

**ВЛИЯНИЕ СПОСОБА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ОСВОЕНИЯ
НА ДИНАМИКУ БИОЛОГИЧЕСКОГО КРУГОВОРОТА
И РЯДА ПОЧВЕННЫХ СВОЙСТВ В ХОДЕ
ПОСТАГРОГЕННОЙ СУКЦЕССИИ (КОСТРОМСКАЯ ОБЛАСТЬ)**

© 2019 г. В. М. Телеснина^{1, *}, М. А. Жуков^{2, **}

¹МГУ им. М.В. Ломоносова, Ленинские горы, 1, Москва, 119991 Россия

²Агентство системного анализа природных рисков (АНО «Геориск»), Б. Грузинская, 10, Москва, 123995 Россия

*e-mail: vtelesnina@mail.ru

**e-mail: nkcever@gmail.com

Поступила в редакцию 22.03.2018 г.

После доработки 15.11.2018 г.

Принята к публикации 26.12.2018 г.

Изучены особенности постагрогенной динамики показателей биологического круговорота и свойств почв на примере трех хронорядов в Костромской области: зарастающей пашни на супесчаной двучленной почве (Retic Albic Podzols (Anoagenic, Endoloamic, Ochric)), зарастающего хорошо удобренного частного огорода на супесчаной двучленной почве (Plaggic Podzols (Anoagenic, Endoloamic, Humic)) и зарастающего сенокоса, развитого на бывшей пашне на суглинистой почве (Albic Retisols (Loamic, Ochric)). Постагрогенная динамика кислотности и содержания органического углерода в почве определяется скоростью сукцессии, зависящей от степени окультуренности почвы в прошлом. При зарастании бедных песчаных агродерново-подзолов тренд изменения кислотности и содержания углерода адекватно отражается соотношением разных экологических групп в составе напочвенного покрова. При восстановлении лесной растительности на бывших сельскохозяйственных угодьях запас органического углерода в биогеоценозе через 35–40 лет возрастает с 30–40 до 120 т/га. При зарастании хорошо удобренных навозом частных огородов, где лесная растительность не восстанавливается в течение долгого времени, исходный запас углерода, составляющий 100–120 т/га, сохраняется на протяжении как минимум 35 лет.

Ключевые слова: постагрогенные почвы, демутиация растительности, запасы углерода

DOI: 10.1134/S0032180X1907013X

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время на территории России большая площадь пахотных земель выведена из сельскохозяйственного использования [18]. Смена растительности после прекращения освоения играет ведущую роль в постагрогенной трансформации почв [51], что особенно актуально при лесовосстановлении. Существенное значение в ходе сукцессий играют как режим использования бывших сельскохозяйственных угодий, так и банк семян в постагрогенных почвах [27]. Состав древостоя на ранних стадиях сукцессии и скорость его возобновления, прежде всего, определяются спецификой освоения в прошлом [6, 24]. Люри с соавт. [18] изучены закономерности лесовосстановления в разных подзонах на разных почвообразующих породах. Выявлено влияние характера почвообразующей породы на скорость восстановления древостоя и его состав. К настоящему времени изменение травяной растительно-

сти при постагрогенном лесовосстановлении исследовано в значительно меньшей степени по сравнению с динамикой роста древостоя [25], тогда как именно травяно-кустарничковый ярус наиболее четко отражает смену экологических условий [11]. В связи с этим многие вопросы постагрогенной динамики травостоя до сих пор остаются открытыми.

При зарастании заброшенных угодий в значительной степени изменяются основные физические, химические и биологические свойства почв, причем эти изменения охватывают, главным образом, верхнюю старопашотную толщу почвы [20, 35, 42]. С наибольшей скоростью изменяются и быстрее всего восстанавливаются в процессе сукцессии такие свойства, как кислотность и содержание обменных оснований [3, 46]. Вместе с тем, некоторые признаки освоения сохраняются под лесом довольно долго, например, повышенное содержание питательных элементов

и гумуса [16]. Выход почвы из обработки и переход в залежь приводит к существенным изменениям в содержании органического вещества, порой отмечаются разнообразные и даже противоречивые тенденции в изменении этих показателей [15, 31, 40], поскольку на постагрогенную динамику в ходе естественного лесовосстановления влияет много факторов одновременно [4, 17]. Постагрогенные почвы через некоторое время после прекращения распашки становятся стоком углерода атмосферы [12, 46]. Более того, установлена определенная зависимость между возрастом залежи и скоростью постагрогенного накопления углерода в почве [12, 47]. При естественном лесовосстановлении общий запас углерода экосистемы увеличивается [41], но характер и скорость изменения запасов углерода в почве не так однозначны, так как определяются характером сельскохозяйственного использования в прошлом и нативными свойствами почвы [33, 43].

Взаимосвязь между растительностью и свойствами почвы в ходе постагрогенеза осуществляется посредством изменения количества и состава поступающего опада. Происхождение большинства элементов питания в почве связано с растительными остатками, а рост и активность всех групп микроорганизмов — с поступлением свежего органического материала [39]. При большом числе работ, посвященных постагрогенной эволюции почв [9, 18, 19, 32], и работ по демутиационной динамике растительности [6, 25, 50, 52], в настоящее время мало изучена динамика биологического круговорота в ходе демутиационной сукцессии, и вообще его специфика для постагрогенных экосистем. Мало затрагиваются вопросы взаимосвязи демутиационной динамики растительности с почвенными условиями, в то время как сукцессии, особенно лесовосстановительные, не могут не отражаться на динамике морфологических, физико-химических, химических и микробиологических свойств почв, которые наблюдаются с разной отчетливостью [44]. При исследовании постагрогенного развития почв важно понимание зависимости направления и скорости этого развития от характера использования. Несомненно, недостаточное удобрение почв колхозных пашен и ежегодное внесение навоза в почвы частных огородов, найдет выражение в различии постагрогенной динамики как растительности, так и почв. При том, в каких масштабах в настоящее время происходит забрасывание частных приусадебных хозяйств в деревнях по социально-экономическим причинам, трудно переоценить вклад постагрогенной эволюции почв подобных участков в биогеохимический цикл углерода.

Цель настоящей работы — выявить особенности постагрогенной динамики некоторых показателей биологического круговорота и почвенных свойств при разных типах сельскохозяйственного освоения во взаимосвязи с динамикой раститель-

ности. Для этого были поставлены следующие задачи: 1 — дать сравнительную характеристику кислотности, а также содержания и запасов органического углерода в почвах разных стадий сукцессии при зарастании сенокосного луга, пашни и частного огорода; 2 — подробно изучить видовой и эколого-ценотический состав растительности на всех стадиях постагрогенных сукцессий; 3 — определить показатели биологического круговорота (биомассу разных фракций древостоя, корневой и надземной массы травяного или травяно-кустарничкового яруса, запасы легкоразлагаемого опада); 4 — оценить запасы органического углерода в основных экосистемных пулах; 5 — осуществить анализ взаимосвязей между динамикой изученных свойств почв и изменениями растительного покрова в ходе постагрогенной эволюции.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Исследования проводили на территории Мантуровского района Костромской области на правом берегу р. Унжа. Район характеризуется большим разнообразием почвообразующих пород, обусловленным четвертичной историей и деятельностью рек. Согласно ботанико-географическому районированию [26], его территория входит в подзону южно-таежных лесов северо-европейской провинции евразийской таежной области. Коренная растительность — темнохвойные еловые, сосново-еловые и пихтово-еловые леса бореального и субнеморального типа. Территория относится к северо-восточной подобласти атлантико-континентальной лесной области. Среднегодовая температура воздуха — 2.1°C, среднегодовое количество осадков 564 мм. Почвообразующие породы — ледниковые и водно-ледниковые отложения [2], чаще всего двучлены — пески, залегающие на глинистой морене. Объекты исследования представляют собой три хроноряды — зарастающие пашня, сенокос и частный огород (табл. 1).

Зарастающий сенокос расположен в 7 км от русла р. Унжа и представляет собой луг, окруженный лесом. Почвообразующие породы — опесчаненный легкий суглинок, подстилаемый моренными тяжелыми суглинками на глубине 30–35 см. Основная часть территории распахана в 70–80-х гг. на несколько лет, после чего долго использовалась как сенокос. Площадь покоса постепенно сокращалась, в результате луг начал зарастать лесом. Выделены 4 стадии зарастания: 1 — луг, косившийся последний раз 2–3 года назад; 2 — луг, который последний раз был выкошен около 12 лет назад — в 2012 г. уже сформирован древостой высотой до 2.5 м; 3 — сомкнутый ивово-березовый лес, возраст которого составляет 20–22 года; 4 — березово-еловый лес примерно 95-летнего возраста (фон).

