

УДК 631.442.1:631.474

ИЗМЕНЕНИЕ СВОЙСТВ ПЕСЧАНОЙ ПОЧВЫ ПОСЛЕ КОНВЕРСИИ ПАХОТНЫХ УГОДИЙ В ДРУГИЕ ВИДЫ ЗЕМЛЕПОЛЬЗОВАНИЯ¹

© 2020 г. А. Казлаускайте-Ядзявиче^{1,*}, Л. Трипольская¹, Й. Волунгевичюс², Е. Бакшене¹

¹ Вокеский филиал Центра аграрных и лесных наук Литвы
Жалейи айкшите 2, Вильнюс 02232, Литва

² Вильнюсский университет, факультет химических и естественных наук
Университето 3, Вильнюс 01513, Литва

*E-mail: asta.kaz@gmail.com

Поступила в редакцию 23.04.2018 г.

После доработки 28.01.2019 г.

Принята к публикации 10.10.2019 г.

Обобщены данные исследования (1995–2015 гг.) изменения агрохимических свойств песчаной дерново-подзолистой почвы (*Arenosol*) при трансформации пахотных угодий в другие типы землепользования (культурный луг, залежь, сосновый лес). Установлено, что в условиях умеренного климата малоплодородные пахотные почвы целесообразно трансформировать в культурные луга, что позволяет увеличить секвестрацию углерода, регулировать режим питательных веществ и сохранить сельскохозяйственную деятельность. Формирование залежей предотвращает ухудшение агрохимических свойств почвы и способствует аккумуляции углерода. При облесении супесчаных почв хвойными породами деревьев ускоряются эллювиальные процессы, вызывающие увеличение ее кислотности и снижение концентрации питательных веществ.

Ключевые слова: тип землепользования, кислотность, подвижные фосфор и калий, органический углерод.

DOI: 10.31857/S0002188120010044

ВВЕДЕНИЕ

Изменение структуры землепользования сельхозугодий в Литве определяется необходимостью предотвратить деградацию малоплодородных пахотных почв и оптимизировать их использование, обеспечивающее улучшение свойств и экономическую целесообразность производства сельскохозяйственной продукции. Трансформация пахотных почв (ПП) в другие типы землепользования сопровождается изменением морфологических, физических, химических и биологических свойств почвы [1–3]. По мнению [4], при снижении антропогенной нагрузки вследствие изменения землепользования, благодаря саморегуляции агроэкосистемы и преобладающих зональных почвообразующих процессов, агрохимические свойства почв частично возвраща-

ются к своему первоначальному состоянию, однако восстановление абсолютно натурального состояния после интенсивного землепользования невозможно. В работе [5] установили, что признаки агрогенной деятельности в почвенном профиле остаются видны даже через 100 лет после прекращения аграрной деятельности. В исследованиях [6] доказано, что более четкие изменения агрогенной трансформации фиксируются в верхней части почвенного профиля (0–30–45 см), однако достоверные изменения морфологических и агрохимических свойств могут достигать глубины 100–150 см. Оценивая изменения агрохимических свойств супесчаных почв вследствие изменения землепользования, важно понять насколько быстро и сильно изменяются почвообразовательные процессы по отношению к фоновым почвам в конкретной почво-климатической зоне.

Территория Литвы расположена в зоне избыточного увлажнения, поэтому для преобладающих типов почв характерно снижение плодородия почвы из-за естественных процессов оподзоливания, лессиважа, декарбонизации и подкисления. Скорость и направленность этих

¹ Работа выполнена по долговременной программе научных исследований ЦАЛНЛ “Биопотенциал растений и качество для многофункционального использования” и является частью Национальной научной программы “Влияние долгосрочного различного интенсивности использования ресурсов на почвы различного генезиса и на другие компоненты агроэкосистем” [грант № SIT-9/2015], финансируемой Научным советом Литвы.

Таблица 1. Характеристика агрохимических свойств гумусного горизонта почвы экспериментального участка (1995 г.)

Тип землепользования	рН _{KCl}	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	C _{орг} , мг/кг
		мг/кг		%		
Пахотная почва (ПП)	6.0	188	194	0.73	0.35	9.5
Культурный луг (КЛ)	6.8	177	174	0.73	0.35	9.9
Залежь (ЗП)	6.0	157	170	0.73	0.39	9.9
Сосновый лес (СЛ)	6.0	168	192	0.73	0.39	9.7

процессов после изменения типа землепользования можно оценить по основным агрохимическим показателям, характеризующих плодородие почвы: концентрации питательных веществ и органического углерода, кислотности почвы.

Цель работы – изучение изменений агрохимических свойств сформировавшейся на флювиогляциальных отложениях супесчаной почвы вследствие трансформации пахотных угодий в другие виды землепользования (культурный луг, залежь, сосновый лес).

