

УДК 631.4

ИЗМЕНЕНИЕ АГРЕГАТНОГО СОСТАВА РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ ПОЧВ В ХОДЕ ЗАЛЕЖНОЙ СУКЦЕССИИ

© 2017 г. Ю. И. Баева¹, И. Н. Курганова²,
В. О. Лопес де Гереню², Л. А. Овсепян²,
В. М. Телеснина³, Ю. Д. Цветкова¹

¹*Российский университет дружбы народов, Россия, 119198, Москва, ул. Миклухо-Маклая, 6*

e-mail: baeva_yui@pfur.ru

²*Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН, Россия, 142290, Пушкино Московской обл., ул. Институтская, 2*

e-mail: ikurg@mail.ru

³*МГУ им. М.В. Ломоносова, Россия, 119991, Москва, Ленинские горы*

e-mail: vtelesnina@mail.ru

Проведен сравнительный анализ изменения агрегатного состава различных типов почв (дерново-подзолистых, серых лесных и черноземов) в ходе их постагрогенного развития. Изучались следующие хроноряды: дерново-подзолистые почвы – пашня, залежи 8, 13 и 35 лет, вторичный лес (~100 лет); серые лесные почвы – паровое поле, залежи 6, 15 и 30 лет, вторичный лес (65 лет); черноземы – пашня и залежи 10, 15, 26 и 81 года. Геоботанические исследования показали, что после выведения почвы из сельскохозяйственного использования происходит изменение видового состава, увеличение биоразнообразия и постепенное восстановление климаксных сообществ, характерных для конкретных природно-климатических зон. Наряду с сукцессией фитоценозов, отмечается увеличение содержания органического углерода в верхней части бывшего пахотного горизонта (0–10 см) во всех изученных типах почв. Однако при смене природно-климатических зон с севера на юг указанный тренд ослабевает в ряду дерново-подзолистая почва – серая лесная почва – чернозем обыкновенный. Установлено, что при самовосстановлении бывших пахотных почв содержание макроагрегатов в поверхностном слое всех типов почв достоверно возрастает в ряду пашня – залежи – лес, а количество микроагрегатов – снижается. Наблюдается увеличение средневзвешенного диаметра агрегатов и коэффициента структурности. Наиболее выраженные изменения агрегатного состава отмечаются в сукцессионном ряду, сформированном на серых лесных почвах, а наименьшие – характерны для дерново-подзолистой почвы южной тайги.

Ключевые слова: постагрогенные почвы, сукцессия, биоразнообразие, агрегатный состав, коэффициент структурности.

DOI: 10.19047/0136-1694-2017-88-47-74

ВВЕДЕНИЕ

Агрегатный состав почвы представляет собой результат совместного действия различных физико-химических, биологических и физических процессов почвообразования и является одним из основных качественных признаков почвы ([Шеин, 2005](#)). От того, в какой степени в почве представлены крупные и мелкие структурные отдельности, зависят все фундаментальные свойства почвы, все основные процессы, которые определяют ее внутреннюю жизнь и функции в биосфере ([Six et al., 2004](#); [Pirmoradian et al., 2005](#); [Nichols, Toro, 2011](#)). Почвы, в которых преобладают макроагрегаты, как правило, содержат больше органических и питательных веществ, они менее восприимчивы к эрозии и в них создаются оптимальные физические режимы для произрастания растений ([Elliott, 1986](#); [Six et al., 2004](#); [Niewczas, Witkowska-Walczak, 2005](#)).

Интенсивная распашка земель сопровождается нарушением строения верхней части почвенного профиля, сложения, структуры и агрегатного состава верхних горизонтов ([Булыгин, Лисецкий, 1996](#); [Гаевая, 2008](#); [Несмеянова, 2015](#)). По сравнению с микроагрегатами макроагрегаты менее устойчивы и при сельскохозяйственном использовании почв они могут разрушаться не только за счет механического воздействия сельскохозяйственной техники, но и за счет уменьшения поступления свежего органического вещества в почвы агроценозов, что приводит к существенному ухудшению их экологического состояния ([Тейт, 1991](#); [Артемьева, 2010](#)).

