

УДК 631.425

DOI: 10.37102/2782-1978_2022_2_3

Агроэкологическое состояние почв и восстановление растительности в залежных экосистемах

Максим Леонидович Бурдуковский^{1✉}, Полина Александровна Перепелкина²

Федеральный научный центр биоразнообразия наземной биоты Восточной Азии ДВО РАН,
Владивосток, 690022, Российская Федерация,

[✉] mburdukovskii@gmail.com, orcid.org/0000-0003-1806-6721

² polly2004@list.ru, orcid.org/000-0001-7652-9443

Аннотация. Представлены результаты изучения структуры растительных сообществ и некоторых агрохимических свойств почв в ходе постагрогенной трансформации залежных экосистем. Работа проведена в Амурской области в Благовещенском районе на залежах 5-, 10- и 20-летнего возраста. В качестве контроля использовался рядом расположенный участок леса. Наиболее устойчивыми доминантами в залежных экосистемах являются веернозлаковые и полынные синузии. Запас общей фитомассы увеличивается по мере постагрогенного восстановления растительности. По уровню кислотности исследуемые почвы относятся к среднекислым. Значимой разницы в значениях pH солевой вытяжки между почвой разновозрастных залежей не выявлено. В 20-летних залежах отмечено увеличение содержания гумуса в верхнем пахотном слое на 17%, по сравнению с 5-летними. Содержание подвижных форм фосфора в почвах залежей «очень низкое», обеспеченность обменным калием снижается с увеличением возраста постагрогенного периода от «повышенных» до «средних» значений. Содержание гумуса, запасы углерода, подвижных форм фосфора и калия в верхней части профиля залежных почв существенно ниже, чем на контроле.

Ключевые слова: залежи, постагрогенные почвы, восстановление растительности, агрохимическая характеристика, запасы углерода.

Agroecological state of soils and vegetation recovery in fallow ecosystems

Maksim L. Burdukovskii^{1✉}, Polina A. Perepelkina²

Federal Scientific Center of the East Asia Terrestrial Biodiversity, Far Eastern Branch
of the Russian Academy of Sciences, Vladivostok, 690002, Russian Federation

[✉] mburdukovskii@gmail.com, orcid.org/0000-0003-1806-6721

² polly2004@list.ru, orcid.org/000-0001-7652-9443

Abstract. We studied changes in the vegetation recovery and some agrochemical properties of soils during their postagrogenic evolution. The studies were conducted in the Blagoveshchensky District (Amur Oblast) on abandoned agricultural fields (5, 10, 20 years after abandonment). We used a lot in the nearby native forest as a reference site. The families *Artemisia* and *Poaceae* formed the plant community basis in the abandoned land. The plant phytomass reserves increased along with the recovery of vegetation. The studied fallow soil was medium acidic. There were no significant differences in the pH values in the fallow soils of different ages. An increase in the content of humus by 17% in the upper arable layer was detected in the 20-year-old fallow soils compared to 5-year-olds. The mobile forms of phosphorus content in the fallow soils was very low. The content of mobile forms of potassium reduced from increased to average levels along with the length of the postagrogenic period. Humus content, carbon stock, mobile forms of phosphorus and potassium in the upper part of the fallow soils profile were significantly lower than in the reference site.

Key words: fallow soils, postagrogenic soils, vegetation recovery, agrochemical characteristics, carbon stock.

Введение

Выведение из оборота части земель под залежь – естественный процесс развития сельскохозяйственной отрасли. На территории всех стран с развитым сельским хозяйством есть земли, использование которых становится неэффективным по экономическим причинам. В глобальном масштабе с 1700 до 1990 года было заброшено примерно 1.5×10^6 км² пахотных земель (Ramankutty, Foley 1999). Наибольшее

сокращение посевных площадей отмечено в экономически развитых странах, а также в государствах, имеющих в территориальном составе горные районы. В частности, такое сокращение описано в Восточной Европе (Cramer et al. 2008; Alcantara et al. 2012), Юго-Восточной Азии (Li, Li 2017) и на территории бывшего СССР (Kurganova, Lopes de Gerenyu 2008; Ioffe et al. 2013; Kalinina et al. 2015; Telesnina et al. 2017). В России резкому сокращению пахотных почв способствовал экономический кризис, начавшийся в начале 90-х годов XX века. Согласно сельскохозяйственной переписи 2016 г., общая площадь неиспользуемых угодий в России составляла 97.2 млн га, что составляет 44% от площади пахотного фонда страны (ROSSTAT 2018).