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Объект и место исследования. Эксперимент заложен в 1995 г. на дерново-подзолистой супесчаной почве, по классификации WRB 2014 [7] – *Arenosol* (54°33'49.8"N, 25°05'12.9"E). Она сформировалась на флювиогляциальных отложениях: верхняя часть профиля сложена из некарбонатной супеси, нижняя часть – из карбонатного гравия. Карбонатный слой залегает на глубине 60–80 см. Для данной почвы характерен профиль с горизонтами А–АВ–В1–В2–1Ск–2Ск [7]. Гранулометрический состав (по ФАО-ЮНЕСКО): 88.7–89.4% песка (63–2000 мкм), 8.2–8.8% пыли (2–63 мкм), 2.4–2.5% ила (<2 мкм) [8].

За период длительного сельскохозяйственного использования территории вследствие применения различных агротехнических приемов толщина гор. А увеличилась до 28 см, в то время как в расположенных рядом лесных насаждениях (фо-

новая почва) его толщина достигала только 22 см. Систематическое известкование и внесение удобрений снизило кислотность почвы до рН_{KCl} 6.0–6.8 и увеличило концентрацию питательных веществ: P₂O₅ – до 157–188 и K₂O – до 170–194 мг/кг (табл. 1), когда для фоновых почв данной местности характерна очень кислая реакция (рН ≈ 4.5) и низкое содержание фосфора и калия (≈100 мг/кг). Концентрация C_{орг} достигала 9.5–9.9 мг/кг, что характерно для почв легкого гранулометрического состава.

Схема эксперимента. Схема эксперимента включала 4 различных типа землепользования: 1 – контроль – пахотная почва (ПП) (1а – без удобрений, 1б – оптимальные дозы удобрений), 2 – культурный луг (КЛ) (2а – без удобрений, 2б – оптимальные дозы удобрений), 3 – залежь (ЗП), 4 – сосновый лес (СЛ) (рис. 1). Общая площадь каждой площадки землепользования составляла 400 м² (20 × 20 м). Площадка пахотной почвы и культурного луга была разделена на 2 части (по 200 м²) – удобряемую минеральными удобрениями и без удобрений.

На площадке пахотной почвы в 1995–2015 гг. выращивали рекомендованные для песчаных и супесчаных почв сельскохозяйственные культуры. Их соотношение в севообороте за период исследований составило: 38.1% злаковых зерновых (*Secale cereale* L, *Hordeum vulgare* L, *Triticosecale wittmack*, *Triticum aestivum* L.), 19.0% гречишных (*Fagopyrum esculentum* Moench), 14.3% многолетних

**Рис. 1.** Схема эксперимента.

бобовых трав (*Trifolium pratense* L.), 14.3% пропашных (*Solanum tuberosum* L.) и 14.3% других (*Brassica napus* L., *Lupinus angustifolius* L.). Растения удобряли минеральными NPK-удобрениями, дозы которых были рассчитаны по потребности выращиваемых растений и содержанию этих элементов в почве и в среднем составили: N0–100P30–60K30–120. В 1995 и 2000 гг. на удобряемой части севооборота был внесен навоз 40 т/га, после этого никаких органических удобрений не вносили. За весь период исследования (1995–2015 гг.) среднегодовая доза питательных веществ, внесенных с органическими и минеральными удобрениями, составила N62.7P53.0K77.1. В течение эксперимента в основном использовали простые удобрения ($N_{\text{аа}}$, $P_{\text{сг}}$, $K_{\text{х}}$). В севообороте применяли общепринятую для зоны агротехнику возделывания сельскохозяйственных культур.

На площадке культурного луга в 1995–2006 гг. выращивали смесь многолетних бобово-злаковых трав, которая состояла из люцерны (*Medicago varia* L.) и 4-х злаковых трав – овсяницы красной (*Festuca rubra* L.), костреца безостого (*Bromus inermis* Leyss.), ежи сборной (*Dactylis glomerata* L.) и мятлика лугового (*Poa pratensis* L.). В 2007 г. травостой был пересейан, и в 2007–2015 гг. выращивали аналогичную смесь многолетних трав, только ежа сборная была заменена на тимофеевку (*Phleum pratense* L.). Под травы вносили N60P90K120. За вегетационный период проводили 2 укоса трав.

На площадке с залежью в течение проведения эксперимента сформировался фитоценоз из натуральной травяной растительности, характерной для супесчаных почв данного региона. На площадке леса были высажены саженцы сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.). В 1995 г. было посажено 400 экз. (10 тыс. экз./га) саженцев, в 2015 г., после прореживания деревьев, плотность составила 3509 экз./га.

Лабораторные методы исследования. Определение агрохимических свойств почвы было выполнено в 1995 г. (перед закладкой эксперимента) и в 2015 г. (через 21 год после изменения типа землепользования). На каждой площадке землепользования из гумусного горизонта (0–25 см) были взяты смешанные образцы почвы в 3-х повторностях ($n = 36$).

