

## СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА СОДЕРЖАНИЯ УГЛЕРОДА В ПОСТАГРОГЕННЫХ ПОЧВАХ РАЗЛИЧНЫХ ПРИРОДНО-КЛИМАТИЧЕСКИХ ЗОН

Ю.И. Баева<sup>1)\*</sup>, И.Н. Курганова<sup>2)</sup>, В.О. Лопес де Гереню<sup>2)</sup>, В.М. Телеснина<sup>3)</sup>

<sup>1)</sup> Российский университет дружбы народов,  
РФ, 117198, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д.6; \*baeva\_yui@rudn.university

<sup>2)</sup> Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН,  
РФ, 142290, г. Пушкино Московской области, ул. Институтская, д. 2; ikurg@mail.ru

<sup>3)</sup> МГУ им. М.В. Ломоносова, факультет почвоведения,  
РФ, 119991, Москва, Воробьевы горы, МГУ; vtelesnina@mail.ru

**Резюме.** В работе проведен сравнительный анализ изменения содержания органического углерода в постагрогенных дерново-подзолистых, серых лесных почвах и черноземах, представляющих собой последовательные стадии самовосстановления бывших сельскохозяйственных угодий в различных природно-климатических зонах (южная тайга, хвойно-широколиственные леса и степь). Сукцессионные хроноряды постагрогенных почв выбирались единообразно и включали пашню, разновозрастные залежи и естественный (лесной или степной) ценоз. В смешанных образцах почв, отобранных из слоя 0-20 см, определяли содержание органического углерода ( $C_{орг}$ ) и азота ( $N_{орг}$ ). Для характеристики биоразнообразия растительных сообществ оценивали общее видовое богатство. Ботанические исследования показали, что после выведения почвы из сельскохозяйственного использования, происходит изменение видового состава растительности, увеличение биоразнообразия и постепенное восстановление климаксных сообществ, характерных для конкретной природно-климатической зоны. Максимальные значения общего видового богатства были приурочены к залежам 13-, 15- и 30-ти летнего возраста, занятым луговой растительностью. Наряду с сукцессией растительности отмечалось увеличение содержания органического углерода в верхней части бывшего пахотного горизонта во всех изученных типах почв. Однако при смене природно-климатических зон с севера на юг (южная тайга → хвойно-широколиственные леса → степь) вышеуказанный тренд ослабевал в ряду *дерново-подзолистая почва – серая лесная почва – чернозем обыкновенный*. Так, в дерново-подзолистой почве под лесом содержание  $C_{орг}$  было в 4.7 раза выше, чем на пахотных почвах. В хроноряду на серой лесной почве такое превышение составляло 2.3 раза, а в черноземе обыкновенном – 1.4 раза.

**Ключевые слова.** Биоразнообразие, сукцессия растительности, пашня, залежи, органическое вещество, самовосстановление.

## COMPARATIVE ASSESSMENT OF CARBON CONTENT IN POSTAGROGENIC SOILS OF VARIOUS NATURAL CLIMATIC ZONE

*Yu.I. Baeva*<sup>1)\*</sup>, *I.N. Kurganova*<sup>2)</sup>, *V.O. Lopes de Gerenyu*<sup>2)</sup>, *V.M. Telesnina*<sup>3)</sup>

<sup>1)</sup> Peoples Friendship University of Russia (RUDN University),  
6 Miklukho-Maklaya St., Moscow, 117198, Russia Federation; \*baeva\_yui@rudn.university

<sup>2)</sup> Institute of Physicochemical and Biological Problems in Soil Science, RAS,  
2, Institutskaya Str., 142290, Pushchino, Moscow region, Russia Federation

<sup>3)</sup> Soil Science Department, Moscow State University,  
Vorob'evy gory, 119991, Moscow, Russia Federation

**Abstract.** A comparative analysis of the changes in total carbon content in Sod-podzolic, Gray forest soils, and Chernozems is presented in this paper. These are successive stages of self-restoration of former arable lands in various natural climatic zones (southern taiga, coniferous-broadleaf forests and steppe). The chronosequences of post-agrogenic soils were selected uniformly and included arable, abandoned lands of different ages, and forest (steppe) cenosis. The content of organic forms of carbon ( $C_{org}$ ) and nitrogen ( $N_{org}$ ) was determined in mixed soil samples (0-20 cm). To characterize the biodiversity of plant communities, total species richness was estimated. Our geobotanical studies have shown that the withdrawal of soils from agricultural use resulted in some alterations in species composition, increase of biodiversity, and a gradual recovery of climax communities, which are attributed for specific natural climatic zone. Maximum values of the total species richness were observed in abandoned lands of 13, 15, and 30-year old under grasslands. Following the succession of vegetation, a marked increase in organic carbon content in the upper part of former arable layer was observed for all soils studied. However, the trend became weaker from northern climatic zones to the southern ones in the following sequence: Sod-podzolic soil > Gray forest soil > Chernozems ordinary. Thus,  $C_{org}$  content in Sod-podzolic soil under forest was 4.7 times higher than in arable soil. The similar excess was 2.3 for chronosequence of Gray forest soils, and comprised 1.4 for post-agrogenic Chernozems.