Использование земель под пашню приводит к серьезным, часто негативным, изменениям природных экосистем. В результате распашки происходит трансформация режимов абиотической среды (водного и теплового), развиваются эрозийные процессы, нарушается баланс веществ, в той или иной степени изменяется весь комплекс почвенных свойств. Сукцессионные процессы на залежах – сложный процесс восстановления растительности и почвенного плодородия. При зарастании заброшенных сельскохозяйственных угодий, особенно после долгого их использования, существенно изменяются основные физические, химические и биологические свойства почвы (Cramer et al. 2008; Falkengren-Grerup et al. 2005; Telesnina et al. 2017). В литературе имеется информация об изменении кислотности почвы, содержания обменных форм магния, кальция, алюминия и железа (Falkengren-Grerup et al. 2005), а также запасов углерода и микробиологической активности почв (Kurganova, Lopes de Gerenyu 2008; Ananyeva et al. 2009; Kalinina et al. 2009; Vladychenskii et al. 2013; Kalinina et al. 2015; Telesnina et al. 2017). Известно, что между растительностью и почвой существует тесная взаимосвязь, состоящая в наличии выраженной корреляции между количеством видов растений и химическими показателями почвы (Ananyeva et al. 2009; Kalinina et al. 2015; Artemyeva, 2017; Telesnina et al. 2017).

В течение последних нескольких лет сельскохозяйственная отрасль России демонстрирует высокие темпы роста. В этой связи актуальными становятся вопросы восстановления почвенных свойств залежей, а так же оценка их рационального использования. Особенно важно изучение залежей на разных стадиях сукцессий растительных сообществ, поскольку экономические затраты на возвращение в оборот заброшенных сельскохозяйственных земель сильно различаются в зависимости от возраста залежи. Оценка продуктивности растительности позволяет судить о функционировании экосистемы в целом, определить основные потоки вещества и энергии, протекающие уже непосредственно в почве (Kechaikina et al. 2011).

Цель данной работы – изучение структуры растительных сообществ и некоторых агрохимических свойств почв в ходе постагрогенной трансформации залежных экосистем Амурской области.

Материалы и методы

Работы проведены в Амурской области в Благовещенском районе на залежах пяти- (N50.647432, E127.483219), десяти- (N50.640596, E127.477931) и 20-летнего (N50.645740, E127.482594) возраста. Поля принадлежали бывшему совхозу «Новомихайловский» и использовались под полевые севообороты.

В районе исследований преобладают бурые лесные глееватые и глеевые почвы. Почвы бывших сельхозугодий принадлежат к классу агробуроземы темные постагрогенные структурно метаморфические (Шишов и др. 2004). В качестве контроля мы использовали расположенный рядом участок леса (N50.643121, E127.490102),

как климаксное сообщество, к которому стремятся исследуемые восстановительные сукцессии. Тип почвы на контрольном варианте – бурозем слабонасыщенный.

Исследуемые буроземы формируются в зоне хвойно-широколиственных и широколиственных лесов, в основном на пологих участках склонов с затруднённым водообменом и тяжелосуглинистыми почвообразующими породами. В естественном состоянии они имеют подстилку мощностью не более 3 см и обладают четким переходом генетических горизонтов. Пахотный горизонт агробуроземов района исследований характеризуются очень низким содержанием гумуса. Почвы используются под зерновые, технические, кормовые, плодовые и овощные культуры. Ввиду интенсивного освоения земель в 1950–1970-х гг. в Приамурье большие площади этих почв были вовлечены в пашню, а в 1990-е гг. заброшены из-за низкого плодородия и экономического кризиса (Антоненко, Сибилева 2016).