В почвенных образцах определяли: pH_{KCl} – ISO 10390:2005 потенциметрическим методом (в суспензии 1 м KCl/л), содержание органического C ($C_{\text{орг}}$) – ISO 10694:1995, подвижных P_2O_5 и K_2O – методом Эгнера–Римо–Доминго (A–L

метод); обменного кальция и магния – методом атомной абсорбции (ГОСТ 26208-84).

Результаты эксперимента обработаны методом дисперсионного анализа. Существенность различий между вариантами оценена при помощи критерия Фишера (F) и HCP при 5%-ном уровне значимости. Для агрохимических показателей также рассчитана стандартная ошибка средней (SE).

Метеорологические условия. Место проведения эксперимента относится к средней широте климатической зоны. Среднегодовая температура воздуха (стандартная климатическая норма – $СКН$) составляет 6.0°C , годовое количество осадков – 664 мм [9]. В период проведения эксперимента (1995–2015 гг.) избыточно влажными были годы, когда количество осадков превышало $СКН$ на 10%: 1998, 2005, 2009, 2010–2015 гг. В эти годы количество осадков варьировало от 731 до 976 мм. Только 1 год (1996 г.) был засушливый, осадков выпало на 28% меньше нормы (519 мм). В течение эксперимента температурный режим также очень отличался от $СКН$. Начиная с 1999 г., среднегодовая температура воздуха ежегодно превышала $СКН$ на 0.5 – 1.8°C . Особенно теплыми были 1999, 2000, 2006–2008 и 2013–2015 гг., температура воздуха была выше $СКН$ более, чем на 1°C .

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Кислотно-основные свойства почвы. Продолжая традиционное использование почвы для производства сельскохозяйственной продукции (площадка пахотной почвы) с оптимальным уровнем применения удобрений, кислотность почвы за 21 год снизилась с 6.0 ± 0.17 до 7.3 ± 0.06 ед. pH ($F_{\text{факт}} \geq F_{\text{теор}}$) (табл. 2). Снижение кислотности было установлено и в неудобряемой ПП. Существенное уменьшение кислотности без применения известковых материалов трудно объяснить. Однако в данном случае такие изменения могли быть связаны с нейтрализующим действием карбонатных частиц гравия, поступающих в верхний горизонт почвы из нижележащих карбонатных слоев в процессе обработки почвы, а также смягчающим действием кальция суперфосфата, примененного для удобрения культур. Аналогичные результаты уменьшения кислотности почвы в севооборотах по сравнению с лугами и лесными угодьями, описаны в работах [10–12]. Анализируя причины такого явления указывали, что снижение кислотности могло быть связано с разложением растительных остатков, в результате которого освобождающиеся ионы аммония нейтрализуют кислотность почвы. В почве ПП

Таблица 2. Агрохимические показатели свойств почвы спустя 21 год после трансформации пахотной почвы в другие типы землепользования

Тип землепользования	рН _{KCl}	Обменный Ca	Обменный Mg	Подвижный	
		мэкв/кг		P ₂ O ₅	K ₂ O
		мг/кг			
Пахотная почва без удобрений	7.3 ± 0.0	2780 ± 30	551 ± 8	153 ± 4	95 ± 8
Пахотная почва, удобрение NPK	7.3 ± 0.1	2260 ± 130	352 ± 9	232 ± 1	146 ± 2
Культурный луг без удобрений	6.1 ± 0.0	1100 ± 2	124 ± 5	84 ± 4	61 ± 1.5
Культурный луг, удобрение NPK	4.9 ± 0.0	848 ± 46	76 ± 1	210 ± 24	49 ± 0.6
Залежь	6.6 ± 0.0	1570 ± 30	224 ± 6	171 ± 0.6	123 ± 7
Сосновый лес	5.6 ± 0.1	916 ± 14	116 ± 3	126 ± 1	96 ± 4
<i>HCP</i> ₀₅	0.2	180	18.9	30	15

содержалось большое количество обменного кальция и магния – соответственно 2260 ± 130 мг Ca/кг и 352 ± 9 мг Mg/кг в удобренной почве и 2780 ± 30 мг Ca/кг и 551 ± 8 мг Mg/кг – в неудобренной. Более значительное снижение концентрации этих элементов при внесении удобрений ($P < 0.05$) обусловлено большим их выносом урожаем культур севооборота.