**Keywords.** Succession of vegetation, biodiversity, arable, abandoned lands, organic matter, self-restoration.

### Введение

Сегодня в контексте глобальных климатических изменений особый интерес представляет оценка экологического потенциала земель, выведенных из сельскохозяйственного использования, в том числе изучение механизмов их самовосстановления. Процесс зарастания пашен идет, как правило, в направлении формирования зональных климаксных (или субклимаксных) экосистем (Люри и др., 2010). Смена растительных сообществ неизбежно ведет к изменению

---

физических и химических свойств постагроденных почв, восстановлению почвенного плодородия, и увеличению их способности депонировать атмосферный углерод (Post, Kwon, 2000; Kurganova et al., 2014, 2015; Kalinina et al., 2015; Baeva et al., 2017).

При выведении пахотных земель из обработки складываются, как правило, наиболее благоприятные условия для протекания процессов, приводящих к росту запасов органического углерода в почве: увеличивается количество поступившего в нее органического материала (включая подземную фитомассу). За счет более активного перемешивания почвенной фауной в залежных почвах органическим веществом обогащаются более глубокие почвенные слои, а также образуются органо-минеральные комплексы, защищающие органический материал от микробного разложения (Post, Kwon, 2000; Лопес де Гереню и др., 2009). Так, например, по экспертным оценкам, средняя скорость накопления углерода в почвах вследствие перевода пахотных земель в луга или лесные насаждения составляет – 33-34 г С·м<sup>-2</sup>·год<sup>-1</sup> (Post, Kwon, 2000). Средняя скорость депонирования углерода в бывших пахотных почвах Российской Федерации в течение первых 20 лет после выведения их из сельскохозяйственного оборота оценивается более значительными величинами – 105 ± 10 г С·м<sup>-2</sup>·год<sup>-1</sup> (Kurganova et al., 2014). При этом только залежные земли лесной зоны аккумулируют в растительности и почвах около 45 млн т С в год, что составляет более 10% всей промышленной эмиссии углерода в России в 2010 г. (Люри и др., 2010).

Аккумуляция углерода в почве в значительной степени зависит от интенсивности разложения вновь поступающего и уже присутствующего в почве органического материала (Jenkinson, 1977; Shevtsova et al., 2003). В свою очередь, на скорость разложения органического вещества, наряду с такими факторами, как количество и качество растительных остатков, во многом влияют тип почвы, ее механический состав и гидротермический режим (Kovalenko et al., 1978; Amato, Ladd, 1992; Cheshire, Chapman, 1996; Kätterer et al., 1998; Lomander et al., 1998; Martens, 2000; Rustad et al., 2000).

К сожалению, в настоящее время для большинства регионов России имеются весьма ограниченные экспериментальные данные по накоплению органического углерода в связи со сменой землепользования пахотных почв (Larionova et al., 2003; Коробова, 2004; Лопес де Гереню и др., 2009). Поэтому целью исследования явились экспериментальная оценка и сравнительный анализ изменения содержания углерода в различных типах почв (дерново-подзолистой, серой лесной и черноземе обыкновенном) в ходе их постагроденной эволюции.

## Методы и материалы

Объектами исследования послужили три сукцессионных хронорядя, расположенных в: (1) Мантуровском районе Костромской области (58°10'N, 44°28'E; дерново-подзолистая почва, зона южной тайги), (2) окрестностях г. Пущино Московской области (47°27'N, 39°35'E; серая лесная почва, хвойно-

широколиственная зона) и (3) д. Недвиговка, Ростовской области (54°20'N, 37°37'E; чернозем обыкновенный, степная зона). Сукцессионные хроноряды постагрогенных почв выбирались единообразно и включали пашню, разновозрастные залежи и вторичный лесной или степной ценоз. В Костромской области сукцессионный хроноряд состоял из: пашни, засеянной овсом, 8-летней залежи, залежи 13-ти лет, молодого вторичного осиново-березового леса (35 лет) и зрелого вторичного леса (возраст ~100 лет). В Московской области изучаемые участки представляли собой: паровое поле, залежи 6, 15 и 30-летнего возраста, а также вторичный липово-осиновый лес 65-летнего возраста (бывшие пахотные земли Опытной-полевой станции Института физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН). Залежи 15- и 30-летнего возраста периодически косились, поэтому возобновление древесной растительности на них не происходило. В Ростовской области сукцессионный хроноряд располагался на территории Агробиостанции Южного федерального университета и включал современную пашню, используемую под посевы озимой пшеницы или ячменя, и бывшие пахотные почвы различной длительности восстановления: 10, 15, 26 и 81 год.