На каждом исследуемом участке был заложен разрез для уточнения классификационной принадлежности почвы. Смешанные образцы почвы отбирали послойно по всему профилю заложенных разрезов и трех прикопок. В образцах определяли кислотность почв (рН солевой вытяжки) на рН-метре Mettler Toledo S220-Kit (Швейцария), содержание углерода органического вещества (Сорг) методом И. В. Тюрина в модификации В. Н. Симакова, поглощённые основания – по Г. И. Шолленбергеру, подвижные формы фосфора и калия – по А. Т. Кирсанову (Аринушкина 1970; Орлов, Гришина 1981). Полученные результаты анализа показателей свойств почв оценивали по общепринятым шкалам (Workshop in the agrochemistry 2001). Всего проанализировано 48 образцов.

Запасы Сорг рассчитаны для слоев 0–20 и 0–50, где сосредоточено основное количество почвенного органического вещества, по формуле, предложенной Д. С. Орловым, и Л. А. Гришиной (1981):

$$Q = \text{Сорг} \times d \times H \times 100.$$

При этом Q – запасы Сорг (т/га), Сорг – содержание углерода органического вещества (%) в слое почвы мощностью H (см) и плотностью сложения d (г/см³).

Для изучения особенностей развития исследуемых залежей проведён анализ травянистой растительности. Описание растительности произведено по стандартным геоботаническим методам (Раменский 1971). Видовой состав и проективное покрытие видов учитывали на площадке 10х10 метров. При определении мест закладки площадок выбирали однородный участок, наиболее полно характеризующий фитоценоз залежи.

Надземную фитомассу травяного яруса отбирали методом укосов (площадь 0.5х0.5 м в 3-кратной повторности), подземную – методом монолитов (площадки 0.25х0.25 м в 3-кратной повторности до глубины 20 см). Подземные органы растений замачивали и отмывали на ситах. Растительные образцы высушивали до абсолютно сухого веса и взвешивали. Запасы фитомассы оценивались в период максимального развития растений. Все цифры пересчитаны на площадь 1 м².

Результаты и обсуждение

После вывода земель из сельскохозяйственного оборота ведущую роль в постагрогенной трансформации почв играет смена растительности. Динамика видового состава растительного покрова в ходе постагрогенной сукцессии в разных биоклиматических зонах заметно различается в зависимости от экотопических условий, особенно – фитоценотического окружения. На возобновление растительного покрова

оказывает сильное влияние режим использования бывших сельскохозяйственных угодий и банк семян в почвах постагрогенной сукцессии (Cramer et al. 2008; Kalinina et al. 2015; Telesnina et al. 2017).

В ходе исследований установлено (рис. 1), что на молодых 5-летних залежах основу растительного сообщества формирует семейство Asteraceae с доминированием представителей *Artemisia* (*Artemisia scoparia*, *A. mandshurica*). Отмечено значительное присутствие семейства Poaceae (*Poa angustifolia*, *Elitrigia repens*) и семейства Fabaceae с проективным покрытием до 20% (рис. 1). Встречаются рудеральные виды трав, но их доля участия в сообществе довольно низкая. Общее проективное покрытие травостоя не превышает 70%. На 10-летних залежах общее проективное покрытие трав повышается до 100%. Увеличивается доля участия представителей *Artemisia* до 72% и разнотравья до 10%, снижается участие в фитоценозе семейства Fabaceae. Появляются представители древесных – мелкий подрост *Salix miyabeana* встречается единично и не превышает 10 см в высоту. На 20-летних залежах структура травянистого покрова становится более мозаичной, доминантами остаются представители *Artemisia*, существенно возрастает доля участия семейства Poaceae, а именно *Calamagrostis extremiorientalis* – до 17%. Также в структуре растительного сообщества до 22% увеличивается доля разнотравья. Идёт активное возобновление *Salix miyabeana*, *S. nipponika*, их распределение по залежи носит сгруппированный характер. Единично встречается подрост *Populus tremula* высотой до 50 см.