Таблица 1. Стадии сукцессии в исследованных хронорядях

Хроно- ряд	Стадия зарастания	Условное обозначение	Растительность	Почва [10]
Зарастающая пашня	Пашня	КП0	Посевы овса	Агродерново-подзол литобарьерный среднепахотный супесчаный на ледниковых отложениях/Retic Albic Podzol (Anoarenic, Endoloamic, Raptic, Ochric) (P(0–30)–Ehi(30–46)–Ef(46–66)–BF(66–72)–BC(72–100)). Глубина литологического контакта 70 см
	Залежь 7 лет	КП7(8)	Луг с преобладанием овсяницы красной, ежи сборной и ястребинки зонтичной	Агродерново-подзол реградированный литобарьерный среднепахотный супесчаный на ледниковых отложениях/Retic Albic Podzol (Anoarenic, Endoloamic, Raptic, Ochric) (AYpa(0–30)–Ehi(30–43)–Ef(43–67)–BF(67–105)). Глубина литологического контакта 70–75 см
	Залежь 12 лет	КП12(13)	Практически сформирован древостой из ивы козьей, в травостое овсяница красная, ситник нитевидный, грушанка круглолистная	Агродерново-подзол реградированный литобарьерный глееватый среднепахотный супесчаный на ледниковых отложениях/Retic Stagnic Albic Podzol (Anoarenic, Endoloamic, Raptic, Ochric) (AYpa(0–30)–Ehi(30–42)–Efg(42–55)–BFg(55–92)). Глубина литологического контакта 70 см
	Лес вторичный 40 лет	КП40	Осиново-березовый черничный лес	Дерново-подзол постагрогенный литобарьерный супесчаный на ледниковых отложениях/Retic Albic Podzol (Anoarenic, Endoloamic, Raptic, Ochric) ol (O(0–2)–AYpa(2–25)–Ehi(25–43)–Ef(43–64)–BF(64–110)). Глубина литологического контакта 64–70 см
	Лес 100 лет	КП100	Лес елово-березовый черничный с куртинами мха	Подзол грубогумусированный литобарьерный супесчаный на ледниковых отложениях/Retic Albic Podzol (Anoarenic, Endoloamic, Raptic) (O(0–4)–AH(4–6)–Ehi(6–22)–E(22–48)–Ef(48–60)–BF(60–97)). Глубина литологического контакта 70–74 см
Зарастающий сенокос	Луг, не косился 2 года	КС2	Луг с преобладанием зверобоя продырявленного и иван-чая	Агродерново-подзолистая реградированная среднепахотная легкосуглинистая на покровных суглинках, подстилаемых мореной/Albic Retisol (Loamic, Ochric) (AYpa(0–22)–EL(22–30)–BEL(30–57)–BT(57–80)–BC)
	Луг, не косился 12 лет	КС12(13)	Несомкнутый древостой высотой до 1.5–2 м из березы, осины, ольхи серой, сосны и ели. В травяном ярусе преобладают ястребинка зонтичная и манжетка	Агродерново-подзолистая реградированная среднепахотная легкосуглинистая на покровных суглинках, подстилаемых мореной/Albic Retisol (Loamic, Ochric) (AYpa(0–24)–EL(24–47)–BT(47–95)–BC)
	Вторичный лес 20 лет	КС20	Лес ивово-березовый. В напочвенном покрове папоротники и щучка дернистая	Дерново-подзолистая постагрогенная легкосуглинистая на покровных суглинках, подстилаемых мореной/Albic Retisol (Loamic, Ochric) (O(0–2)–AYpa(2–21)–EL(21–36)–BT(46–95)–BC)

Таблица 1. Окончание

Хроно- ряд	Стадия зарастания	Условное обозначение	Растительность	Почва [10]
	Лес 95 лет	КС95	Березово-еловый лес. В напочвенном покрове грушанка круглолистная и костяника	Дерново-подзолистая легкосуглинистая на покровных суглинках, подстилаемых мореной/Albic Retisol (Loamic, Ochric) (O (0–3)AYpa(3–25)–EL(25–39)–BT(39–65)–BC(65–106))
Зарастающий огород	Огород действующий	КО0	Посадки. Тыква и укроп, которые ежегодно убираются	Агрозем альфегумусовый среднепахотный супесчаный на ледниковых отложениях/Plaggic Podzol (Anoarenic, Endoloamic, Raptic, Humic) (P–Ae–BF...)
	Огород, заброшенный 4 года назад	КО4	Заросли крапивы	Агрозем альфегумусовый среднепахотный реградируемый супесчаный на ледниковых отложениях/Plaggic Podzol (Anoarenic, Endoloamic, Raptic, Humic) AYpa(0–30)–Ae(30–42)–BF(42–79). Глубина литологического контакта 60–70 см
	Огород, заброшенный 10 лет назад	КО10	Заросли крапивы и малины	Агрозем альфегумусовый среднепахотный реградируемый супесчаный на ледниковых отложениях/Plaggic Podzol (Anoarenic, Endoloamic, Raptic, Humic) (AYpa(0–30)–Ae(30–45)–BF(45–80)). Глубина литологического контакта 60–70 см
	Огород, заброшенный 20 лет назад	КО20	Заросли с преобладанием костра безостого и бодяка полевого	Агрозем альфегумусовый среднепахотный реградируемый супесчаный на ледниковых отложениях/Plaggic Albic Podzol (Anoarenic, Endoloamic, Raptic, Humic) (AYpa(0–30)–Ae(30–41)–E(41–60)–BF(60–81)–BC(81–105)). Глубина литологического контакта 60 см
	Огород, заброшенный 35 лет назад	КО35	Заросли с преобладанием сныти, бодяка и крапивы	Агрозем альфегумусовый среднепахотный реградируемый супесчаный на ледниковых отложениях/Plaggic Podzol (Anoarenic, Endoloamic, Raptic, Humic) (AYpa (0–33)–BF(33–72)–BC(72–100)). Глубина литологического контакта 90 см

Возраст деревьев определяли с помощью кернов. В дерново-подзолистых суглинистых почвах (Albic Retisols (Loamic, Ochric)) стадий 1–3 выражен старопашотный горизонт темного цвета среднекомковатой структуры глубиной 25–30 см с довольно отчетливой нижней границей. Этот горизонт залегает непосредственно на гор. EL или BEL, которые, в свою очередь, сменяются горизонтом BT. В дерново-подзолистой почве 95-летнего леса, в отличие от предыдущих стадий, ровная нижняя граница старопашотного горизонта выражена фрагментарно и в основном имеет волнистый характер.

Зарастающая пашня расположена в 1–2 км от русла р. Унжи, на том же берегу, недалеко от дер. Выползово. Почвообразующие породы – пески, подстилаемые на разной глубине тяжелыми глинами, а точнее – песчано-супесчаный слой глубже примерно 40 см сменяется толщей, весьма

неоднородной по гранулометрическому составу, что связано с водно-ледниковым происхождением пород, на чем следует остановиться подробнее. Территория расположена на гряде конечной морены Днепровского оледенения. Объекты исследования находятся на месте внутриледникового водоема, в котором в разное время откладывался разный материал – от песка до глин. Поэтому изучаемые почвы, по крайней мере глубже примерно 40–50–60 см, характеризуются неоднородным гранулометрическим составом, что не связано с процессом почвообразования и тем более с постагрогенной эволюцией, а с происхождением почвообразующих пород. Различия гранулометрического состава даже на расстоянии нескольких метров являются естественными [37]. Такое варьирование состава почвообразующих пород создало серьезные проблемы для определения

классификационной принадлежности изучаемых почв, поэтому мы дали изучаемым почвам условные названия, осознавая при этом сложность отнесения к определенной таксономической группе. Почвы отнесены к агродерново-подзолам литобарьерным суглинистым на двучленных супесчано-суглинистых отложениях (Retic Albic Podzol (Anoarenic, Endoloamic, Raptic, Ochric)).

Выделены следующие стадии зарастания: 1 – пашня с посевами овса (0-стадия) – распашка осуществляется как минимум в течение 15–20 лет; 2 – залежь 7–8 лет; 3 – залежь примерно 12 лет, на которой к 2012 г. сформирован почти сомкнутый молодой древостой высотой в 1.5–3 м; 4 – осиново-березовый лес 35–40 лет; 5 – березово-еловый лес примерно 100 лет (фон). Темный старопашотный горизонт выражен на всех стадиях сукцессии, кроме леса 100 лет, однако и на этой стадии в ряде прикопок отмечены фрагменты старопашотного горизонта с нижней границей на глубине около 30 см. На стадии леса 40 лет в старопашотном горизонте появляется некоторая размытость нижней границы. На стадиях сукцессии до 40 лет включительно старопашотный горизонт залегает на горизонте подзолистом гор. E_h1, верхняя часть которого прокрашена серыми языками подвижного органического вещества, вымытого из вышележащего горизонта. В профиле почвы 100-летнего леса картина другая – лесная подстилка сменяется маломощным перегнойным горизонтом, который, в свою очередь, залегает непосредственно на горизонте E. После гор. E_h1 или E во всех почвах следует E_f – осветленный, но обогащенный железистыми новообразованиями и являющийся переходным к собственно гор. BF.

Недалеко от зарастающей пашни в деревне Выползово расположен бывший огород, разные участки которого прекратили использовать от 4 до 35 лет назад. Этот ряд представляет собой альтернативный вариант постагрогенной сукцессии, отличающийся от двух предыдущих исходным интенсивным окультуриванием. Огород в отличие от пашни много лет подвергался внесению удобрений – золы (примерно 5 т/га в год) и коровьего навоза (примерно 20 т/га). Стадии зарастания представлены действующим огородом (0-стадия), а также огородами, заброшенными соответственно 4, 10, 20 и 35 лет назад. Пашотные (старопашотные) горизонты мощные и гумусированные, имеют местами комковато-зернистую структуру и подстилаются чаще всего гор. A_Уe (темноокрашенный, но затронутый элювиальными процессами и содержащий в большом количестве отмытые зерна первичных минералов) или BF. Поэтому эти почвы нельзя отнести к агроземам, но и к агродерново-подзолам они не могут быть отнесены при отсутствии гор. E. В результате почвы были названы агроземами альфегумусовыми. По WRB-2015 поч-

вы представлены Plaggic Podzol (Anoarenic, Endoloamic, Raptic, Humic).

Таким образом, изучаемые хроноряды различаются не только историей освоения, но и гранулометрическим составом почв, что обусловило их разную классификационную принадлежность. Так, сенокосный ряд развит на суглинистых дерново-подзолистых почвах, тогда как остальные – на литобарьерных подзолах с легким гранулометрическим составом верхней части профиля.