При трансформации ПП в КЛ, травостой которого был сформирован из люцерны и злаковых трав, кислотность гор. А за 21 год увеличилась с 6.8 ± 0.17 до 6.1 ± 0.00 ед. рН в неудобренной почве и до 4.9 ± 0.00 ед. рН в удобренной ($P < 0.05$). Различная степень снижения кислотности обусловлена интенсивным поглощением кальция и магния почвы многолетними травами. На удобренной площадке, урожай трав был в 1.71 раза больше, чем без применения удобрений, соответственно и вынос кальция и магния биомассой трав был значительно выше. За период проведения исследования с урожаем трав из почвы на удобренной площадке было удалено 1550 кг $Ca^{2+} + Mg^{2+}$ /га, без применения удобрений – 913 кг $Ca^{2+} + Mg^{2+}$ /га, что отразилось на изменениях величины рН почвы и содержании обменных катионов в почве КЛ.

В почве КЛ концентрация Ca^{2+} и Mg^{2+} была более чем в 2 раза меньше ($P < 0.05$), по сравнению с почвой ПП. Снижение кислотности в почве КЛ также было обусловлено и вымыванием кальция в подпахотные горизонты, на величину которого влиял возраст травостоя. По данным [13], с увеличением возраста травостоя и в зависимости от доли бобовых, потери кальция от вымывания могут возрасти в 5–6 раз: с 15–22 кг Ca^{2+} /га в первый год пользования до 92–104 кг/га на 4-й год. В данном эксперименте травы без пересева выращивали 10 лет, и это могло увеличить выщелачивание

Ca^{2+} и Mg^{2+} и способствовать более быстрому подкислению почвы. Противоположные процессы изменения рН происходили при трансформации ПП в ЗП, на которой развивался натуральный фитоценоз. При таком землепользовании за 21-летний период кислотность почвы уменьшилась с 6.0 ± 0.17 до 6.6 ± 0.03 рН ($F_{\text{факт}} \geq F_{\text{теор}}$). В противоположность КЛ, в ЗП надземную часть растительности не удаляли, и она после завершения вегетации минерализовалась на поверхности почвы, освобождая щелочноземельные элементы, которые частично компенсировали потери от выщелачивания. В результате этого содержание обменного кальция и магния в ЗП в 2015 г. было соответственно на 42.6 и 80.6% больше по сравнению с почвой неудобренного КЛ.

Трансформация пашни в сосновый лес за 21 год привела к подкислению гор. А на 0.4 ед. рН ($F_{\text{факт}} \geq F_{\text{теор}}$). Процесс подкисления был обусловлен 3-мя факторами – поглощением кальция и магния деревьями сосны для формирования биомассы, их выщелачиванием и подкисляющим действием органических кислот, образующихся в процессе разложения опада сосны. По сравнению с залежью, в почве СЛ содержание обменного кальция было меньше на 71.4, обменного магния – на 93%. Исследования, выполненные российскими учеными, показали, что через 17 лет после посадки соснового леса кислотность почвы увеличилась на 1.9 ед. рН [5]. Аналогичные данные о влиянии лесонасаждений на кислотность почвы представлены в работах [14, 15]. Таким образом, при конверсии пахотной почвы в сосновый лес усиливались характерные для дерново-подзолистых почв эллювиальные процессы, что не способствовало стабилизации их плодородия. Это зональные почвообразовательные процессы данной географической широты, характеризующие

начальные процессы ренатурализации агрогенной почвы.

Подвижный фосфор и калий. Концентрация подвижных фосфора и калия в почве разного типа землепользования зависела от баланса внесения и отторжения этих элементов в период проведения эксперимента и от их сорбции почвенными коллоидами.

Вследствие выноса элементов урожаем культур и вымывания в нижележащие слои в гор. А пахотной почвы концентрация P_2O_5 без применения удобрений снизилась на 35 мг/кг ($F_{\text{факт}} \geq F_{\text{теор}}$), K_2O – на 99 мг/кг ($F_{\text{факт}} \geq F_{\text{теор}}$). Более значительное уменьшение концентрации калия по сравнению с фосфором связано с большим выносом этого элемента урожаем и более интенсивным вымыванием из пахотного горизонта [16]. Внесение оптимальных доз НРК и навоза (среднегодовая доза N63P53K71) способствовало накоплению подвижного фосфора в почве, и его концентрация за 21 год увеличилась на 44 мг P_2O_5 /кг ($F_{\text{факт}} \geq F_{\text{теор}}$). Однако внесенных доз калийных удобрений было недостаточно, они не компенсировали его вынос урожаем, и концентрация подвижного калия снизилась за этот период на 48 мг/кг ($F_{\text{факт}} \geq F_{\text{теор}}$). На неудобренной пахотной почве снижение концентрации было в 2.06 раза больше.