Масса надземной фитомассы в залежных экосистемах варьировала от 441 до 576 г/м², подземной – от 310 до 490 г/м² (табл. 1). На залежах в верхнем слое почвы доля корней увеличивается с возрастом, что может быть связано с изменением растительного сообщества и с улучшением минерального питания за счет разложения накапливающегося опада (Telesnina et al. 2017). Основная масса корней сосредоточена в слое 0–10 см, ниже проникновение корней резко снижается. Минимальный запас общей фитомассы отмечен на молодых 5-летних залежах – 752 г/м³. В лесу общий запас травянистой растительности составил 804 г/м³. Соотношения надземной и подземной фитомасс составляют 1.2–1.4 : 1.

Вывод почвы из оборота и переход ее в залежное состояние неизбежно сопровождается сменой растительного покрова, что влечет за собой изменения в содержании

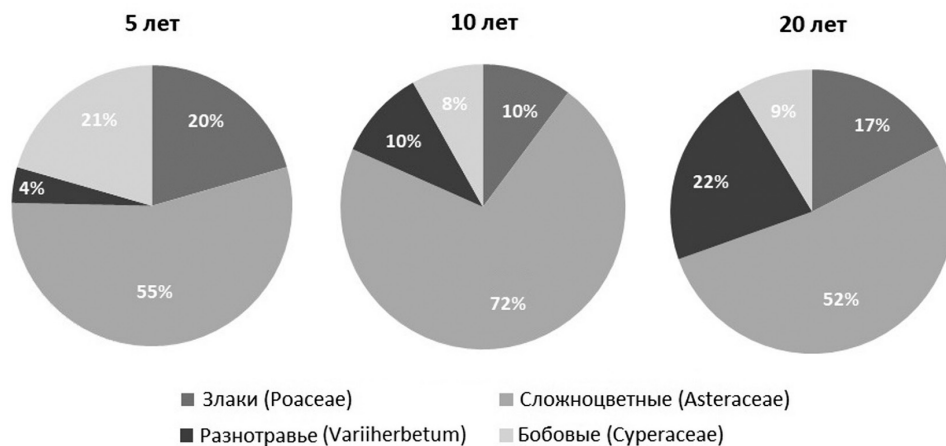


Рис. 1. Соотношение растительных групп в травостое залежных буроземов различного возраста.

Fig. 1. Ratio of plant groups in the grasses in the abandoned burozems of different ages.

Табл. 1. Надземная и подземная травянистая фитомасса на залежных буроземах различного возраста, г/м² (вес воздушно-сухой).

Tab. 1. Overground and underground grassy phytomass in the abandoned burozems of different ages, g/m² (air-dry weight).

Возраст / Ages	Общий запас фитомассы / Supply of phytomass	Надземная фитомасса / Overground phytomass	Подземная фитомасса / Underground phytomass	Соотношение фитомасс / Ratio of phytomass
5 лет	751.58	441.58	310.12	1.4 : 1
10 лет	1023.05	571.05	452.07	1.3 : 1
20 лет	1066.96	576.96	490.15	1.2 : 1
Лес	803.64	458.64	345.01	1.3 : 1

и запасах органического вещества, особенно в верхней толще (Литвинович, Павлова, Чернов 2002; Kurganova, Lopes De Gerenyu 2008, Курганова, Лопес де Гереню 2009; Telesnina et al. 2017). Содержание Сорг в исследуемых буроземах невысокое. Максимальные запасы углерода в слое 0–20 и 20–50 отмечены в почве под лесом (49 т/га и 89 т/га по слоям соответственно). На залежах самые высокие показатели запасов Сорг отмечены в 10-летних вариантах, самые низкие – в 20-летних. Факт снижения запасов почвенного углерода в постагрогенных сукцессиях часто отмечается в научной литературе (Litvinovich, Pavlova 2007; Vladychenskii et. al. 2013; Ryzhova et al. 2014; Артемьева 2017; Karelin et al. 2017), что объясняется резким изменением биологического круговорота и постепенным формированием травянистого яруса с нехваткой свежего органического вещества.