Для характеристики биоразнообразия растительных сообществ использовался такой параметр, как общее видовое богатство (ОВБ), представляющий собой число видов произрастающих на том или ином участке, включая деревья и кустарники. Геоботаническое описание растительности в Московской и Костромской областях были выполнены в июле 2013-2014 гг. в период максимального развития травянистой растительности. Их проводили на серии учетных площадок размером  $10 \times 10 \text{ м}^2$  (Костромская область) и  $0.5 \times 0.5 \text{ м}^2$  (Московская область), заложенных по регулярной сетке. На каждой учетной площадке провели глазомерную оценку общего проективного покрытия травостоя и проективного покрытия каждого отдельного вида (Ипатов, Мирин, 2008). Описание растительности в залежном ряду на черноземах Ростовской области проводили в сентябре 2007 г. Так как в это время трудно корректно оценить количественно общее видовое разнообразие (весенние виды растительности к этому времени уже полностью исчезли), в работе приводится только название ассоциации.

Определение содержания органических форм углерода ( $C_{\text{орг}}$ ) и азота ( $N_{\text{орг}}$ ) проводили в смешанных образцах почв, отобранных методом конверта из слоя 0-20 см (бывший пахотный горизонт), на автоматическом CHNS-анализаторе (Leco, США) в 3-х кратной повторности (все повторности аналитические). Статистическая обработка результатов проводилась с использованием программы Microsoft Excel 2007. На графиках приведены средние значения и стандартная ошибка (SE).

## Результаты

По мере естественного зарастания пашни и сенокоса ОВБ увеличилось и достигло максимальных значений на лугах (залежи 13-, 15- и 30-ти летнего возраста), которые представляют собой самые представительные в видовом

отношении растительные сообщества. ОВБ достигло здесь максимальных значений, изменяясь от 21 до 32 (табл. 1). Однако возобновление древесной растительности на залежных почвах привело к снижению видового богатства, что было обусловлено полным исчезновением светолюбивой растительности под сомкнутым пологом леса. Таким образом, на залежах разного возраста в рассмотренных нами сукцессионных рядах имеет место увеличение биоразнообразия и постепенное восстановление климаксных сообществ, характерных для конкретных природно-климатических зон.

**Таблица 1.** Общая характеристика растительности исследуемых участков

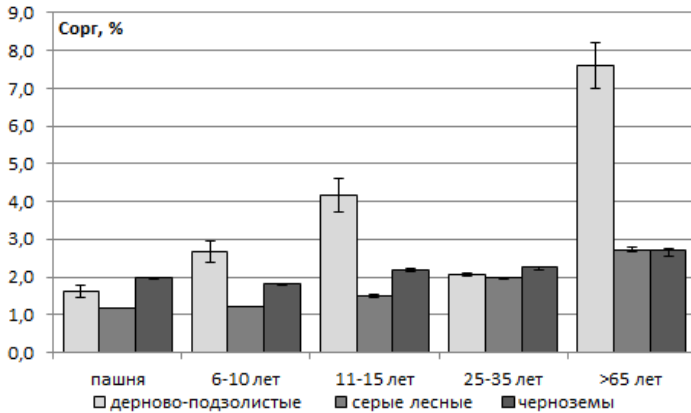
<b>Дерново-подзолистая легкоуглинистая почва (зона южной тайги)</b>					
Возраст залежи	пашня	8 лет	13 лет	35 лет	~100 лет
Ассоциация	злаковая (посев овса)	злаково-разнотравная	злаково-разнотравная с порослью ивы	осиново-березовый разнотравный лес	елово-березовый черничный лес
ОВБ*, число видов	не опр.	24	29	21	15
<b>Серая лесная среднесуглинистая почва (хвойно-широколиственная зона)</b>					
Возраст залежи	пашня	6 лет	15 лет	30 лет	65 лет
Ассоциация	паровое поле (разнотравная)	пырейно-разнотравная	овсянницево-разнотравная	злаково-разнотравная	лиственнотравный лес
ОВБ, число видов	6	13	21	32	18
<b>Чернозем обыкновенный карбонатно-мицелярный (степная зона)</b>					
Возраст залежи	пашня	10 лет	15 лет	26 лет	81 год
Ассоциация	злаковая (пшеница)	разнотравно-бобово-злаковая	пырейно-злаково-бобово-разнотравная	вейниково-типчакново-узкомятlikово-бобово-разнотравная	узкомятlikово-пырейно-типчакново-ковыльно-разнотравная
ОВБ, число видов**	не опр.	не опр.	не опр.	не опр.	не опр.

**Примечание:** \* ОВБ - общее видовое богатство, число видов (включая деревья и кустарники).

\*\* - описание растительности в черноземном залежном ряду проводили в сентябре. ОВБ не определяли.