В течение нескольких лет в середине вегетационного периода (июль) на всех участках проводили описание растительности и определение основных показателей биологического круговорота. Площадь участков составляла 10 × 10 м² для лугов, 20 × 20 м² – для лесов, где это было возможно. Протяженность фитоценозов, соответствующих промежуточным стадиям зарастания, иногда была ограничена. Помимо геоботанического описания, методом укосов отбирали надземную биомассу травяного или травяно-кустарничкового яруса (5 повторностей) с разбором по видам и определением массовой доли каждого вида в укосе (площадь укоса – 50 × 50, в некоторые годы – 100 × 100 см²). Подземную биомассу травяно-кустарничкового яруса определяли на глубинах 0–10, 10–20 и 20–30 см методом монолитов на площади 10 × 10 см². Биомассу разных фракций древостоя определяли с использованием аллометрических уравнений [7].

Травяной ярус исследован наиболее подробно, в том числе в лесных экосистемах, потому что травянистые растения более отзывчивы на смену экологических условий [11]. Для сравнительной оценки условий местообитаний использованы шкалы Раменского [29], основанные на отношении видов растений к богатству почвы, и шкалы Ландольта [48], отражающие отношение тех же видов к кислотности почвы и к обогащенности гумусом. Всем видам из травяно-кустарничкового яруса присвоены баллы по перечисленным шкалам. Для каждой площадки, соответствующей определенной стадии сукцессии, вычислен балл трофности по Раменскому методом средне-взвешенной середины интервала [8]. С помощью шкал Ландольта выделены группы видов по отношению к почвенным свойствам.

Помимо разрезов, на каждой площадке заложено 5–6 прикопок для отбора почвенных образцов. В образцах определены актуальная кислотность (рН водной суспензии) и содержание органического углерода. Для слоя 0–30 см (что примерно соответствует старопашотной толще) с помощью дополнительно определенной плотности сложения вычислены запасы органического углерода. Обработка данных осуществлялась с помощью программ Excel, Statistica.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Эколого-ценотическая структура. Для изучаемых хронорядов выявлен разный характер изменения балла трофности в течение сукцессии. При зарастании огорода балл трофности незначительно варьирует от 10 до 13, что соответствует динамике кислотности и содержания органического углерода, о чем будет сказано позже. Наиболее четкий тренд изменения балла трофности выявлен для зарастающей пашни – он уменьшается в ходе залежной сукцессии от 12 на стадии 7-летней залежи до 4 на стадии 100-летнего леса. Именно в этом ряду происходит наиболее быстрая смена состава и структуры растительности: через 40 лет после прекращения распашки уже наблюдается сомкнутый и довольно продуктивный древостой, в то время как через 35 лет после прекращения использования огорода древостоя нет вообще. На зарастающем сенокосе не наблюдается ни ярко выраженной олиготрофизации, как при зарастании пашни, ни обратной тенденции. Возможно, это происходит из-за отсутствия сорно-рудеральной стадии, которая существует несколько лет при зарастании пашни, а при зарастании огорода затягивается на неопределенное время. Почвы залежей “пахотного” хроноряда сформированы на более бедной породе, чем почвы “сенокосного” ряда, что создает разницу в баллах трофности на “конечных” стадиях – соответственно, 4 и 6 баллов.

При помощи экологических шкал Ландольта выявлена сукцессионная динамика доли видов, имеющих разные требования к кислотности почвы, а также обогащенности органическим веществом. При зарастании пашни и сенокоса увеличивается доля ацидофилов (% их биомассы от общей биомассы травяного или травяно-кустарничкового яруса) и вообще видов, предпочитающих кислые почвы: щавелька (*Rumex acetosella* L.), ситника нитевидного (*Juncus filiformis* L.), душистого колоска (*Anthoxantum odoratum* L.) (первые 10–15 лет сукцессии) или брусники (*Vaccinium vitis-idaea* L.) и седмичника европейского (*Trientalis europea* L.) (после появления древостоя). Виды, индицирующие нейтральные почвы, при зарастании пашни встречаются только на ранних стадиях (рис. 1), а при зарастании сенокоса, напротив, уже на стадии сомкнутого леса в виде неморальных элементов.

По мере зарастания пашни и сенокоса лесом увеличивается доля биомассы видов, предпочитающих почвы, богатые органическим веществом (почти все лесные и опушечные виды). Динамика соотношения экологических групп показывает уменьшение доли видов с широкой экологической амплитудой и увеличение доли стенобионтных по данному фактору видов (рис. 2). Несколько другая картина наблюдается при зарастании огорода. В травостое увеличивается доля эвритопных видов,

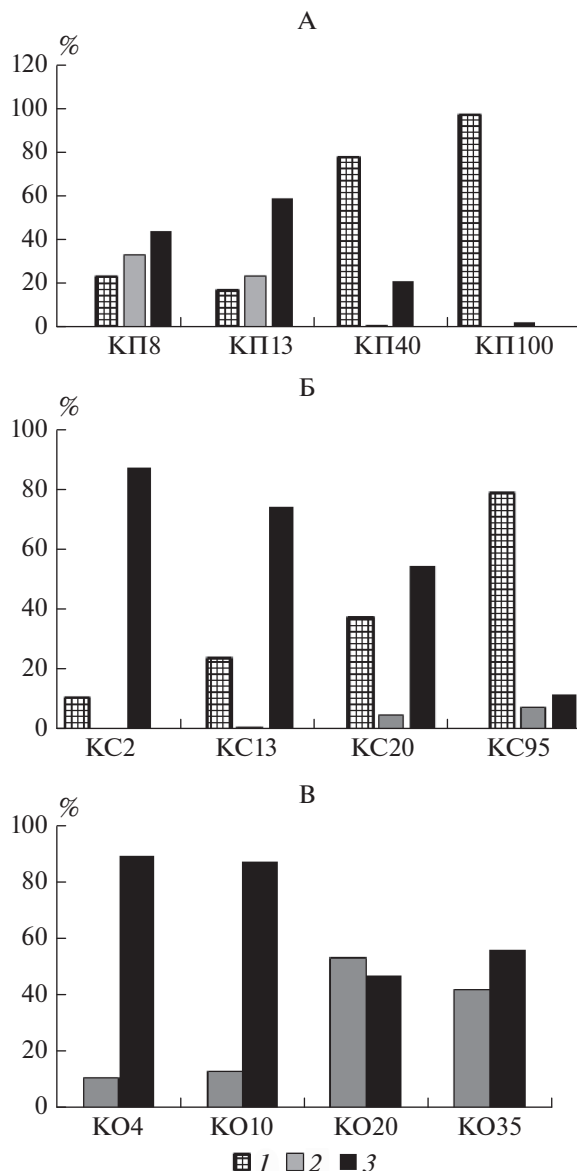


Рис. 1. Доля (% биомассы группы растений от общей биомассы травяного или травяно-кустарничкового яруса) групп видов растений, отличающихся по их отношению к почвенной кислотности. Обозначения: 1 – виды, характерные для очень кислых и кислых почв, 2 – виды, характерные для нейтральных и щелочных почв, 3 – виды, не имеющие четкой экологической приуроченности. Здесь и далее: А – зарастающая пашня; Б – зарастающий сенокос; В – зарастающий огород.

тогда как доля видов, требовательных к содержанию органического углерода, уменьшается.

Показатели биологического круговорота и их постагрогенная динамика. Характер изменения биологического круговорота в ходе сукцессии имеет свою специфику в каждом хроноряде. В первую очередь речь идет о разном времени смены лугового сообщества лесным, то есть о прин-

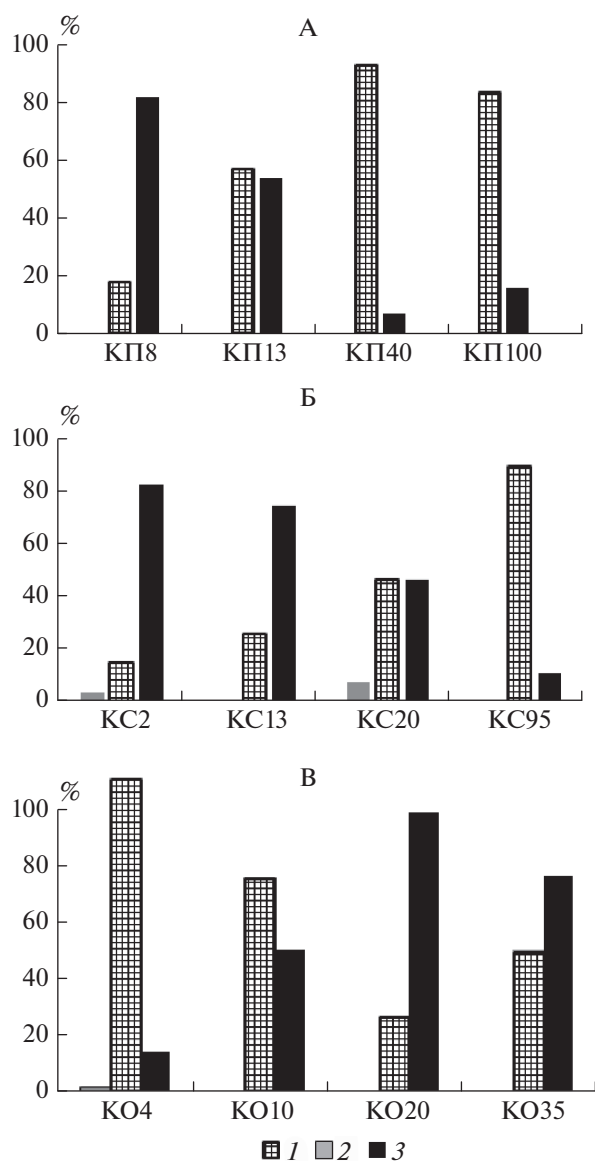


Рис. 2. Доля (% биомассы группы растений от общей биомассы травяного или травяно-кустарничкового яруса) экологических групп видов растений, отличающихся по их отношению к обогащенности почвы органическим углеродом. Обозначения: 1 – виды, характерные для небогатых гумусом почв, 2 – виды, характерные для богатых гумусом почв, 3 – виды, не имеющие четкой экологической приуроченности.