Забрасывание пахотных угодий сопровождается снятием сельскохозяйственной нагрузки и запускает сложный процесс восстановления, как зонального растительного покрова, так и почвенного плодородия – залежную сукцессию ([Глумов, 1953](#)), которая сопровождается сравнительно быстрой дифференциацией пахотного горизонта, образованием дернины на поверхности и органо-минеральных горизонтов ([Люри и др., 2010](#); [Lopes de Gerenyu et al., 2008](#)). Подпахотный горизонт постепенно трансформируется в направлении соответствующего по глубине горизонта фоновой почвы ([Караваева и др., 1985](#); [Васенев и др., 1996](#); [Анциферова, 2001](#); [Васенев, 2008](#); [Kurganova et al., 2007](#)). Агрегатный состав

почв в ходе постагрогенной эволюции (залежной сукцессии) также претерпевает существенные изменения, обусловленные, с одной стороны, особенностями, унаследованными от пашни, с другой – воздействием формирующихся на залежах естественных биоценозов ([Скворцова и др., 1987](#); [Трофимов и др., 2014](#); [Баева, 2016](#); [Рыбакова, 2016](#)).

Цель работы – сравнительный анализ изменения растительности и агрегатного состава различных типов почв (дерново-подзолистой, серой лесной и чернозема обыкновенного) в ходе их постагрогенной эволюции.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Характеристика объектов исследования. Объектами исследования послужили три сукцессионных хроноряда, представленных пахотными почвами и залежами различного возраста. Хроноряды приурочены к разным типам почв: дерново-подзолистой (Мантуровский район Костромской области; 58°10'N, 44°28'E), серой лесной (окрестности г. Пущино Московской области; 47°27'N, 39°35'E) и чернозему обыкновенному (д. Недвиговка, Ростовская область; 54°20'N, 37°37'E). Названия почв приведены по работе В.В. Егорова и др. ([1977](#)).

В Костромской области исследовали сукцессионный ряд: пашня, засеянная овсом, 8-летняя залежь, залежь 13 лет, молодой вторичный осиново-березовый лес (35 лет) и вторичный лес (возраст ~100 лет). Объекты расположены в 1–1.5 км от р. Унжа в нижней части приводораздельного склона. Почвообразующие породы представлены супесчаными и песчаными отложениями флювиогляциального происхождения, в толще которых на глубине 60–100 см встречаются линзы глины. Почвенный покров представлен дерново-подзолистыми легкосуглинистыми почвами. Среднегодовая температура воздуха в данном районе составляет 2.1°C, среднегодовое количество осадков – 564 мм с колебаниями по годам от 470 до 954 мм.

В Московской области исследования проводили на бывших пахотных землях Опытной-полевой станции Института физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН, которые в разные годы были выведены из сельскохозяйственного оборота. Изучаемые участки представляли собой паровое поле, зале-

жи 6, 15 и 30-летнего возраста, а также вторичный липово-осиновый лес 65-летнего возраста, являющийся конечной стадией изучаемого сукцессионного ряда. Залежи 15- и 30-летнего возраста периодически косились, поэтому возобновление древесной растительности на них не происходило. Почва на участках – серая лесная среднесуглинистая разной степени эродированности. Согласно многолетним метеонаблюдениям (Станция комплексного фонового мониторинга, п. Данки, Серпуховский район Московской области), среднегодовая температура воздуха в 1973–2015 гг. в районе исследований составила +5.2°C, а среднегодовое количество осадков – 673 мм.

В Ростовской области объектом исследования выбрано старопашотное опытное поле, расположенное на Агробиостанции Южного федерального университета. Длительность пахоты – около 150 лет, почвенный покров представлен черноземом обыкновенным карбонатно-мицелярным. Отдельные участки пашни этого поля периодически выводили из сельскохозяйственного оборота (в 1932, 1986, 1996 и 2002 гг.), они постепенно зарастали естественной степной растительностью. Таким образом, сформировался сукцессионный хроноряд, включающий пашню, используемую под посевы озимой пшеницы и ячменя, и бывшие пахотные почвы различной длительности восстановления: 10, 15, 26 и 81 год. Среднегодовая температура в данном районе составляет +8°C, а среднегодовое количество осадков – 596 мм ([Lopes de Gerenyu et al., 2008](#)).