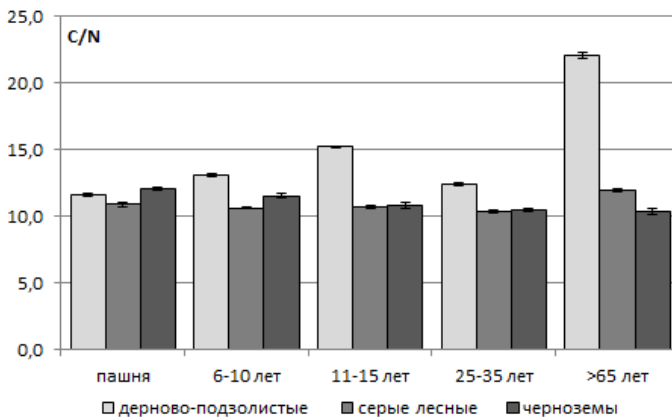
По мере зарастания пашни наблюдается также достоверное увеличение содержания  $C_{орг}$  в бывшем пахотном горизонте во всех изученных нами типах почвы (рис. 1). Однако при смене природно-климатических зон (от южно-таежной к степной) вышеуказанные изменения содержания  $C_{орг}$  в ходе постагрогенной сукцессии ослабевают в ряду: дерново-подзолистая почва – серая лесная почва – чернозем обыкновенный. Так, в дерново-подзолистой почве под лесом значение  $C_{орг}$  в 4.7 раза выше, чем на пахотных почвах. В хроноряду на серой лесной почве такое превышение составляет 2.3 раза, а в

черноземе обыкновенном – 1.4 раза (рис. 1). При этом наиболее существенный рост содержания  $C_{орг}$  в черноземах наблюдается только на заключительных стадиях сукцессии.



**Рисунок 1.** Содержание органического углерода в слое 0-20 см залежных почвах различного возраста и генетической принадлежности

В хроноряду залежей на дерново-подзолистой почве с развитием лесной растительности на процесс гумусонакопления накладывается процесс элювирования органического вещества. Вследствие этого, на залежи 35 лет наблюдается некоторое обеднение верхней минеральной части профиля органическим веществом по сравнению с залежью 13-летнего возраста. Однако во вторичном елово-березовом лесу вследствие формирования полноценной лесной подстилки обогащенность углеродом верхней части минерального горизонта снова возрастает, и содержание  $C_{орг}$  достигает здесь  $7.6 \pm 0.6\%$  за счет грубогумусных соединений подстилки, которые благодаря жизнедеятельности мезофауны перемешиваются с минеральной матрицей верхнего слоя почвы. Аналогичная тенденция изменения содержания углерода на стадиях естественного зарастания пашни разнотравьем и лесными породами отмечается на агросерых почвах Курской области (Замотаев и др., 2016).



**Рисунок 2.** Обогащенность азотом органического вещества залежных почв различного возраста и генетической принадлежности

Обогащенность органического вещества азотом в старопахотной толще существенно изменяется по мере восстановления естественной растительности на пашне (рис. 2). Так, на бывшей пашне, приуроченной к дерново-подзолистой почве соотношение C/N в органическом веществе существенно увеличивается по мере возобновления лесной растительности. На серых лесных почвах при зарастании пашни увеличение соотношения C/N в верхней части старопахотного горизонта не столь существенно по сравнению с хронорядом залежных дерново-подзолистых почв, и здесь можно говорить лишь о тенденции. При зарастании черноземов, наоборот, отмечается значимое уменьшение данного показателя, но только в первые 10-15 лет после прекращения распашки. Можно предположить, что при движении с севера на юг от южной тайги к лесостепной зоне гумификация растительных остатков идет более интенсивно и азот активно включается в специфические гумусовые соединения ароматической природы (Орлов и др., 1996).

### Обсуждение

Проведенные исследования показали, что агроценозы после выведения их из сельскохозяйственного оборота вступают в сложный процесс самовосстановления, идущий в направлении исходного зонального типа (Агроэкологическое состояние..., 2008; Васенев, 2008; Курганова, Лопес де Гереню, 2009). Сначала, в течение первых 3-5 лет, бывшие сельскохозяйственные угодья проходят рудеральную стадию. Дальнейшее восстановление растительного покрова на залежных землях и его скорость зависят от природно-климатических условий. Так, например, по данным Д.И. Люри и соавт. (2010) в зоне средней и южной тайги уже через 170-180 лет на залежах формируются типичные квазиклимаксные еловые леса (зеленомошно-брусничные, черничные, разнотравные), отличающиеся от ненарушенных более однородной возрастной структурой и меньшим числом редких видов. В зоне широколиственных лесов восстановление климаксной растительности (снытевых дубрав) происходит ориентировочно за 80-100 лет. В лесостепи для образования климаксной растительности – разнотравной степи с дерновинными злаками – нужно не менее 50-60 лет (Люри и др., 2010).