Характер взаимосвязи сукцессии с динамикой свойств постагрогенных почв, особенно гумусного состояния, зависит от физико-географических особенностей территории (Kalinina et al. 2015). Динамика изменения содержания гумуса с увели-

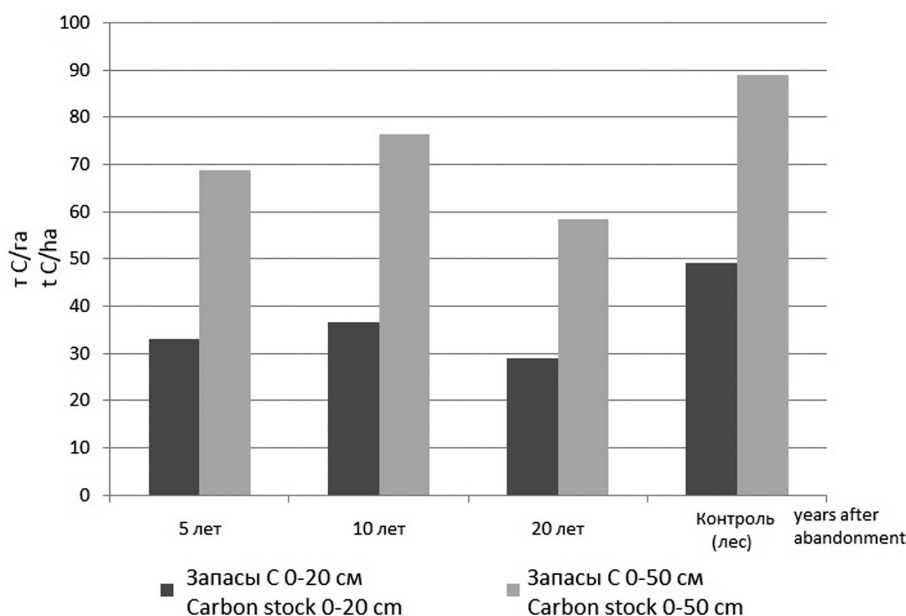


Рис. 2. Запасы углерода в залежных буроземах различного возраста.

Fig. 2. Carbon stock in the abandoned burozems of different ages.

чением возраста положительная, но незначительная: разница между 5-летней и 20-летней залежью составляет 17% в верхнем слое почвы (табл. 2). В почве под лесом содержание гумуса выше, чем в почвах постагрогенных сукцессий (5.1% в слое 0–20 см и 1.92% в нижележащем).

Табл. 2. Агрохимические показатели залежных буроземов Амурской области.

Tab. 2. Agrochemical properties of the abandoned burozems of the Amur Region.

Глубина (см) Depth (cm)	Гумус Humus content (%)	pH		P ₂ O ₅	K ₂ O
		KCl	H ₂ O	мг/100 г почвы mg/100g of soils	
Залежь 5 лет / 5 years after abandonment					
0–25	3.12	4.51	5.82	2.35	15.33
25–60	1.69	4.38	5.67	1.14	8.64
60–110	0.41	4.32	6.15	0.26	5.88
Залежь 10 лет / 10 years after abandonment					
0–30	4.45	4.97	6.12	1.27	13.71
30–50	1.61	4.54	6.27	1.04	7.97
50–80	0.73	4.32	5.68	0.45	6.04
Залежь 20 лет / 20 years after abandonment					
0–30	3.67	4.72	5.62	1.85	11.40
30–50	1.34	4.39	5.51	1.07	7.64
50–100	0.44	4.21	5.28	0.63	5.37
Лес / Native forest					
0–20	5.1	5.3	6.37	5.12	16.86
20–50	1.92	4.5	5.91	3.33	6.53
50–90	0.53	4.35	5.64	0.27	5.10

При анализе pH солевой вытяжки ощутимой разницы в значениях между почвой разновозрастных залежей не выявлено. По уровню кислотности исследуемые почвы относятся к среднекислым. На контрольном варианте, в почве под лесом, реакция среды слабокислая. В 10-летних залежах выявлено незначительное снижение кислотности в верхней части почвенного профиля.