В почве КЛ, по сравнению с ПП, изменения концентрации питательных веществ были несколько иными. При положительном балансе происходила аккумуляция подвижных соединений фосфора в гор. А, и через 21 год после начала эксперимента в удобренной почве его концентрация увеличилась на 33 мг/кг ($F_{\text{факт}} \geq F_{\text{теор}}$), в неудобренной – снизилась на 93 мг/кг ($F_{\text{факт}} \geq F_{\text{теор}}$). В противоположность фосфору, содержание калия в гор. Аh уменьшилось как в удобренной, так и в неудобренной почве, хотя внесенное количество калия с удобрениями полностью восполняло его вынос биомассой трав. Возможно, уменьшение концентрации калия было связано с более интенсивным его выщелачиванием в почве луговых угодий.

В залежной почве происходила постепенная аккумуляция фосфора, и за 21 год его концентрация в гор. А увеличилась на 14 мг/кг ($F_{\text{факт}} \geq F_{\text{теор}}$). Растения фитоценоза, поглощая фосфор из более глубоких слоев, связывали его в биомассе, при разложении которой в дальнейшем образовывались подвижные соединения фосфора, накапливаясь в верхнем горизонте почвы. Аналогичный процесс происходил и с калием, только из-за более слабой сорбции его соединений в супесчаной

почве концентрация подвижного калия за 21 год в гор. А снизилась на 47 мг/кг ($F_{\text{факт}} \geq F_{\text{теор}}$).

В почве под сосновым лесом содержание подвижного фосфора за период проведения эксперимента снизилось на 42 мг/кг ($F_{\text{факт}} \geq F_{\text{теор}}$), подвижного калия – на 96 мг/кг ($F_{\text{факт}} \geq F_{\text{теор}}$), т.к. поглощаемые деревьями элементы на длительное время остаются связанными в биомассе деревьев и не возвращаются в почву, как это происходит при минерализации травянистой растительности залежи.

Органический углерод. Конверсия ПП в другие виды землепользования отразилась на процессах минерализации и гумификации растительных остатков, скорость и направленность которых зависела от количества и биохимического состава растительности, а также от обработки почвы. Как и следовало ожидать, дальнейшее использование супесчаной почвы в качестве пахотной без применения органических удобрений сопровождалось снижением содержания $C_{\text{орг}}$, и за 21 год оно уменьшилось на 0.7 мг/кг ($F_{\text{факт}} \geq F_{\text{теор}}$) (рис. 2). Частично запасы $C_{\text{орг}}$ восстанавливались за счет выращивания в севообороте многолетних трав и бобовых культур, однако этого было недостаточно для полного восстановления запасов *ОВ*. Без применения удобрений потери $C_{\text{орг}}$ в ПП были более значительными, и его концентрация снизилась на 2.7 мг/кг ($F_{\text{факт}} \geq F_{\text{теор}}$), что было связано с меньшим поступлением растительных остатков в неудобренную почву.

Полученные результаты подтвердили выводы выполненных в разных странах исследований, что в пахотных почвах легкого гранулометрического состава аккумуляция $C_{\text{орг}}$ достигается только при внесении навоза и выращивании бобово-злаковых травосмесей [17–19]. В почвах тяжелого гранулометрического состава, которые обладают более сильной сорбцией, минерализация *ОВ* происходит более медленно, стабилизировать или увеличить его накопление возможно, применяя зеленое удобрение и солому [20].

Залужение пахотной почвы снизило темпы минерализации *ОВ*, и даже без внесения удобрений за 21 год в гор. А его концентрация уменьшилась незначительно – только на 0.5 мг/кг ($F_{\text{факт}} \geq F_{\text{теор}}$), в то время как в неудобренной ПП потери были в 5 раз больше. Многие исследователи подтверждают, что для луговых фитоценозов характерна аккумуляция $C_{\text{орг}}$ в почве [21, 22]. В работе [23] установили, что более интенсивное накопление $C_{\text{орг}}$ в почве происходит при выращивании нескольких видов трав, и соотношение функцио-