Смена растительных сообществ на бывших пахотных почвах неизбежно отражается на свойствах почвенного покрова, где также идет процесс восстановления почвенного плодородия, который сопровождается увеличением содержания органического углерода, особенно в бывшем пахотном слое (Kalinina et al., 2015; Baeva et al., 2017). Так, в почвах всех рассмотренных нами типов происходит достоверное увеличение запасов органического углерода в ряду *пашня – залежи – лес*. При этом низкие запасы углерода на пашне связаны с невысоким поступлением свежего органического вещества в эти почвы. После выведения пахотных почв из сельскохозяйственного оборота на них начинает развиваться сорная растительность, которая со временем сменяется естественным зональным ценозом. Как следствие увеличивается поступление большего количества свежего органического материала в виде

---

растительного и корневого опада и отсутствия отчуждения биомассы в виде урожая. Все это способствует накоплению углерода в бывшем пахотном слое, особенно в верхней его части.

Хотя скорость и направление процессов восстановления экосистем на месте залежей определяются, главным образом, их зональной локализацией и характером субстратов, ход постагрогенной сукцессии могут существенно изменить такие факторы, как степень антропогенного преобразования пашни, начальное состояние залежи и ее использование после забрасывания. Это во многом объясняет, что при смене природно-климатических зон с севера на юг отмеченный нами тренд увеличения содержания органического углерода ослабевает в ряду *дерново-подзолистая почва – серая лесная почва – чернозем обыкновенный*. Это обусловлено, по-видимому, с одной стороны, более низкой продуктивностью луговой растительности в степной зоне, чем в зонах южной тайги и широколиственных лесов (Базилевич, 1993), с другой – большей устойчивостью органического вещества черноземных почв к деградации в результате их сельскохозяйственного использования (Васенев, 2008; Артемьева, 2010; Six et al., 2004; Kalinina et al., 2015).

Полученные нами результаты по увеличению запасов органического углерода в почве после изменения системы землепользования подтверждаются многочисленными литературными данными. Так, например, по данным А.А. Романовской (2008) дерново-подзолистые суглинистые почвы в Свердловской области за 16 лет зарастания накапливали в среднем  $0.08 \pm 0.03\% \text{ C} \cdot \text{год}^{-1}$ , а содержание органического углерода чернозема оподзоленного за такой же период времени увеличилось на 0.94%. В Московской области серые лесные почвы в течение 15-ти лет после забрасывания в среднем накопили около 0.5% C; дерново-подзолистые суглинистые почвы – 0.3% C и дерново-подзолистые супесчаные – 0.6% C (Романовская, 2008). Согласно Л.Р. Мукиной и соавт. при зарастании черноземов обыкновенных в Красноярском крае происходило заметное увеличение содержания  $\text{C}_{\text{орг}}$  в слое 0-20 см от 2.39% на пашне до 4.32-4.35% на залежах 7-14 лет (Мукина и др., 2006).

## Заключение

После выведения почвы из сельскохозяйственного использования происходит изменение видового состава растительности, увеличение биоразнообразия и постепенное восстановление климаксных сообществ, характерных для конкретной природно-климатической зоны. При этом самыми богатыми в видовом отношении растительными сообществами являются луга, сформированные на залежах 13-, 15- и 30-ти летнего возраста.

Наряду с сукцессией фитоценозов из-за отсутствия отчуждения растительного материала с урожаем в почвах различных природно-климатических зон происходит достоверное увеличение запасов органического углерода в ряду *пашня – залежи – лес*. Такое накопление органического вещества в старопашотном горизонте обусловлено на первых этапах постагрогенной сукцессии

---



---

активным образованием дернины, а на ее конечной стадии - поступлением листового опада древесного яруса.

При смене природно-климатических зон с севера на юг изменения содержания органического углерода в ходе постагрогенной сукцессии ослабевают в ряду *дерново-подзолистая почва – серая лесная почва – чернозем обыкновенный*. Так, в дерново-подзолистой почве под лесом значение  $C_{\text{орг}}$  в 4.7 раза выше, чем на пахотных почвах. В хроноряду на серой лесной почве такое превышение составляет 2.3 раза, а в черноземе обыкновенном – 1.4 раза. При этом значимый рост запасов углерода в черноземах и серых лесных почвах наблюдается только на заключительных стадиях сукцессии. Это обусловлено более высокой продуктивностью луговой растительности в зонах южной тайги и широколиственных лесов по сравнению со степной зоной, а также не столь существенным преобразованием органопрофиля пахотного чернозема по сравнению с органопрофилем зональной почвы.

### Список литературы

Агроэкологическое состояние и перспективы использования земель России, выбывших из активного сельскохозяйственного оборота. 2008. /Под ред. Г.А. Романенко.– М., ФГНУ Росинформагротех, 64 с.