В верхнем слое почвы залежей, содержание подвижных форм фосфора оценивается как «очень низкое». Этому мог способствовать процесс конкрециобразования, характерный для исследуемых почв, в результате которого фосфор переходит в недоступное фиксированное состояние – железомарганцевые конкреции (Иванов 1976). Снижение подвижного фосфора могло произойти и за счет перехода элемента в органическую форму при параллельном разрушении первичных минералов служащих источником подвижных форм (Walker, Syers 1976). Кроме того, в конце 90-х гг. прошлого века произошло резкое снижение объемов применения минеральных фосфорсодержащих и органических удобрений в регионе, что отразилось на уровне обеспеченности почв подвижным фосфором в Центральной и Северной зонах Амурской области (Антоненко, Сибилева 2016).

Все почвы Зейско-Буреинской провинции богаты валовыми формами калием. Это связано с наличием в минералогическом составе почв и почвообразующих пород минералов гидрослюд и монтмориллонита (Терентьев 1969). Основное сосредоточение калия находится в минеральной части почвы, в органической его очень мало,

при этом в отдельные годы создаются гидротермические условия, способствующие переходу большого количества обменного калия в необменную форму, и ряд сельскохозяйственных культур испытывают недостаток этого элемента.

В исследуемых залежах содержание подвижного калия в пахотном слое снижается от «повышенного» до «среднего» с увеличением возраста постагрогенного периода. Вероятно, это связано с последствиями длительного применения удобрений в прошлом (Falkengren-Grerup et al. 2005; Kechaikina et al. 2011). В бурых лесных почвах, сформированных под лесом, содержание подвижных форм калия близко к высоким значениям (16.86 мг/100 г почвы). Во всех исследуемых образцах отмечено резкое снижение содержания элемента вниз по профилю.

Заключение

Наиболее устойчивыми доминантами в залежных экосистемах являются вейниково-злаковые и полынные синузии. На 5–10-летних залежах доминирующим семейством является Asteraceae, существенно участие семейства Fabaceae. На более зрелых залежах возрастает участие в травостое семейства Poaceae, в целом увеличивается доля разнотравья. Минимальный запас общей фитомассы отмечен на молодых 5-летних залежах, и составил 752 г/м². Среднее соотношения надземной и подземной фитомасс составляют 1.3 : 1.

Исследуемые постагрогенные агробуроземы имели незначительные отличия в показателях гумусного состояния. В 20-летних залежах отмечено увеличение содержания гумуса в верхнем пахотном слое на 17%, по сравнению с 5-летними. Степень отражения агроэкологического состояния почвы определяется особенностями биоклиматической зоны региона и следствием антропогенной нагрузки при использовании земель в сельском хозяйстве в прошлом. Тренд изменения кислотности пахотного слоя, по мере увеличения залежного периода, слабый. Содержание подвижных форм фосфора «очень низкое», обеспеченность обменным калием снижается от «повышенных» до «средних» значений с увеличением возраста залежей. Запасы гумуса, содержание углерода, подвижных форм фосфора и калия в верхней части профиля в почвах под лесом существенно выше.

Состояние обследованных разновозрастных залежей на буроземах, составляющих основу пахотного фонда Амурской области, позволяет рассматривать их пригодными для сельскохозяйственного использования.

Финансирование работы

Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (тема № 121031000134-6).

Литература (References)

- Антоненко Е. В., Сибилева Т. А. Динамика изменения показателей плодородия почв центральной и северной сельскохозяйственных зон Амурской области // Достижения науки и техники АПК, 2016. Т. 30. № 8. С. 17–21. (Antonenko E. V., Sibileva T. A. 2016. Dynamics of changes in indicators of soil fertility in the central and northern agricultural zones of Amur Region]. *Achievements of Science and Technology of AIC*8: 17–21. [In Russian]).
- Аринушкина Е. В. Руководство по химическому анализу почв. Москва: МГУ, 1970. 487 с. (Arinushkina Ye. V. 1970. [Manual for chemical analysis of soils]. Moscow: MGU 487 pp. [In Russian]).
- Артемяева З. С. Некоторые особенности динамики качественного состава органического вещества дерново-подзолистых почв в период зарастания пашни лесом // Проблемы региональной экологии, 2017. № 2. С. 54–59. (Artemyeva Z. S. 2017. Some features of the