ципиальном изменении характера поступления и качества растительного опада, а также локализации накопления основного запаса органического вещества, азота и зольных элементов – для луговых сообществ это в большей степени корневые системы, для древесных – многолетние части древостоя. Надземная биомасса травяного яруса изменяется в ходе сукцессии в зависимости от скорости восстановления древостоя, которая тоже зависит от ряда факторов. Не последнее место

среди этих факторов занимает характер сельскохозяйственного использования территории в прошлом (табл. 2). На плохо и редко удобряемой пашне рудеральная стадия укорочена [28], поэтому продуктивность травостоя не очень высока, а через 12 лет уменьшается почти в 4 раза в связи с развитием деревьев и увеличением затененности.

Очень высокой биомассой травостоя характеризуется луг, не косимый 2 года. В отличие от “пахотного” ряда, уменьшение биомассы травостоя в ходе сукцессии здесь не носит резкого характера, поскольку на суглинистых почвах число демутационных стадий обычно сокращено [36]. Существенное уменьшение биомассы травостоя происходит лишь после смыкания древостоя (лес 20 лет). Надземная биомасса на самой молодой залежи по интенсивно удобряемому огороду (4 года) очень высока и по абсолютной величине соответствует засушливым степям [30]. Через 10 лет после прекращения использования она уменьшается незначительно, и только через 20 лет – в 2 раза, но при этом превышает биомассу травостоя на ранних стадиях залежей по сенокосу и пашне. В ходе зарастания всех типов угодий не выявлено значимого тренда в изменении корневой биомассы травяного яруса, кроме резкого возрастания ее при переходе от пашни к залежи 7 лет.

Были рассчитаны запасы ежегодно поступающего растительного опада, а именно его легкоразлагаемых фракций, имеющих самое существенное значение для микробиологической активности и процессов разложения органического вещества [39]. В состав легкоразлагаемого ежегодно поступающего опада (ЛРО) входит примерно треть корневой массы трав [22], надземный опад травянистых растений (кроме зимнезеленых), а также лиственный опад деревьев. В состав опада, поступающего в почву пашни, входят лишь корневые системы (рис. 3), так как надземная часть убирается с урожаем. По мере зарастания пашни запас ЛРО достигает максимальных величин на стадиях залежи 7 лет в большей степени за счет наземного опада трав, а также на стадии 40-летнего леса за счет мелколиственного опада. Это не может не отражаться на микробиологической активности. Действительно, именно 7-летняя и 40-летняя постагрогенные экосистемы характеризуются повышенным соотношением скорости базального дыхания и микробной биомассы в почве, как показали недавние исследования [13].

По мере зарастания сенокоса, постепенно уменьшаются запасы ЛРО. Здесь, по-видимому, через 10–15 лет тоже можно ожидать “40-летнего лесного максимума”, но пока возраст древостоя составляет 20 лет, сумма опада не превышает сумму опада в луговых сообществах, но превышает сумму опада, выявленную для 95-летнего леса.

Таблица 2. Надземная и корневая биомасса травяного яруса (среднее \pm среднее квадратическое отклонение, г/м²) и ее постагрогенная динамика

Ряд	Стадия сукцессии	Надземная биомасса	Подземная биомасса
Зарастающая пашня	КП0	—	213 \pm 54
	КП7	338 \pm 133	640 \pm 200
	КП12	62 \pm 24	385 \pm 150
	КП40	51 \pm 30	462 \pm 105
	КП100	85 \pm 60	399 \pm 100
Зарастающий сенокос	КС2	573 \pm 88	1285 \pm 570
	КС12	232 \pm 60	826 \pm 304
	КС20	22 \pm 6	350 \pm 183
	КС95	37 \pm 4	511 \pm 215
Зарастающий огород	КО0	—	—
	КО4	1250 \pm 89	467 \pm 350
	КО10	897 \pm 120	531 \pm 163
	КО20	514 \pm 301	526 \pm 237
	КО35	576 \pm 222	704 \pm 240

Примечание. Жирным шрифтом выделены значения, значимо отличающиеся от значений предыдущей стадии сукцессии.

Большой запас ЛРО выявлен для луга, не косимого 2 года. Возможно, именно сразу после прекращения кошения произошел краткий “взрыв продуктивности”, выраженный в росте кипрея и зверобоя, ранее вытесняемых злаками, устойчивыми к выкашиванию. При этом запасы корневого и надземного ЛРО примерно равны.

Что касается ежегодно поступающих запасов ЛРО и их динамики при зарастании огорода, устойчивого тренда в течение 35 лет нет, величина запасов меняется всего лишь с 5.5 до 4.3 т/га. Величина запасов ЛРО в экосистеме четырехлетней залежи почти соответствует величине запасов ЛРО в 20-летнем ивово-березовом лесу — настолько высокая продуктивность трав, которые блокируют лесовосстановление [18]. Высокая продуктивность травостоя и запасы легкоразлагаемого опада поддерживаются в течение долгого промежутка времени за счет длительной сорно-рудеральной стадии.

Свойства почвы. При восстановлении лесной растительности в подзоне южной тайги совершенно естественным является подкисление почвы в ходе сукцессии, на что указывали многие авторы [17, 18, 21]. Подобный тренд среди изучаемых хронорядов ярко выражен только при зарастании пашни, развитой на двучленной почве с песчано-супесчаной верхней частью профиля — именно в этом ряду “фоновая” почва имеет наиболее кислую реакцию в верхней части профиля. В первые 7 лет значимого уменьшения рН не наблюдается (рис. 4). По-видимому, еще не закончилось последствие окультуривания, а также накопление зольных элементов в луговой растительности способствует нейтрализации органических кислот. После образования более сомкнутого древостоя и, как следствие, горизонта подстилки, рН в верхней минеральной части профиля значимо уменьшается

с 5.4 до 4.6—4.8, а после выхода в древостой хвойных пород — до 4.0 и менее. Подобный тренд в постагрогенной динамике кислотности обусловлен изменением состава опада и переходом к преимущественно поверхностному его поступлению. Динамика кислотности в данном случае хорошо отражается изменением в ходе сукцессии соотношения ацидофилов и нейтрофилов в напочвенном покрове (см. выше).

При зарастании сенокосного луга наблюдается подобная закономерность, но менее отчетливая, чем при зарастании пашни на легкой почве, отчетливость тренда в сторону подкисления определяется как гранулометрическим составом почвы, так и характером ее использования [21, 38]. Почва стадии двухлетней залежи по сенокосу сильно отличается в сторону увеличения кислотности. В то время, когда стадия сенокосный луг еще выкашивался (2006 г.), нами были получены другие данные — рН составлял около 5.5 [4, 13]. Возможно, накопление растительного опада, которое исключалось при сенокосении, в сочетании с большей увлажненностью (опад прошлых лет неизбежно накапливает влагу), создало условия для подкисления почвы. Интересно и то, что варьирование показателя рН в пространстве в пределах изучаемых площадок гораздо выше, чем при зарастании пашни, что видно из диаграмм. Увеличение ацидофильных видов в напочвенном покрове от сенокоса к 95-летнему лесу уже не так четко отражает, как при зарастании пашни, динамику кислотности.

Существенно отличается динамика кислотности в верхней части профиля при зарастании огорода. После прекращения использования в первые 10 лет не только нет значимого увеличения кислотности, напротив, выявлено ее уменьшение

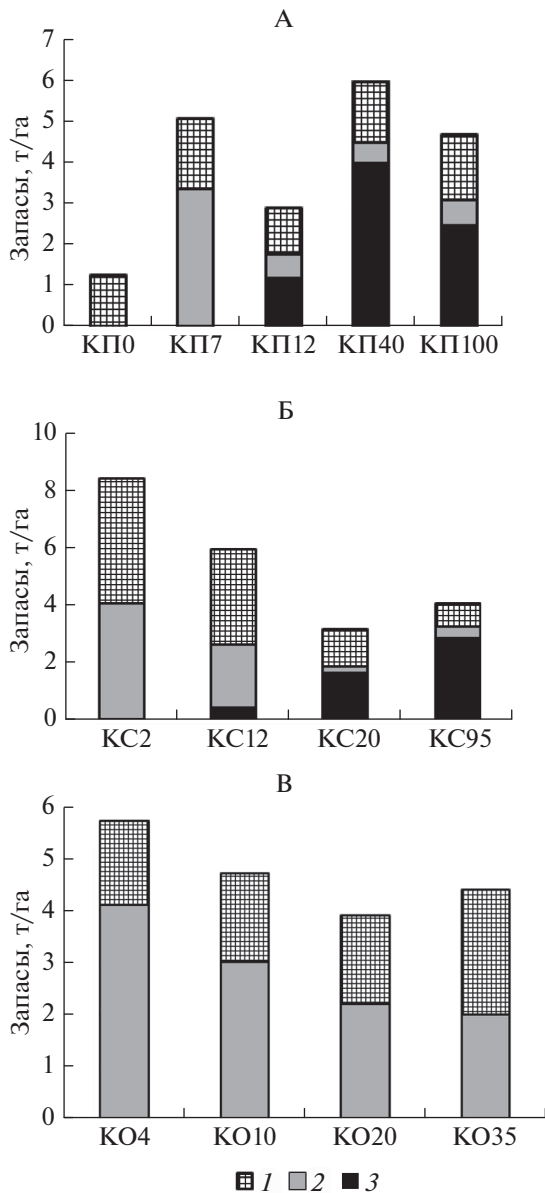


Рис. 3. Запасы ежегодно поступающего легкоразлагаемого опада, т/га. Обозначения: 1 – с корнями трав, 2 – с надземным опадом трав, 3 – с листвой деревьев.