Артемяева З.С. 2010. Органическое вещество и гранулометрическая система почвы. – М., ГЕОС, 240 с.

Базилевич Н.И. 1993. Биологическая продуктивность экосистем Северной Евразии. – М., Наука, 293 с.

Васенев И.И. 2008. Почвенные сукцессии. – М., Изд-во ЛКИ, 400 с.

Замотаев И.В., Белобров В.П., Курбатова А.Н., Белоброва Д.В. 2016. Агрогенная и постагрогенная трансформация почв Львовского района Курской области. – Бюллетень Почвенного института им. В.В. Докучаева, вып. 85, с. 97-113.

Ипатов В.С., Мирин Д.М. 2008. Описание фитоценоза: методические рекомендации. – СПб., 71 с.

Коробова Л.Н. 2004. Микробные ценозы черноземных почв по мере их зацеленения.- Материалы IV съезда Докучаевского общества почвоведов. – Новосибирск, кн. 1, с. 632.

Курганова И.Н., Лопес де Гереню В.О. 2009. К чему ведет сокращение пахотных земель. – Природа, № 11, с. 20–27.

Лопес де Гереню В.О., Курганова И.Н., Ермолаев А.М., Кузяков Я.В. 2009. Изменение пулов органического углерода при самовосстановлении пахотных черноземов. – Агрохимия, № 5, с. 5-12.

Люри Д.И., Горячкин С.В., Караваева Н.А. и др. 2010. Динамика сельскохозяйственных земель России в XX веке и постагрогенное восстановление растительности и почв. – М., ГЕОС, 416 с.

---

---

Мукина Л.Р., Шпедт А.А., Золотухин Г.Е. 2006. Гумусное состояние черноземов Красноярского края в условиях залежи. – Материалы II Международной научно-практической конференции «Почва как связующее звено функционирования природных и антропогенно-преобразованных экосистем». – Иркутск, с. 217-219.

Орлов Д.С., Бирюкова О.Н., Суханова Н.И. 1996. Органическое вещество почв России. – М., Наука, 254 с.

Романовская А.А. 2008. Основы мониторинга антропогенных эмиссий и стоков парниковых газов (CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O, CH<sub>4</sub>) в животноводстве, при сельскохозяйственном землепользовании и изменении землепользования в России. – Автореф. дис. ... докт. биол. н. – М., 42 с.

Amato M., Ladd J.N. 1992. Decomposition of <sup>14</sup>C-labelled glucose and legume material in soils: properties influencing the accumulation of organic residue C and microbial biomass C. – *Soil Biology and Biochemistry*, vol. 24, pp. 455-464.

Baeva Yu. I., Kurganova I.N., Lopes de Gerenyu V.O., Pochikalov A.V., Kudryarov V.N. 2017. Changes in Physical Properties and Carbon Stocks of Gray Forest Soils in the Southern Part of Moscow Region during Postagrogenic Evolution. – *Eurasian Soil Science*, vol. 50, No. 3, pp. 327-334.

Cheshire M.V., Chapman S.J. 1996. Influence of the N and P status of plant material and of added N and P on mineralization of C from <sup>14</sup>C-labelled ryegrass in soil. – *Biology Fertility of Soils*, vol. 21, pp. 166-170.

Jenkinson D.S. 1977. Studies on the decomposition of plant materials in soil. – *Journal of Soil Science*, vol. 28, pp. 424-434.

Kalinina O., Goryachkin S.V., Lyuri D.I., Giani L. 2015. Post-agrogenic development of vegetation, soils and carbon stocks under self-restoration in different climatic zones of European Russia. – *Catena*, vol. 129, pp.18-29.

Kätterer T., Reichstein M., Andren O., Lomander A. 1998. Temperature dependence of organic matter decomposition: a critical review using literature data analyzed with different model. – *Biology Fertility of Soils*, vol. 27, pp. 258-262.

Kovalenko C.G., Ivarson K.S., Cameron D.R. 1978. Effect of moisture content, temperature and nitrogen fertilization on carbon dioxide evolution from field soils. – *Soil Biology and Biochemistry*, vol. 10, pp. 417-423.

Kurganova I., Lopes de Gerenyu V., Kuzyakov Y. 2015. Large-scale carbon sequestration in post-agrogenic ecosystems in Russia and Kazakhstan. – *Catena*, vol. 133, pp. 461-466.

Kurganova I., Lopes de Gerenyu V., Six J., Kuzyakov Y. 2014. Carbon cost of collective farming collapse in Russia. – *Glob. Chang. Biol.*, vol. 20, pp. 938-947.

Larionova A.A., Rozonova L.N., Yevdokimov I.V., Yermolayev A.M., Kurganova I.N., Blagodatsky S.A. 2003. Land-use change and management effects on carbon sequestration in soils of Russia's South Taiga zone. – *Tellus B*, vol. 55, pp. 331-337.