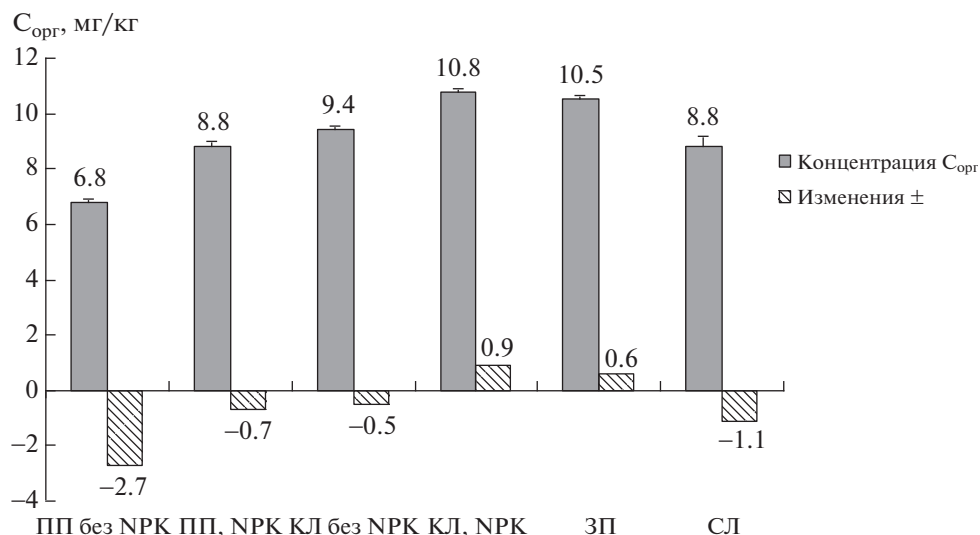


Рис. 2. Концентрация $C_{орг}$ (C , мг/кг $\pm Sx$) в почве после трансформации пахотной почвы в другие типы землепользования (2015 г.).

нальных групп важно для сохранения запасов углерода и азота в луговой почве. В данном эксперименте в удобренной почве луга концентрация $C_{орг}$ за 21 год увеличилась на 0.9 мг/кг ($F_{факт} \geq F_{теор}$). Следует отметить и тот факт, что в луговой почве также увеличилась толщина гор. А. Только за счет минерализации отмирающей части корневой системы и послеуборочных остатков трав толщина гор. А в неудобренной почве за 21 год увеличилась на 2 см, а в удобренной – на 4 см, что было связано с формированием более обильной корневой системы и надземной массы при внесении минеральных удобрений. В работе [24] утверждали, что в луговых фитоценозах аккумуляция $C_{орг}$ зависит от величины биомассы корневых систем растений, и комбинация основных бобово-злаковых трав с C_4 -типом фотосинтеза позволяет увеличить накопление углерода в экосистеме.

В ЗП, как и в почве КЛ, за 21 год также значительно увеличилась толщина гор. Аh (на 4–6 см) и концентрация $C_{орг}$ (на 0.6 мг/кг, $F_{факт} \geq F_{теор}$). Хотя на ЗП формируется менее продуктивная по сравнению с КЛ натуральная травяная растительность, однако ее надземная часть не удаляется с поля, и завершившие вегетацию растения минерализуются на поверхности почвы. Это определяет более значительное накопление $C_{орг}$ в гор. А по сравнению с почвой КЛ. В работе [25] установили, что скорость накопления $C_{орг}$ в травяных фитоценозах зависит от типа растительности. При формировании на пахотной почве натуральной залежи запасы $C_{орг}$ в слое 0–20 см за 6 лет увели-

чились на 5.1%, а когда пахотная земля было преобразована в культурный травостой и потом превращена в залежь, запасы $C_{орг}$ увеличились на 22.6%.

При облесении малопродуктивных пахотных земель существенно изменяется цикл углерода в экосистеме. Его аккумуляция концентрируется в биомассе деревьев, а запасы в почве пополняются в основном за счет углерода микробы и опада деревьев. Роль корневых систем в процессе накопления $C_{орг}$ уменьшается. По данным эксперимента, в супесчаной почве под СЛ за 21 год концентрация $C_{орг}$ снизилась на 0.9 мг/кг ($F_{факт} \geq F_{теор}$), но при этом на 3 см увеличилась толщина гор. Аh. По сравнению с ПП облесение помогло снизить интенсивность минерализации OB почвы в 3 раза ($P < 0.05$), однако было менее эффективным по сравнению с ЗП и КЛ. Аналогичные данные приведены в работе [26]. Установили, что лесонасаждение хвойными разновидностями деревьев помогает накопить и сохранить в почве запасы углерода, но даже спустя несколько десятилетий после преобразования пахотного угодья в лес, этот эффект был выражен слабо и не компенсировал потери $C_{орг}$ из-за предыдущего активного культивирования. Сравнивая темпы аккумуляции $C_{орг}$ в почве, полагают, что в луговых фитоценозах этот процесс идет более активно за счет сильной и хорошо развитой корневой системы трав [27, 28]. В работе [29] уточнили, что в хвойных лесах процесс накопления $C_{орг}$ зависит от возврата насаждений. В молодых лесах (до 30 лет) наблюдают сокращение запасов OB почвы, а в ле-

сах старше 30 лет — их увеличение, что связано с количеством опада, которое зависит от возраста деревьев и его биохимического состава.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Трансформация малопродуктивных пахотных угодий в другие типы землепользования в первую очередь должна решать проблемы предотвращения деградации плодородия почвы и вместе с тем учитывать экологические, экономические и социальные последствия изменения сельскохозяйственной деятельности. Результаты эксперимента выявили, что в умеренном климате, после конверсии пахотной земли в другие типы землепользования происходит разнонаправленное изменение агрохимических свойств почвы. С точки зрения стабилизации плодородия более эффективным является формирование залежей. Этот тип землепользования ускоряет секвестрацию $C_{орг}$ (+0.03 мг/кг в год), не увеличивает кислотность почвы, позволяет сохранить исходное содержание питательных веществ (за исключением легковывешелачиваемых элементов). Однако, такой тип землепользования предусматривает отказ от сельскохозяйственной деятельности и экономически убыточен.