в слое 0–10 см, что, несомненно, связано с влиянием высокочольного легкоразлагаемого опада травостоя, поступающего в большом количестве. И только через 20 лет происходит хотя и значимое, но не существенное уменьшение показателя рН – всего лишь до 6.0–6.2. Для сравнения можно отметить, что в аналогичном возрасте залежей по пашне на почве такого же гранулометрического состава, а также залежей по сенокосу на почве суглинистого состава рН не превышает соответственно 4.6 и 5.2. Таким образом, прекращение (уменьшение) последствия агрохимических мероприятий в условиях внесения повышенных доз органических удобрений замедляет скорость по-

стагрогенного подкисления почвы существенно – как минимум на 20–35 лет. В данном случае речь идет не только о продолжительном последствии удобрений, но и о поддержании кислотно-основных свойств самой постагрогенной растительностью, специфика которой делает невозможным формирование древостоя и даже обычной луговой растительности, которые способствовали бы какой-то динамике почвенной кислотности. Интересно, что при зарастании огорода видов-ацидофилов нет вообще, даже через 35 лет после прекращения использования. В ходе сукцессии доля биомассы видов, характерных для нейтральных и щелочных почв, возрастает, достигая максимума на стадии 20-летней залежи.

Итак, только применительно к хроноряду зарастающей пашни можно наблюдать адекватное отражение динамики почвенной кислотности долей ацидофилов и нейтрофилов в напочвенном покрове. В результате распашки почва агроэкосистемы имеет высокую степень контраста с почвой “фонового” биогеоценоза, поэтому постагрогенная динамика кислотности ярко выражена. При зарастании огорода изменения кислотности не настолько существенны, чтобы отражаться растительностью, тогда как при зарастании сенокоса слишком сложная история освоения искажает динамику постагрогенной трансформации почвенных свойств, в том числе и кислотности.

Одним из наиболее существенно изменяющихся свойств почв в ходе постагрогенной эволюции в любой природной зоне и при любом характере использования является содержание органического углерода, которое подвержено постагрогенной динамике преимущественно в верхней части профиля [40]. Наиболее отчетливая динамика содержания органического углерода в сторону увеличения выявлена для зарастающей пашни (рис. 5), особенно в слое 0–10 см. Почва пашни характеризуется самым низким содержанием углерода, поскольку при распашке и резко уменьшении поступления растительных остатков минерализация гумуса усиливается [14]. В слое 10–20 см, при переходе от 40-летнего лиственного к 100-летнему смешанному лесу, содержание углерода резко уменьшается. Органофиль подзола принципиально отличается от органофилия дерново-подзола постагрогенного – вместо старопашотного горизонта лесная подстилка сменяется маломощным перегнойным гор. АН, а затем – сразу гор. Е. Увеличение содержания углерода в ходе сукцессии является результатом поступления большого количества надземного и подземного травяного опада на ранних стадиях, и поступлением опада древостоя и формированием подстилки на более поздних стадиях. Выявленная тенденция к повышению содержания и запасов углерода в почве по мере постагрогенного лесовосстановления совпадает с данными многих авторов [1, 33, 49].

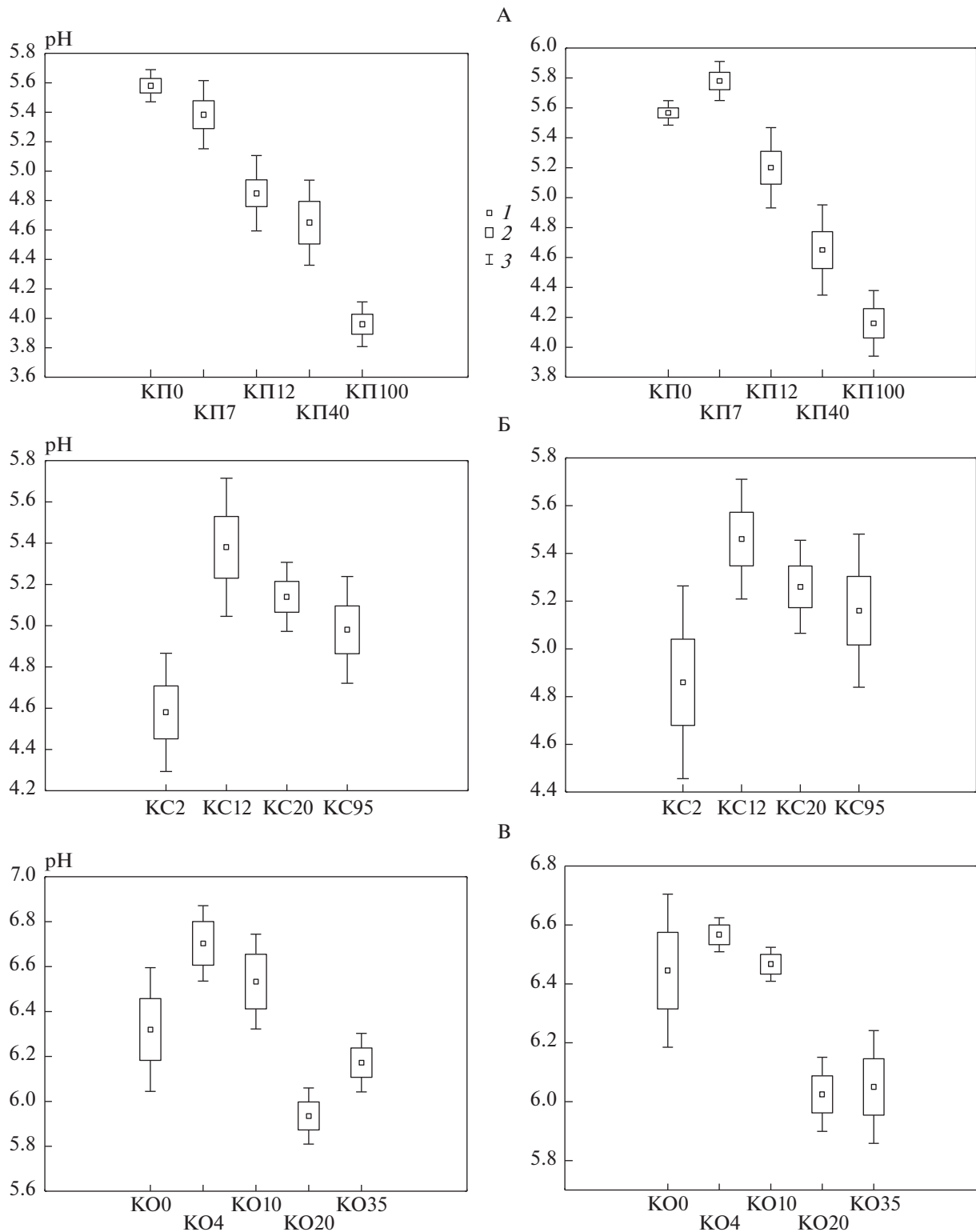


Рис. 4. Динамика актуальной кислотности на глубине 0–10 см (слева) и 10–20 см (справа). Обозначения: 1 – среднее, 2 – среднее + стандартная ошибка, 3 – среднее + стандартное отклонение.

Динамика содержания углерода в почве зарастающего сенокоса носит несколько другой характер, что объясняется, как и динамика других свойств почв, более сложной историей освоения.

Здесь значительно повышено содержание углерода в почве луга, кошение которого прекратилось недавно, причем как в слое 0–10, так и 10–20 см. С одной стороны, травостой много лет выкашивал-