- dynamics of qualitative composition of the organic matter in sod-podzolic soils during reforestation. *Regional Environmental Issues* 2: 54–59. [In Russian]).
- Иванов Г. И.** Почвообразование на юге Дальнего Востока. Москва: Наука, 1976. 199 с. **Ivanov G. I.** 1976. [Soil formation in the south of the Far East]. Moscow: Nauka, 199 pp. [In Russian].
- Итоги Всероссийской сельскохозяйственной переписи 2016 года: В 8 т. Москва: ИИЦ «Статистика России», 2018. 459 с. ([ROSSTAT. *Results of the All-Russian agricultural census 2016: at 8 t.*]. 2018. Moscow: IITS «Statistika Rossii», 459 pp. [In Russian]).
- Курганова И. Н., Лопес де Гереню В. О.** Запасы органического углерода в почвах Российской Федерации: современные оценки в связи с изменением системы землепользования // Доклады АН, 2009. Т. 426. № 1. С. 132–134. (**Kurganova I. N., Lopes De Gerenyu V. O.** 2009. The stock of organic carbon in soils of the russian federation: updated estimation in connection with land use changes. *Doklady Biological Sciences* 426: 219–221. [In Russian]).
- Литвинович А. В., Павлова О. Ю., Чернов Д. В.** Изменение гумусового состояния дерново-подзолистой почве при прекращении антропогенного воздействия // Доклады РАСХН, 2002. № 6. С. 26–28. (**Litvinovich A. V., Pavlova O. Yu., Chernov D. V.** 2002. Change of humus state in sod-podzolic sandy soil after cessation of anthropogenic action. *Russian agricultural sciences* 6: 26–28. [In Russian]).
- Орлов Д. С., Гришина Л. А.** Практикум по химии гумуса. Москва: МГУ, 1981. 272 с. (**Orlov D. S., Grishina L. A.** 1981. [Workshop in the chemistry of humus]. Moscow: MGU, 272 pp. [In Russian]).
- Практикум по агрохимии: Учебное пособие (официальное издание, 2-е).* Москва: МГУ, 2001. 689 с. ([Workshop in the agrochemistry. Official 2nd Edition]. 2001. Moscow: MGU, 689 pp. [In Russian]).
- Раменский Л. Г.** Проблемы и методы изучения растительного покрова. Ленинград: Наука, 1971. 610 с. (**Ramenskiy L. G.** 1971. [Problems and methods for studying vegetation cover]. Leningrad: Nauka, 610 pp. [In Russian]).
- Терентьев А. Т.** Почвы Амурской области и их сельскохозяйственное использование. Владивосток: Дальневосточное книжное издательство, 1969. 275 с. (**Terentyev A. T.** 1969. [Soils of the Amur region and their agricultural use]. Vladivostok: Dalnevostochnoye knizhnoye izdatelstvo, 275 pp. [In Russian]).
- Шишов Л. Л., Тонконогов В. Д., Лебедева И. И., Герасимова М. И.** Классификация и диагностика почв России. Смоленск: Ойкумена, 2004. 342 с. (**Shishov L. L., Tonkonogov V. D., Lebedeva I. I., Gerasimova M. I.** 2004. [Classification and diagnosis of soils of Russia]. Smolensk: Oykumena, 342 pp. [In Russian]).
- Alcantara C., Kuemmerle T., Prishchepov A. V., Radeloff V. C.** 2012. Mapping abandoned agriculture with multi-temporal MODIS satellite data. *Remote Sensing of Environment* 124: 334–347. DOI:10.1016/j.rse.2012.05.019
- Ananyeva N. D., Susyan E. A., Ryzhova I. M., Bocharnikova E. O., Stolnikova E. V.** 2009. Microbial biomass carbon and the microbial carbon dioxide production by soddy-podzolic soils in postagrogenic biogeocenoses and in native spruce forests of the southern taiga (Kostroma oblast). *Eurasian Soil Sci* 42: 1029–1037. DOI: 10.1134/S1064229309090105
- Cramer V. A., Hobbs R. J., Standish R. J.** 2008. What's new about old fields? Land abandonment and ecosystem assembly. *Trends in Ecology & Evolution* 23 (2): 104–112. DOI: 10.1016/j.tree.2007.10.005
- Falkengren-Grerup U., ten Brink D.-J., Brunet J.** 2005. Land use effects on soil N, P, C and pH persist over 40–80 years of forest growth on agricultural soils. *Forest Ecol. Manag.* 225: 74–81. DOI: 10.1016/j.foreco.2005.12.027
- Ioffe G., Nefedova T., Kirsten D. B.** 2012. Land abandonment in Russia. *Eurasian Geography and Economics* 53 (4): 527–549. DOI: DOI:10.2747/1539-7216.53.4.527
- Kalinina O., Goryachkin S. V., Lyuri D. I., Giani L.** 2015. Postagrogenic development of vegetation, soils, and carbon stocks under self-restoration in different climatic zones of European Russia. *Catena* 129: 18–29. DOI: 10.1016/j.catena.2015.02.016