Конверсия пахотной почвы в хвойный лес усиливает элливиальные процессы, что отрицательно влияет на ее агрохимические свойства: увеличивается кислотность почвы (–0.02 ед. pH_{KCl} в год), снижается концентрация питательных веществ и в первоначальный период — концентрация $C_{орг}$. Таким образом, при облесении происходит дальнейшая деградация ранее окультуренной пахотной почвы.

Учитывая экологические и экономические аспекты, в зоне умеренного климата малопродуктивные пахотные угодья целесообразно трансформировать в культурные луга. Такой тип землепользования способствует увеличению секвестрации углерода в почве (+0.04 мг/кг в год), позволяет повысить продуктивность растений и сохранить сельскохозяйственную деятельность. Однако при залужении пахотных земель увеличивается поглощение растениями базовых элементов и их вымывание из гумусного горизонта почвы, вследствие чего ухудшаются агрохимические показатели: увеличивается кислотность (–0.09 ед. pH_{KCl} в год), значительно уменьшается концентрация подвижного калия и обменного кальция. При этом типе землепользования для поддержания почвенного плодородия и продуктивности растений, необходимо применение минеральных удобрений и мелиорантов.

Благодарим доктора М. Петрова и доктора С. Марцинкониса, принимавших участие в выполнении эксперимента в 1995–2012 гг.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Прокофьева Т.В., Попутников В.О. Антропогенная трансформация почв парка Покровское—Стрешнево (г. Москва) и прилегающих жилых кварталов // Почвоведение. 2010. № 6. С. 748–758.
2. Новикова А.Ф., Конюшкова М.В. Антропогенная трансформация почв северных Ергеней (исследования на первом опытном участке Аршань-Зельменского стационара) // Почвоведение. 2013. № 3. С. 268–281.
3. Kalinina O., Goryachkin S.V., Krause S.E., Lyuri D.I., Giani L. Chronosequential alterations of properties of post-agrogenic Chernozems of the Kursk steppe zone of Russia under self-restoration // Proceedings of the 19th World Congress of Soil Science: Soil solutions for a changing world, Brisbane, Australia, 2010. P. 21–24.
4. Lv H., Liang Z. Dynamics of soil organic carbon and dissolved organic carbon in Robina pseudoacacia forests // J. Soil Sci. Plant Nutr. 2012. V. 12. № 4. P. 763–774.
5. Kalinina O., Chertov O., Dolgikh A.V., Goryachkin S.V., Lyuri D.I., Vormstein S., Giani L. Self-restoration of post-agrogenic Albeluvisols: soil development, carbon stocks and dynamics of carbon pools // Geoderma. 2014. V. 207–208. P. 117–128.
6. Veenstra J.J., Burras C.L. Soil profile transformation after 50 years of agricultural land use // Soil Sci. Soc. Amer. J. 2015. V. 79. № 4. P. 1154–1162.
7. World reference base for soil resources 2014. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. World Soil Resources Reports. No. 106. FAO, Rome.
8. Guidelines for soil description. FAO, Rome. 2006. 109 p.
9. Galvonaitė A., Misiūnienė M., Valiukas D., Buitkuvienė M.S. Lietuvos klimatas. Monografija. 2007. Vilnius, 207 p.
10. Yimer F., Ledin S., Abdulakdir A. Changes in soil organic carbon and total nitrogen contents in three adjacent land use types in the Bale Mountains, southeastern highlands of Ethiopia // Forest Ecol. Manag. 2007. V. 242. P. 337–342.
11. Duguma L.A., Hager H., Sieghardt M. Effects of land use types on soil chemical properties in smallholder farmers of Central Highland Ethiopia // Ekologia (Bratislava). 2010. V. 29. № 1. P. 1–14.
12. Xu J.M., Tang C., Chen Z.L. The role of plant in pH change of acid soils differing in initial pH // Soil Biol. Biochem. 2006. V. 38. № 4. P. 709–719.
13. Семенов Н.А., Муромцев Н.А. Влияние запаханной дернины на продуктивность трав и инфильтрационные потери химических элементов // Бюл. Почв. ин-та им. В.В. Докучаева. 2006. № 58. С. 39–44.
14. Holubík O., Podrázský V., Vopravil J., Khel T., Remeš J. Effect of agricultural lands afforestation and tree species composition on the soil reaction, total organic carbon and nitrogen content in the uppermost mineral soil profile // Soil Water Res. 2014. V. 9. P. 192–200.