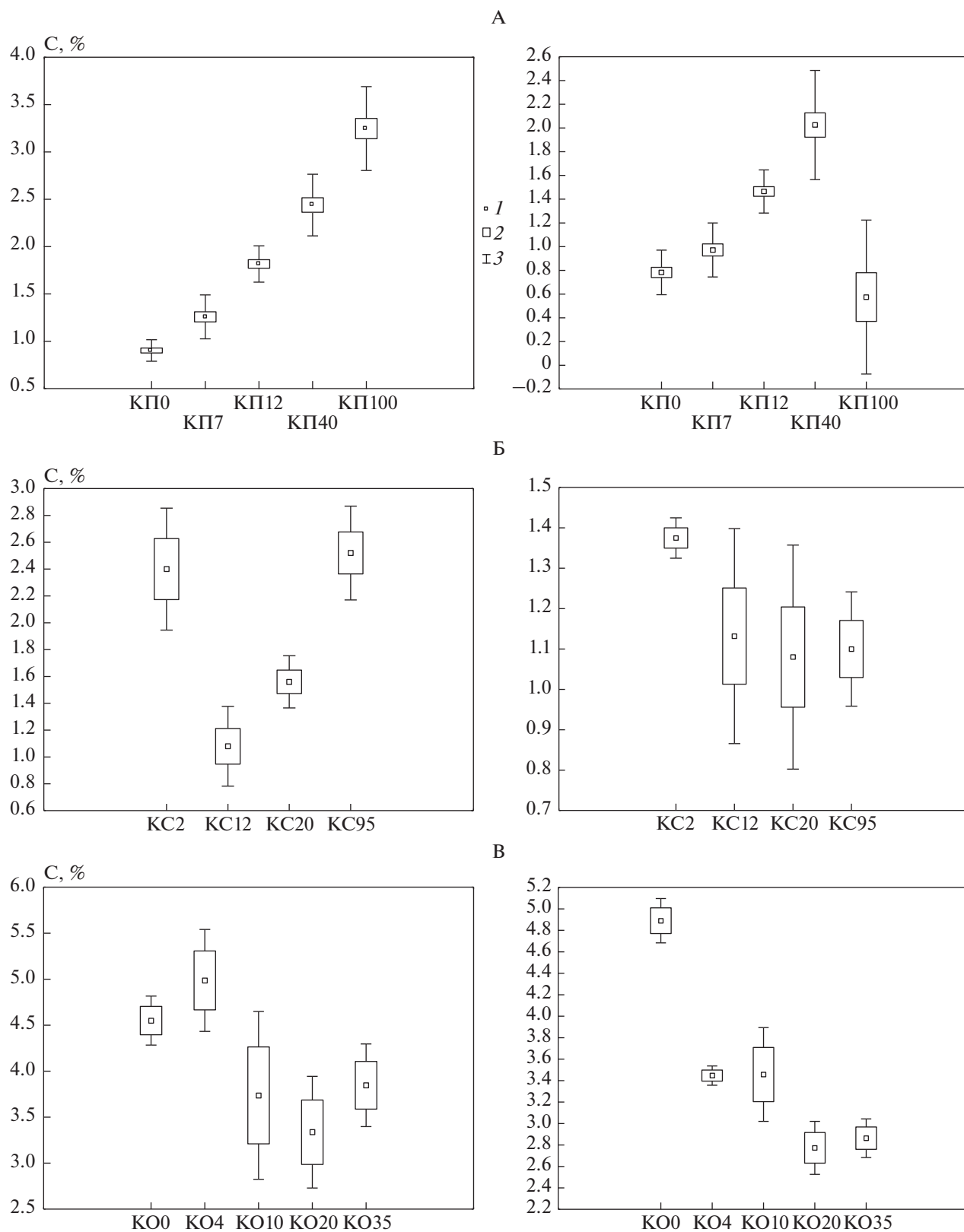


Рис. 5. Динамика содержания органического углерода на глубине 0–10 см (слева) и 10–20 см (справа). Обозначения: 1 – среднее, 2 – среднее + стандартная ошибка, 3 – среднее + стандартное отклонение.

ся, то есть основной источник органического вещества убирался. С другой стороны, кошение было нерегулярным и проводилось в середине вегетационного периода, так что благодаря отавности в почву все же поступала надземная часть травостоя. По данным Ларионовой с соавт. [14], залужение почвы в течение длительного времени способно увеличивать запасы гумуса, а периодическое отчуждение травостоя не только не уменьшает, но даже увеличивает аккумуляцию органического углерода по сравнению с некосимым вариантом. Через 12 лет после прекращения выкашивания биомасса травостоя резко сокращается, в то время как полноценного горизонта подстилки еще нет, так как нет сомкнутого древостоя. Поэтому содержание органического вещества резко уменьшается — более чем в 2 раза. После 12-ти лет динамика содержания углерода в целом такая же, как и при зарастании пашни, кроме того, что в слое 10–20 уже не наблюдается значимого изменения этого показателя.

Совершенно иной характер постагрогенного изменения содержания органического углерода в почве наблюдается при зарастании огорода. Прежде всего, содержание углерода за все 35 лет после прекращения распашки не опускается ниже 3–3.5% в слое 0–20 см, то есть составляет не только намного больше, чем в почве пашни, но и, по крайней мере, в слое 0–10, превышает содержание углерода в целинных почвах, что в принципе типично для постагрогенного развития удобряемых почв [45]. В результате, в течение 35 лет постагрогенного развития, содержание углерода в слое 0–10 см уменьшается на 2%, тогда как при зарастании пашни увеличивается примерно на столько же. Значимое уменьшение содержания углерода при этом происходит только через 10 лет после прекращения использования и далее остается стабильным по крайней мере до 35 лет. На глубине 10–20 см тренд уменьшения содержания углерода более отчетлив, но разность между 0-стадией и 35-летней залежью не превышает 2%.

Если при различиях в гранулометрическом составе и, отчасти, в истории освоения почвы, тренд динамики гумусного состояния примерно одинаков, то при существенном окультуривании почв до такой степени, что по свойствам почва мало похожа на зональную, направление тренда меняется — вместо постагрогенного увеличения содержания гумуса происходит его постепенное уменьшение. По-видимому, выведенная из равновесия сельскохозяйственным освоением система при прекращении антропогенного воздействия стремится к первоначальному состоянию, поэтому в почве пашни, обедненной гумусом в процессе освоения, мы наблюдаем увеличение содержания углерода в постагрогенный период, а в почве огорода, который более чем интенсивно удобряли

органическим веществом, происходит обратный процесс.

Динамика содержания органического углерода в верхней части профиля в целом адекватно отражается долей видов, предпочитающих обогащенные органическим веществом почвы. Наиболее четкое соответствие выявлено для зарастающей пашни, поскольку именно в этом ряду почва начальной стадии сукцессии существенно отличается от завершающей. Переход от луговых сообществ к лесным индицируется изменением соотношения экологических групп видов, предпочитающих задернованные почвы лугов или почвы лесов с лесными подстилками, или же не имеющие четкой приуроченности к типу органофилия. Что касается зарастающего огорода, тип органофилия не меняется в течение 35 лет, но уменьшается доля видов, связанных с гумусированными почвами, в то время как возрастает доля индифферентных видов. В целом это соответствует динамике содержания органического вещества.

Запасы углерода в разных блоках биогеоценоза и их соотношение. По мере зарастания пашни лесной растительностью запасы углерода в минеральной части профиля на глубине 0–30 см существенно возрастают — на стадии пашни они составляют 25.8 т/га, тогда как на стадии 40-летнего леса — 50.5 т/га. При смене лиственного леса смешанным и, соответственно, дерново-подзола постагрогенного подзолом, запасы углерода снова несколько уменьшаются по причине уменьшения содержания углерода глубже 10 см. Почва луга, не косимого 2 года, характеризуется довольно высоким запасом углерода в слое 0–30 — 51.9 т/га, но через 10–12 лет запасы составляют менее 35 т/га, что связано с резким уменьшением поступления органического вещества. Только после смыкания древостоя снова возрастают — почти 50 т/га на стадии леса 95 лет. Наконец, в течение 35 после прекращения использования огорода запасы углерода в слое 0–30 все еще составляют не менее 100 т/га.

Запас органического углерода в биогеоценозе в целом включает запасы в верхней части минерального профиля почвы, в детрите, а также во всех фракциях древесной и травяной растительности. Этот запас также подвергается существенному изменению в течение демулационной сукцессии. Наибольшее абсолютное значение запасов углерода в биогеоценозе (хотя эти подсчеты носят весьма приблизительный характер) выявлено для 95-летнего леса на суглинистой дерново-подзолистой почве (рис. 6), что больше запаса углерода в экосистеме 100-летнего леса на подзоле. Различия обусловлены не столько запасами почвенного углерода, сколько продуктивностью древостоя. По-видимому, суглинистая дерново-подзолистая почва обеспечивает для роста древо-

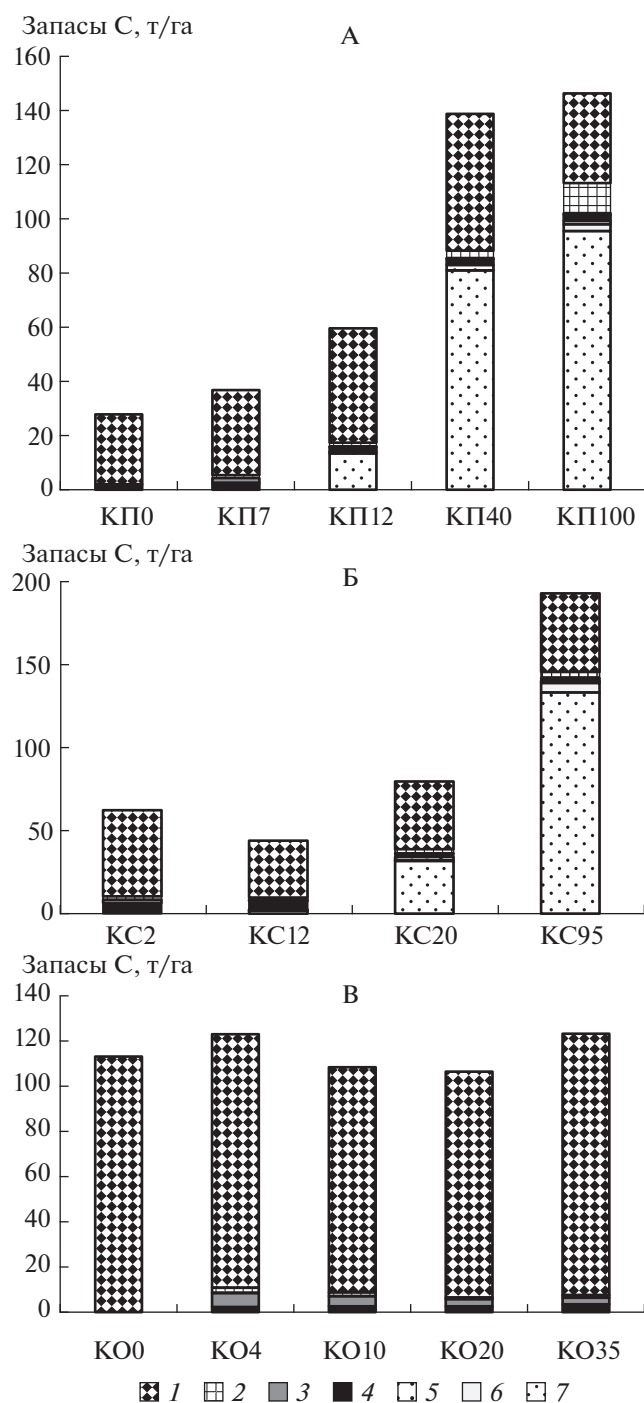


Рис. 6. Запасы углерода в разных блоках экосистем, т/га. Обозначения: 1 – в слое почвы 0–30 см, 2 – в детрите, 3 – в биомассе трав, 4 – в корнях трав, 5 – в листьях, 6 – в хвое, 7 – в древесине.

