erokhova A.A., Podvezennaya M.A. Dynamics and Structure of Carbon Storage in the Postagrogenic Ecosystems of the Southern Taiga. *Eurasian Soil Science*, 2014, vol. 47, no. 12, pp. 1207–1215.

13. Deng L., Wang K.B., Chen M.L., Shangguan Z.P., Sweeney S. Soil organic carbon storage capacity positively related to forest succession on the Loess Plateau, China. *Catena*, 2013, vol. 110, pp. 1–7.

14. Kurganova I., Lopes de Gerenyu V., Six J., Kuzyakov Y. Carbon cost of collective farming collapse in Russia. *Global Change Biology*, 2014, vol. 20, pp. 938–947.

15. Morris S., Bohm S., Haile-Mariam S., Paul E. Evaluation of carbon accrual in afforested agricultural soils. *Global Change Biology*, 2007, vol. 13, pp. 1145–1156.

References

1. Houghton R.A., Goodale C.L. Effects of land-use change on the carbon balance of terrestrial ecosystems. *Ecosystems and Land Use Change*, 2004, vol. 153, pp. 85–98.

2. Don A., Schumacher J., Freibauer A. Impact of tropical land-use change on soil organic carbon stocks—a meta-analysis. *Global Change Biol.*, 2011, no. 17, pp. 1658–1670.

3. Guo L.B., Gifford R.M. Soil carbon stocks and land use change: a meta-analysis. *Global Change Biol.*, 2002, no. 8, pp. 345–360.

4. Kalinina O., Barmin A.N., Chertov O., Dolgikh A.V., Goryachkin S.V., Lyuri D.I., Gianni L. Self-restoration of post-

agrogenic soils of Calciisol–Solonetz complex: Soil development, carbon stock dynamics of carbon pools. *Geoderma*, 2015, vol. 237–238, pp. 117–128.

5. Gosudarstvenny'j доклад o sostoyanii i ohrane okruzhayushhej sredy' Respubliki Saxa (Yakutiya) za 2000 god / Ministerstvo ohrany' prirody' Respubliki Saxa (Yakutiya). – Yakutsk: Saxapoligrafizdat, 2015. – 164 p.

6. Desyatkin R.V. Pochvoobrazovanie v termokarstovy'x kotlovinax – alasax kriolitozony' / R.V. Desyatkin. – Novosibirsk: Nauka, 2008. – 324 p.

7. Elovskaya L.G. Pochvy' zemledeľ'cheskix rajonov Yakutii i puti povy'sheniya ix plodorodiya / L.G. Elovskaya. – Yakutsk: Yakutknigoizdat, 1964. – 76 p.

8. Konorovskij A.K. Rezhimy' merzlotny'x pojmenny'x pochv doliny' Leny' / A.K. Konorovskij, отв. ред. L.G. Elovskaya. – Novosibirsk: Nauka. Sib. otd-nie, 1974. – 168 p.

9. Desyatkin R.V. Pochvy' Yakutii / R.V. Desyatkin, M.V. Okoneshnikova, A.R. Desyatkin. – Yakutsk: Bichik, 2009. – 64 p.

10. Vliyanie vlazhnosti na stabil'nost' organicheskogo veshhestva pochv i rastitel'ny'x ostatkov. / A.S. Tulina // Почвоведение. – 2009. – № 11. – С. 1333–1344.

11. Sravnitel'naya ocenka soderzhaniya ugleroda v postagrogenny'x pochvax razlichny'x prirodno-klimaticheskix zon / Yu.I. Baeva i [dr.] // Problemy' ekologicheskogo monitoringa i modelirovaniya ekosistem. – 2014. – Т. 28, № 2. – С. 27–39.

12. Ryzhova I.M., Erokhova A.A., Podvezennaya M.A. Dynamics and Structure of Carbon Storage in the Postagrogenic Ecosystems of the Southern Taiga. *Eurasian Soil Science*, 2014, vol. 47, no. 12, pp. 1207–1215.

13. Deng L., Wang K.B., Chen M.L., Shangguan Z.P., Sweeney S. Soil organic carbon storage capacity positively related to forest succession on the Loess Plateau, China. *Catena*, 2013, vol. 110, pp. 1–7.

14. Kurganova I., Lopes de Gerenyu V., Six J., Kuzyakov Y. Carbon cost of collective farming collapse in Russia. *Global Change Biology*, 2014, vol. 20, pp. 938–947.

15. Morris S., Bohm S., Haile-Mariam S., Paul E. Evaluation of carbon accrual in afforested agricultural soils. *Global Change Biology*, 2007, vol. 13, pp. 1145–1156.