15. Мостовая А.С., Курганова И.Н., Лонес Де Гереню В.О., Хохлова О.С., Русаков А.В., Шаповалов А.С. Изменение микробиологической активности серых лесных почв в процессе естественного лесовосстановления // Вестн. Воронеж. гос. ун-та. Сер. химия. биология. фармацевтика. 2015. № 2. С. 64–72.
16. Tripolskaja L., Verbyliene I., Razukas A., Bakšienė E., Sidlauskas G. Changes in cation migration in Luvisol resulting from the application of different forms of mineral fertilizers // J. Food Agric. Environ. 2014. V. 12. № 2. P. 701–705.
17. Jin Z., Dong Y., Wang Y., Wei X., Wang Y., Cui B., Zhou W. Natural vegetation restoration is more beneficial to soil surface organic and inorganic carbon sequestration than tree plantation on the Loess Plateau of China // Sci. Total Environ. 2014. V. 485–486. P. 615–623.
18. Katterer T., Bolinder M.A., Berglund K., Kirchmann H. Strategies for carbon sequestration in agricultural soil in northern Europe // Acta Agr. Scand. 2012. V. 62. № 4. P. 181–198.
19. Lal R. Soil carbon management and climate change // Carbon Manag. 2013. V. 4. № 4. P. 439–462.
20. Tripolskaja L., Mašauskas V., Adomaitis T., Karčauskienė D., Vaišvila Z. Agroekosistemų komponentų valdymas. Ilgalaikių agrocheminių tyrimų rezultatai. Monografija. Kėdainių r., Akademija, 2010. 567 p.
21. Stypinski P., Mastalerz G. Carbon sequestration by polish grassland biomass // Grassland Sci. Europ. 2006. V. 11. P. 763–765.
22. Barančíková G., Makovníková J., Halas J. Effect of land use change on soil organic carbon // Agriculture (Poľnohospodárstvo). 2016. V. 62. № 1. P. 10–18.
23. De Deyn G.B., Quirk H., Yi Z., Oakley S., Ostle N.J., Bardgett R.D. Vegetation composition promotes carbon and nitrogen storage in model grassland communities of contrasting soil fertility // J. Ecol. 2009. V. 97. № 5. P. 864–875.
24. Fornara D.A., Tilman D. Plant functional composition in Xuences rates of soil carbon and nitrogen accumulation // J. Ecol. 2008. V. 96. P. 314–322.
25. Zhang L., Xie Z., Zhao R., Wang Y. The impact of land use change on soil organic carbon and labile organic carbon stocks in the Longzhong region of loess Plateau // J. Arid. Land. 2012. V. 4. № 3. P. 241–250.
26. Zhiyanski M., Glushkova M., Ferezliev A., Menichetti L., Leifeld J. Carbon storage and soil property changes following afforestation in mountain ecosystems of the Western Rhodopes, Bulgaria // Forest. 2015. V. 9. P. 626–634.
27. Conant R.T., Cerri C.E.P., Osborne B.B., Paustian K. Grassland management impacts on soil carbon stocks: a new synthesis // Ecol. Appl. 2017. V. 27. P. 662–668.
28. Wei J., Cheng J., Li W., Liu W. Comparing the effect of naturally restored forest and grassland on carbon sequestration and its vertical distribution in the Chinese Loess Plateau // PLoS ONE. 2012. V. 7. № 7. P. 1–8.
29. Barcena T.G., Kier L.P., Vesterdal L., Stefansdottir H.M., Gundersen P., Sigurdsson B.D. Soil carbon stock change following afforestation in Northern Europe: a meta-analysis // Global Change Biol. 2014. V. 18. P. 2393–2405.

Changes of Loamy Sand Soil Properties Following Conversion of Arable Soils to Other Land Use Types

A. Kazlauskaitė-Jadzevice^{a, #}, L. Tripolskaja^a, J. Volungevičius^b, and E. Bakšienė^a

^aLithuanian Research Centre for Agriculture and Forestry, Voke Branch (Lithuania)
Vilnius, Lithuania

^bVilnius University, Faculty of Chemistry and Geosciences (Lithuania)
Vilnius, Lithuania

[#]E-mail: asta.kaz@gmail.com

The experimental results (1995–2015) showed the agrochemical properties changes in loamy sand *Arenosol* associated with arable land transformation into other types of land uses (managed grassland, agriculture abandonment, pine afforested). It has been determined that low productivity arable land transformation into managed grassland in a temperate climate zone has a good effect on soil organic carbon sequestration, improves regulation of nutrients regime and allows preserve agricultural activity. Transformation into abandonment of agricultural lands may be the best ways to encourage the soil fertility, especially enlarge accumulation of carbon in soil. Afforestation in loamy sand with coniferous (pine) species accelerates eluvial processes that leads to the soil fertility degradation (increase acidity, decrease concentration of available plant nutrition).

Key words: land use, acidity, available phosphorus and potassium, organic carbon.