стоя более благоприятные условия. Запас углерода в агроэкосистеме пашни обеспечивается только корнями, оставшимися после уборки урожая, и почвенным органическим веществом. На залежах по пашне и сенокосу одинакового возраста (12 лет) запас углерода отличается – на пашне

восстановление древостоя происходит быстрее [24]. В экосистеме 40-летнего леса общие запасы углерода уже превышают запасы, выявленные для экосистемы пашни, в 7 раз, главным образом, за счет древостоя. На стадии предклимаксного 100-летнего леса определенную долю в общих запасах углерода занимает детрит, запасы которого относительно высоки.

При зарастании лесом сенокосного луга наблюдается в целом такая же картина динамики как общего запаса углерода, так и его соотношения в разных блоках биогеоценоза. Единственным отличающимся моментом является некоторое уменьшение общих запасов углерода в биогеоценозе через 12 лет после прекращения сенокосения, несмотря на начавшийся рост древесных пород. Это происходит за счет уменьшения запасов углерода в почве (см. выше). Интересно, что запасы углерода в слое 0–30 здесь несколько меньше, чем аналогичные в экосистеме 12-летней залежи по пашне, при том что почва залежи по сенокосу более тяжелая – следовало ожидать обратной ситуации. Возможно, более позднее развитие древостоя и лесной подстилки несколько затормаживает переход к лесному типу органофилия, в то время как низкая продуктивность травостоя уже не может поддерживать высокие запасы почвенного углерода на прежнем уровне.

В травяных экосистемах в отличие от лесных основной запас углерода сосредоточен в минеральной части почвы. Поскольку при зарастании частного огорода возможность появления древостоя блокирована, по крайней мере, в течение 35 лет, доля минеральной части профиля в углеродсодержащих компонентах биогеоценоза все это время составляет 90% и более. Абсолютная величина запаса при этом также меняется очень мало – варьирует в пределах 100–120 т/га, что вдвое больше, чем в экосистеме 12-летнего молодого леса, образованного на залежи по пашне. При этом никакого тренда в ту или другую сторону не наблюдается – по-видимому, из-за отсутствия яркой динамики в содержании органического углерода в почве.

Итак, ведущими факторами направления постагрогенной динамики изученных свойств почв являются способ сельскохозяйственного освоения, а точнее – степень окультуривания почв путем внесения удобрений, а также демультипликационная динамика растительности, особенно скорость перехода травяной экосистемы в древесную, которая также во многом зависит от степени окультуривания.

ВЫВОДЫ

1. Наибольший вклад в различия показателей биологического круговорота постагрогенных

экосистем разного возраста и типа использования вносит не столько запас биомассы, сколько запас ежегодно поступающего легкоразлагаемого опада. Постагрогенная динамика этой величины зависит от характера сукцессии и различается в зависимости от типа использования угодья. При зарастании хорошо удобряемых в прошлом огородов четкий тренд в динамике очень высоких запасов ЛРО отсутствует, по крайней мере, в первые 35 лет, в то время как при зарастании мало удобряемых пашни и сенокоса выявлена тенденция к направленному изменению запасов ЛРО.

2. При зарастании пашен и сенокосов на мало удобряемых почвах через 10–12 лет после прекращения использования начинается процесс лесовосстановления, в результате общий запас органического углерода в экосистеме возрастает к 95–100 годам в 4–7 раз в основном за счет многолетних частей древостоя. В ходе зарастания хорошо удобряемого огорода в течение, по крайней мере, 35 лет общий запас органического углерода меняется мало, причем 90% и более его запасов сосредоточены в минеральной части почвы.

3. Постагрогенная динамика содержания в почве органического углерода определяется в большей степени интенсивностью внесения органических удобрений при использовании угодья, нежели собственными свойствами почв. При зарастании пашни, развитой на бедной мало удобряемой почве, происходит увеличение содержания и запасов органического углерода, тогда как при зарастании хорошо удобряемых угодий на почве такого же типа – в течение 35 лет содержание углерода, напротив, несколько уменьшается, хотя и превосходит при этом аналогичный показатель в целинных почвах. Постагрогенная динамика содержания органического углерода в почвах адекватно отражается составом напочвенного покрова – особенно ярко это выражено при быстром, не осложненном затянувшейся сорно-рудеральной стадией, зарастании пашни, почвы которой развиты на легких породах.

4. Направление и характер постагрогенного изменения почвенной кислотности в значительной степени определяется характером использования, а именно – интенсивностью внесения органических удобрений. При зарастании мало удобряемых и не удобряемых почв быстро происходит процесс лесовозобновления, способствующий изменению состава опада и формированию подстилки и ведущий к подкислению. Более отчетливо это выражено при зарастании пашни без промежуточной стадии залужения. Именно при таких обстоятельствах увеличение кислотности адекватно отражается составом напочвенного покрова. При зарастании интенсивно удобряемых угодий рН 6.0 и выше (при рН целинной почвы 4.0 и менее) поддерживается в течение более чем 30 лет в

результате как последствий удобрений, так и поддержания баланса зольных элементов рудеральным высокотравьем.

5. Выявлена некоторая конвергенция свойств почв и показателей круговорота, относящихся к залежам сходной возрастной категории. Почвы залежей сходного возраста, но относящихся к разным хронорядам (по характеру сельскохозяйственного использования) могут иметь большее сходство, чем почвы в пределах одного хроноряда. Однако почвенные свойства интенсивно удобряемых в прошлом огородов резко отличаются от свойств почв постагрогенных экосистем аналогичного возраста и вообще имеют очень мало общего с зональными по кислотности, а также содержанию и запасам органического углерода.

Благодарность. Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект № 18-04-00773а).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Ананьева Н.Д., Сусьян Е.А., Рыжова И.М., Бочарникова Е.О., Стольникова Е.В.* Углерод микробной биомассы и микробное продуцирование двуокиси углерода дерново-подзолистыми почвами постагрогенных биогеоценозов и коренных ельников южной тайги (Костромская область) // Почвоведение. 2009. № 9. С. 1108–1116.
2. *Болысов С.И., Фузеина Ю.Н.* Физико-географические условия Костромского Заволжья. Геолого-геоморфологическое устройство // Костромское Заволжье: природа и человек. М., 2001. С. 36–60.
3. *Владыченский А.С., Телеснина В.М.* Изменение некоторых свойств таежных почв при прекращении из сельскохозяйственного использования (на примере Костромской обл.) // Доклады по экологическому почвоведению. 2006. Т. 3. № 3.
4. *Владыченский А.С., Телеснина В.М.* Сравнительная характеристика постагрогенных почв южной тайги в разных литологических условиях // Вестник Моск. ун-та. Сер. 17. 2007. № 4. С. 3–11.
5. *Владыченский А.С., Телеснина В.М., Румянцева К.А., Чалая Т.А.* Органическое вещество и биологическая активность постагрогенных почв южной тайги (на примере Костромской обл.) // Почвоведение. 2013. № 5. С. 570–582. doi 10.7868/S0032180x1305016x
6. *Гульбе А.Я.* Процесс формирования молодняков древесных пород на залежи в южной тайге. Автореф. дис. ... канд. биол. н. М., 2009. 22 с.
7. *Замолодчиков Д.Г., Уткин А.И., Коровин Г.Н.* Определение запасов углерода по зависимым от возраста насаждений конверсионно-объемным коэффициентам // Лесоведение. 1998. № 3. С. 84–93.
8. *Заугольнова Л.Б., Ханина Л.Г., Комаров А.С., Смирнова О.В., Попадюк Р.В., Островский М.А., Зубкова Е.В., Глухова Е.М., Паленова М.М., Губанов В.С., Грабарник П.Я.* Информационно-аналитическая система для оценки сукцессионного состояния лесных сообществ. Пушино, 1995. 51 с.
9. *Карелин Д.В., Люри Д.И., Горячкин С.В., Лунин В.Н., Кудиков А.В.* Изменение почвенной эмиссии диоксида углерода в ходе постагрогенной сукцессии в