- Kalinina O., Goryachkin S. V., Karavaeva N. A., Lyuri D. I., Najdenko L., Giani L. 2009. Self-restoration of post-agrogenic sandy soils in the southern Taiga of Russia: Soil development, nutrient status, and carbon dynamics. *Geoderma* 152: 35–42. DOI: 10.1016/j.geoderma.2009.05.014
- Karelin D. V., Goryachkin S. V., Kudikov A. V., Lopes de Gerenyu V. O., Lunin V. N., Dolgikh D. I. 2017. Changes in carbon pool and CO₂ emission in the course of postagrogenic succession on gray soils (Luvic Phaeozems) in European Russia. *Eurasian Soil Sci.* 50: 559–572. DOI: 10.1134/S1064229317050076
- Kechaikina I. O., Ryumin A. G., Chukov S. N. 2011. Postagrogenic transformation of organic matter in soddy-podzolic soils. *Eurasian Soil Sci.* 44: 1178–1192. DOI: 10.1134/S1064229311100061
- Kurganova I. N., Lopes de Gerenyu V. O. 2008. Assessment and prediction of changes in the reserves of organic carbon in abandoned soils of European Russia in 1990–2020. *Eurasian Soil Sci.* 41: 1371–1377. DOI: 10.1134/S1064229308130048
- Li S., Li X. 2017. Global understanding of farmland abandonment: A review and prospects. *Journal of Geographical Sciences* 27 (9): 1123–1150. DOI: 10.1007/s11442-017-1426-0
- Litvinovich A. V., Pavlova O. Y. 2007. Changes in the humus status of a layland sandy gleyic soddy-podzolic soil. *Eurasian Soil Sci.* 40: 1181–1186. DOI: 10.1134/S1064229307110051
- Ramankutty N., Foley J. A. 1999. Estimating historical changes in global land cover: Croplands from 1700 to 1992. *Global Biogeochemical Cycles* 13 (4): 997–1027. DOI: 10.1029/1999GB900046
- Ryzhova I. M., Erokhova A. A., Podvezennaya M. A. 2014. Dynamics and structure of carbon storage in the postagrogenic ecosystems of the southern taiga. *Eurasian Soil Sci.* 47: 1207–1215. DOI: 10.1134/S1064229314090117
- Telesnina V. M., Kurganova I. N., Lopes de Gerenyu V. O., Lichko V. A., Ermolaev A. M. 2017. Dynamics of Soil Properties and Plant Composition during Postagrogenic Evolution in Different Bioclimatic Zones. *Eurasian Soil Sci.* 50: 1515–1534. DOI: 10.1134/S1064229317120109
- Vladychenskii A. S., Telesnina V. M., Rumyantseva K. A., Chalaya T. A. 2013. Organic matter and biological activity of postagrogenic soils in the southern taiga using the example of Kostroma oblast. *Eurasian Soil Sci.* 46: 518–529. DOI: 10.1134/S1064229313050141
- Walker T. W., Syers J. K. 1976. The fate of phosphorus during pedogenesis. *Geoderma* 15: 1–19. DOI: 10.1016/0016-7061(76)90066-5