---

---

Lomander A., Kätterer T., Andren O. 1998. Carbon dioxide evolution from top- and subsoil as affected by moisture and constant and fluctuation temperature. – *Soil Biology and Biochemistry*, vol. 30, No. 14, pp. 2017-2022.

Martens D.A. 2000. Plant residue biochemistry regulates soil carbon cycling and carbon sequestration. – *Soil Biology and Biochemistry*, vol. 32, pp. 361-369.

Post W.M., Kwon K.C. 2000. Soil carbon sequestration and land use change: processes and potential. – *Global Change Biol.*, vol. 6, pp. 317-327.

Rustad L.E., Huntington T.G., Boone R.D. 2000. Controls on soil respiration: Implication for climate change. – *Biogeochemistry*, vol. 48, pp. 1-6.

Shevtsova L., Romanenkov V., Sirotenko O., Smith P., Smith Jo U., Leech P., Kanzyvaa S., Rodionova V. 2003. Effect of natural and agricultural factors on long-term soil organic matter dynamics in arable soddy-podzolic soils – modelling and observation. – *Geoderma*, vol. 116, pp. 165-189.

Six J., Bossuyt H., Degryze S., Deneff K. 2004. A history of research on the link between (micro) aggregates, soil biota, and soil organic matter dynamics. – *Soil Till. Res.*, vol. 79, pp. 7-31.

## References

*Agroekologicheskoe sostoianie i perspektivy ispol'zovaniia zemel' Rossii, vybyvshikh iz aktivnogo sel'skokhoziaistvennogo oborota* [Agroecological state and prospects for the use of the lands of Russia, who left the active agricultural turnover]. 2008. Moscow, 64 p.

Artem'eva Z.S. 2010. *Organicheskoe veshchestvo i granulometricheskaia sistema pochvy* [The organic matter of the soil and grading system]. Moscow, 240 p.

Bazilevich N.I. 1993. *Biologicheskaiia produktivnost' ekosistem Severnoi Evrazii* [Biological productivity of Northern Eurasia ecosystems]. Moscow, 293 p.

Vasenev I.I. 2008. *Pochvennye suksessii* [Soil succession]. Moscow, 400 p.

Zamotaev I.V., Belobrov V.P., Kurbatova A.N., Belobrova D.V. 2016. Agrogenaia i postagrogenaia transformatsiia pochv L'govskogo raiona Kurskoi oblasti [Agrogenic and postagrogenic transformation of soils in the Lgov District of the Kursk Region]. *Biulleten' Pochvennogo instituta im. V.V. Dokuchaeva - Bulletin of the Soil Institute V.V. Dokuchaeva*, vol. 85, pp. 97-113. DOI: 10.19047/0136-1694-2016-85-97-114

Ipatov V.S., Mirin D.M. 2008. *Opisanie fitotsenoza: metodicheskie rekomendatsii* [Description phytocenosis]. St. Petersburg, 71 p.

Korobova L.N. 2004. Mikrobnye tsenozy chernozemnykh pochv po mere ikh zatseleneniia [Microbial cenoses of chernozem soils as they become covered]. *Materialy IV s'ezda Dokuchaevskogo obshchestva pochvovedov* [Materials of the IV Congress of the Dokuchaev Soil Science Society]. Novosibirsk, book 1, p. 632.

---

---

Kurganova I.N., Lopes de Gereniu V.O. 2009. K chemu vedet sokrashchenie pakhotnykh zemel' [What does the arable land lead to?]. *Priroda – Nature*, no. 11, pp. 20-27.

Lopes de Gereniu V.O., Kurganova I.N., Ermolaev A.M., Kuziakov Ia.V. 2009. Izmenenie pulov organicheskogo ugleroda pri samovosstanovlenii pakhotnykh chernozemov [Change in pools of organic carbon in the self-restoration of arable chernozems]. *Agrokhimiiia – Agrochemistry*, no. 5, pp. 5-12.

Liuri D.I. Goriachkin S.V., Karavaeva N.A. i dr. 2010. *Dinamika sel'skokhoziaistvennykh zemel' Rossii v XX veke i postagrogennoe vosstanovlenie rastitel'nosti i pochv* [Dynamics of agricultural lands in Russia in the 20th century and the post-growth restoration of vegetation and soils]. Moscow, 416 p.

Mukina L.R., Shpedt A.A., Zolotukhin G.E. 2006. Gumusnoe sostoianie chernozemov Krasnoiarского kraia v usloviiakh zalezhi [Humus condition of chernozems of the Krasnoyarsk Territory in the conditions of the deposit]. *Materialy II Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii «Pochva kak sviazuiushchee zveno funktsionirovaniia prirodnykh i antropogenno-preobrazovannykh ekosistem»* [Proceedings of the II International Scientific and Practical Conference «Soil as a link for the functioning of natural and anthropogenically transformed ecosystems»]. Irkutsk, pp. 217-219.