- черноземной лесостепи // Почвоведение. 2015. № 11. С. 1354–1366. doi 10.7868/S0032180X1511009X
10. Классификация и диагностика почв России. Смоленск: Ойкумена, 2004. 341 с.
 11. *Копцик Г.Н., Багдасарова Т.В., Горленко О.В.* Взаимосвязи видового разнообразия растений и свойств почв в экосистемах южной тайги // Бюлл. МОИП. Отд. биол. 2001. Т. 106. Вып. 2. С. 31–38.
 12. *Курганова И.Н., Лопес-де-Гереню В.О.* Запасы органического углерода в почвах Российской Федерации: современные оценки в связи с изменением системы землепользования // Доклады Академии наук. 2009. Т. 426. № 1. С. 132–134.
 13. *Курганова И.Н., Лопес де Гереню В.О., Мостовая А.С., Овсепян Л.А., Телеснина В.М., Личко В.И., Баева Ю.И.* Влияние процессов естественного лесовосстановления на микробиологическую активность постагрогенных почв европейской части России // Лесоведение. 2018. № 1. С. 3–23.
 14. *Ларионова А.А., Ермолаев А.М., Никитишен В.И., Лопес де Гереню В.О., Евдокимов И.В.* Баланс углерода в пахотных серых лесных почвах при разных способах сельскохозяйственного использования // Почвоведение. 2009. № 12. С. 1464–1474.
 15. *Литвинович А.В.* Постагрогенная эволюция хорошо окультуренных дерново-подзолистых почв северо-запада Нечерноземной зоны // Агрохимия. 2009. № 7. С. 85–93.
 16. *Литвинович А.В., Павлова О.Ю., Чернов Д.В.* Изменение гумусового состояния дерново-подзолистой почве при прекращении антропогенного воздействия // Докл. Российской академии сельскохозяйственных наук. 2002. № 6. С. 205.
 17. *Литвинович А.В., Плылова И.А.* Изменение кислотно-основных свойств дерново-подзолистой суглинистой почвы в процессе постагрогенной эволюции // Научное обеспечение развития АПК в условиях реформирования. СПб., 2009. С. 160–164.
 18. *Люри Д.И., Горячкин С.В., Караваева Н.А., Денисенко Е.А., Нефедова Т.Г.* Динамика сельскохозяйственных земель России в XX в. и постагрогенное восстановление растительности и почв. М.: ГЕОС, 2010.
 19. *Люри Д.В., Карелин Д.В., Кудиков А.В., Горячкин С.В.* Изменение почвенного дыхания в ходе постагрогенной сукцессии на песчаных почвах в южной тайге // Почвоведение. 2013. № 9. С. 1061–1072.
 20. *Макаров И.Б.* Дифференциация пахотного горизонта дерново-подзолистых почв в условиях их окультурирования. Автореф. ... дис. канд. биол. н. М., 1981. 249 с.
 21. *Матинян Н.Н., Бахматова К.А., Алексеев С.С.* Постагрогенная трансформация почв, сформированных на контрастных по гранулометрическому составу породах // Гумус и почвообразование. СПб–Пушкин, 2007. С. 52–60.
 22. Методы изучения биологического круговорота в различных природных зонах. М.: Мысль, 1978. 181 с.
 23. *Мешалкина Ю.Л., Самсонова В.П.* Математическая статистика в почвоведении: практикум. М.: Макс-Пресс, 2008. 84 с.
 24. *Морозов А.М., Залесов С.В.* Особенности лесообразовательного процесса на пашне и сенокосе // Агро XXI. 2008. № 7–9. С. 40–42.
 25. *Москаленко С.В., Бобровский М.И.* Расселение лесных видов растений из старовозрастных дубрав на брошенные пашни в заповеднике “Калужские засеки” // Изв. Самарского научного центра РАН. 2012. Т. 14. № 1(5). С. 1332–1335.
 26. *Огуреева Г.Н.* Ботанико-географическое районирование СССР. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1991. 76 с.
 27. *Парахневич Т.М., Кирик А.И.* Изменение структуры растительных сообществ в ходе сукцессии на залежи // Вестник Воронежского гос. аграрного ун-та. 2012. № 4(35).
 28. *Парфенов В.И., Ким Г.А., Булат В.С.* Демутационные смены растительности на залежах // Ботаника (исследования). Вып. XXVII. Минск: “Наука и техника”. 1986. С. 46–58.
 29. *Раменский Л.Г., Цаценкин И.А., Чижиков О.Н., Антипин Н.А.* Экологическая оценка кормовых угодий по растительному покрову. М., 1956. 470 с.
 30. *Родин Л.Е., Базилевич Н.И.* Динамика органического вещества и биологический круговорот зольных элементов и азота в основных типах растительности земного шара. М.–Л.: Наука, 1965. 248 с.
 31. *Романовская А.А., Коротков В.Н., Карабань Р.Т., Смирнов Н.С.* Динамика элементов баланса углерода на неиспользуемых пахотных угодьях Валдайской возвышенности // Экология. 2012. № 5. С. 347–352.
 32. *Рыбакова А.Н., Сорокина О.А.* Оценка показателей плодородия постагрогенных почв залежей при различном использовании // Плодородие. 2013. № 3(72). С. 31–33.
 33. *Рыжова И.М., Ерохова А.А., Подвезенная М.А.* Динамика и структура запасов углерода в постагрогенных экосистемах южной тайги // Почвоведение. 2014. № 12. С. 1426–1435. doi 10.7868/S0032180X14090111
 34. *Семенов В.М., Иванникова Л.А., Кузнецова Т.В., Семенова Н.А.* Роль растительной биомассы в формировании активного пула органического вещества почвы // Почвоведение. 2004. № 11. С. 1350–1359.
 35. *Скворцова Е.Б., Баранова О.Ю., Нумеров Г.Б.* Изменение микростроения почв при зарастании пашни лесом // Почвоведение. 1987. № 9. С. 101–109.
 36. *Сушков С.Ф.* Динамика почвенно-растительного покрова на залежных землях (на примере юго-западных районов Ленинградской области). Автореф. дис. ... канд. биол. н. Л., 1974.
 37. *Телеснина В.М., Ваганов И.Е., Карлсен А.А., Иванова А.Е., Жуков М.А., Лебедев С.М.* Особенности морфологии и химических свойств постагрогенных почв южной тайги на легких отложениях (Костромская область) // Почвоведение. 2016. № 1. С. 115–129. doi 10.7868/S0032180X161010111
 38. *Телеснина В.М., Курганова И.Н., Лопес де Гереню В.О., Овсепян Л.А., Личко В.И., Ермолаев А.М., Мишин Д.М.* Динамика свойств почв и состава растительности в ходе постагрогенного развития в разных биоклиматических зонах // Почвоведение. 2017. № 12. С. 1514–1534. doi 10.7868/S0032180X17120115

39. Фокин А.Д., Черникова И.Л., Ибрагимов Л.Ш., Сюняев Х.Х. Роль растительных остатков в обеспечении растений зольными элементами на подзолистых почвах // Почвоведение. 1979. № 6.
40. Чалая Т.А. Запасы углерода в почвах и растительности постагрогенных ландшафтов южной тайги. Дис. ... канд. биол. н. М., 2012.
41. Collins H.P., Elliot E.T., Paustian K, Bundy L.G., Dick W.A., Huggins D.R., Smucker A.J.M., Paul E.A. Soil carbon pools and fluxes in long-term corn belt agroecosystems // Soil Biology and Biochem. 2000. V. 32.
42. Falkengren-Grerup U., Brink D-J., Brunet J. Land use effects on soil N, P, C and pH persist over 40-80 years of forest growth on agricultural soils // Forest Ecol. Manag. 2005. V. 225.
43. Guo L.B., Gifford R.M. Soil carbon stocks and land use change: a meta analysis // Global Change Biology. 2002. V. 8. P. 345–360.
44. Hooker T.D., Compton J.E. Forest ecosystem carbon and nitrogen accumulation during the first century after agricultural abandonment // Ecol. Appl. 2003. V. 13. № 2. P. 99–313.
45. Jenkinson D.S. The accumulation of organic carbon and nitrogen in soil // Philosophical Transaction of the Royal Society of London. 1990. V. 329. P. 361–368.
46. Kalinina O., Goryachkin S.V., Karavaeva N.A., Lyuri D.I., Najdenko L., Giani L. Self-restoration of post-agrogenic sandy soils in the southern Taiga of Russia: Soil development, nutrient status, and carbon dynamics // Geoderma. 2009. V. 152.
47. Kalinina O., Goryachkin S.V., Lyuri D.I., Luise Giani. Post-agrogenic development of vegetation, soils, and carbon stocks under self-restoration in different climatic zones of European Russia // Catena. 2015. V. 129. P. 18–29.
48. Landolt E., Bäumler B., Erhardt A. Flora indicativa. Ökolo-gische Zeigerwerte und biologische Kennzeichen zur Flora der Schweiz und der Alpen. Haupt-Verlag, 2010. 376 p.
49. Markewitz D., Sartori F., Craft C. Soil change and carbon storage in longleaf pine stands planted on margin-agricultural lands // Ecol. Appl. 2002. V. 12. P. 1276–1285.
50. Questad E.R., Bryan L. Coexistence through spatio-temporal heterogeneity and species sorting in grassland plant communities // Ecology Letters. 2008. V. 11. № 7. P. 717–726.
51. Vesterdal L., Ritter E., Gundersen P. Change in soil organic carbon following afforestation of former arable land // Forest Ecol. Manag. 2002. V. 169.
52. Yamamoto Y. Succession and various vegetation of grassland // Grassland Sci. 2001. V. 47. № 4. P. 424–429.

The Influence of Agriculture Method on Dynamic of Biological Cycling and Some Soil Properties Due to Post-Agrogenic Succession (Kostroma Region)

V. M. Telesnina^{a,*} and M. A. Zhukov^{b,**}

^aLomonosov Moscow State University, Russia, 119991, Moscow, Leninskiye Gory, 1

^bAgency of Natural Risk Systems Analysis, Russia, 123995, Moscow, B. Gruzinskaya, 10

*e-mail: vtelesnina@mail.ru

**e-mail: nkcsever@gmail.com

The particularities of biological cycling indexes and soil features post-agrogenic dynamic are studied for three chronological series in Kostroma region: overgrowing arable land on loamy-sand two-part parent material (Retic Albic Podzols (Anoarenic, Endoloamic, Ochric)), overgrowing well-fertilized vegetable garden on loamy-sand two-part parent material (Plaggic Podzols (Anoarenic, Endoloamic, Humic)) and overgrowing hayfield, developed at former arable land on sandy-loam soil (Albic Retisols (Loamic, Ochric)). Post-agrogenic dynamic of acidity and organic carbon content depends on succession rate, depending on soil cultivation in past. By overgrowing poor sandy soils the trend of acidity and carbon content dynamic is adequately reflected by ratio of different ecological groups in herb-dwarfshrub layer. By re-afforestation on former agricultural lands the supply of organic carbon in biogeocenosis over 35–40 years increases from 30–40 to 120 t/ha. By overgrowing well-fertilized by manure vegetable gardens, where forest vegetation don't restore for long time, initial carbon supply about 100–120 t/ha don't change during 35 years as minimum.

Keywords: post-agrogenic soils, vegetation demutation, carbon deposit