Orlov D.S., Biryukova O.N., Sukhanova N.I. 1996. *Organicheskoe veshhestvo pochv Rossii* [Organic matter in soils of Russia]. Moscow, 254 p.

Romanovskaia A.A. 2008. *Osnovy monitoringa antropogennykh emissii i stokov parnikovykh gazov (CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O, CH<sub>4</sub>) v zhivotnovodstve, pri sel'skokhoziaistvennom zemlepol'zovanii i izmenenii zemlepol'zovaniia v Rossii* [Basis for Monitoring Anthropogenic Emissions and Sinks of Greenhouse Gases (CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O, CH<sub>4</sub>) in Livestock, Agricultural Land Use and Land Use Change in Russia]. Extended abstract of Doctor's thesis. Moscow, 42 p.

Amato M., Ladd J.N. 1992. Decomposition of <sup>14</sup>C-labelled glucose and legume material in soils: properties influencing the accumulation of organic residue C and microbial biomass C. – *Soil Biology and Biochemistry*, vol. 24, pp. 455-464.

Baeva Yu. I., Kurganova I.N., Lopes de Gerenyu V.O., Pochikalov A.V., Kudyarov V.N. 2017. Changes in Physical Properties and Carbon Stocks of Gray Forest Soils in the Southern Part of Moscow Region during Postagrogenic Evolution. – *Eurasian Soil Science*, vol. 50, No. 3, pp. 327-334.

Cheshire M.V., Chapman S.J. 1996. Influence of the N and P status of plant material and of added N and P on mineralization of C from <sup>14</sup>C-labelled ryegrass in soil. – *Biology Fertility of Soils*, vol. 21, pp. 166-170.

Jenkinson D.S. 1977. Studies on the decomposition of plant materials in soil. – *Journal of Soil Science*, vol. 28, pp. 424-434.

Kalinina O., Goryachkin S.V., Lyuri D.I., Giani L. 2015. Post-agrogenic development of vegetation, soils and carbon stocks under self-restoration in different climatic zones of European Russia. – *Catena*, vol. 129, pp. 18-29.

---

---

Kätterer T., Reichstein M., Andren O., Lomander A. 1998. Temperature dependence of organic matter decomposition: a critical review using literature data analyzed with different model. – *Biology Fertility of Soils*, vol. 27, pp. 258-262.

Kovalenko C.G., Ivarson K.S., Cameron D.R. 1978. Effect of moisture content, temperature and nitrogen fertilization on carbon dioxide evolution from field soils. – *Soil Biology and Biochemistry*, vol. 10, pp. 417-423.

Kurganova I., Lopes de Gerenyu V., Kuzyakov Y. 2015. Large-scale carbon sequestration in post-agrogenic ecosystems in Russia and Kazakhstan. – *Catena*, vol. 133, pp. 461-466.

Kurganova I., Lopes de Gerenyu V., Six J., Kuzyakov Y. 2014. Carbon cost of collective farming collapse in Russia. – *Glob. Chang. Biol.*, vol. 20, pp. 938-947.

Larionova A.A., Rozonova L.N., Yevdokimov I.V., Yermolayev A.M., Kurganova I.N., Blagodatsky S.A. 2003. Land-use change and management effects on carbon sequestration in soils of Russia's South Taiga zone. – *Tellus B*, vol. 55, pp. 331-337.

Lomander A., Kätterer T., Andren O. 1998. Carbon dioxide evolution from top- and subsoil as affected by moisture and constant and fluctuation temperature. – *Soil Biology and Biochemistry*, vol. 30, No. 14, pp. 2017-2022.

Martens D.A. 2000. Plant residue biochemistry regulates soil carbon cycling and carbon sequestration. – *Soil Biology and Biochemistry*, vol. 32, pp. 361-369.

Post W.M., Kwon K.C. 2000. Soil carbon sequestration and land use change: processes and potential. – *Global Change Biol.*, vol. 6, pp. 317-327.

Rustad L.E., Huntington T.G., Boone R.D. 2000. Controls on soil respiration: Implication for climate change. – *Biogeochemistry*, vol. 48, pp. 1-6.

Shevtsova L., Romanenkov V., Sirotenko O., Smith P., Smith Jo U., Leech P., Kanzyvaa S., Rodionova V. 2003. Effect of natural and agricultural factors on long-term soil organic matter dynamics in arable soddy-podzolic soils – modelling and observation. – *Geoderma*, vol. 116, pp. 165-189.

Six J., Bossuyt H., Degryze S., Denef K. 2004. A history of research on the link between (micro) aggregates, soil biota, and soil organic matter dynamics. – *Soil Till. Res.*, vol. 79, pp. 7-31.

*Статья поступила в редакцию: 09.04.2017*

*После переработки: 24.07.2017*