Геоботаническое описание растительности в Московской и Костромской областях выполняли в июле 2013–2014 гг. в период максимального развития травянистой растительности. Их проводили на серии учетных площадок размером 10 × 10 м² (Костромская область) и 0.5 × 0.5 м² (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](#)). Растительность в залежном ряду на черноземах Ростовской области описывали в сентябре 2007 г. В это время трудно корректно оценить количественно общее видовое разнообразие, поскольку весенние виды растительности уже полностью исчезли. Поэтому в работе приводится только название ассоциации.

Отбор почвенных образцов, пробоподготовка и определение общих свойств почв. Смешанные образцы отобрали из небольших прикопок методом конверта из двух почвенных слоев: 0–10 и 10–20 см (бывший пахотный горизонт). Для определения гигроскопической влажности почв и величины pH образцы растирали в фарфоровой ступке, отбирали корни и просеивали через сито с отверстиями 1 мм. Определение содержания С и N проводили в образцах почв с тщательно выбранными корнями и просеянных через сито с диаметром отверстий 0.25 мм. Содержание общего углерода ($C_{\text{общ}}$) и азота ($N_{\text{общ}}$) определяли на автоматическом анализаторе (Лесо, США) в 3-кратной повторности. Величину pH определяли в 1 М растворе KCl (соотношение почва : раствор 1 : 2.5) на pH-метре Metler-Toledo (Швейцария) в двукратной повторности (все повторности аналитические).

Структурный (агрегатный) анализ почв проводили методом сухого просеивания в смешанных образцах, отобранных методом конверта из двух почвенных слоев: 0–10 и 10–20 см. Для этого 300 г воздушно-сухой почвы естественного сложения освобождали от корней, затем вручную в течение 2–3 мин интенсивно встряхивали на ситах с диаметром отверстий 10, 7, 5, 3, 2 и 0.25 мм (Шеин, 2005). Полученные фракции взвешивали с точностью 0.01 г и затем с учетом их доли в общей массе образца определяли средневзвешенный диаметр (СВД, мм) агрегатов для каждого слоя в соответствии с формулой:

$$\text{СВД} = \sum_{i=0}^n \bar{x}_i M_i,$$

где M_i – весовой процент фракции агрегатов со средним диаметром \bar{x}_i , n – количество фракций (Шеин, 2005).

Коэффициент структурности ($K_{\text{стр}}$) рассчитывали как отношение (по массе) суммы агрегатов размером 0.25–10 мм к сумме агрегатов диаметром >10 и <0.25 мм:

$$K_{\text{стр}} = \frac{\sum (0.25-10 \text{ мм})}{\sum (>10 \text{ мм}, <0.25 \text{ мм})}.$$

Структура почвы считается хорошей, если $K_{\text{стр}} = 0.67-1.50$ и неблагоприятной – при $K_{\text{стр}} < 0.67$ (Вадюнина, Корчагина, 1986).

Статистическую обработку результатов проводили с использованием программы Microsoft Excel 2007. В таблице и на графиках приведены средние значения и стандартная ошибка (SE).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Анализ растительности сукцессионных хронорядов. Основные характеристики растительного покрова изучаемых участков приведены в таблице.

Дерново-подзолистая почва. Пашня данного участка засеяна овсом с включением ряда сорняков, сопутствующих посевам культурных растений. В травостое 8-летней залежи преобладают костер безостый (*Bromopsis inermis* L.), звездчатка злаковая (*Stellaria graminea* L.), ястребинка зонтичная (*Hieracium umbellatum* L.), овсяница красная (*Festuca rubra* L.).

На 13-летней залежи наблюдается практически сформированный, хотя и еще не сомкнутый, древостой из ивы козьей (*Salix caprea* L.) высотой до 2.5–3 м. В травяном покрове преобладают ситник нитевидный (*Juncus filiformis* L.), овсяница красная (*Festuca rubra* L.), грушанка круглолистная (*Pyrola rotundifolia* L.) и костер безостый (*Bromopsis inermis* L.).

Древостой молодого леса (35-летняя залежь) представлен осиною обыкновенной (*Populus tremula* L.) и березой белой (*Betula alba*) (формула древостоя 405Б). Сомкнутость крон – 0.6–0.7. В подросте появляется ель обыкновенная (*Picea abies* L.). Растительный покров травяно-кустарничкового яруса представлен в основном кустарничками с доминантом черникой (*Vaccinium myrtillus* L.) и разнотравьем: дудником лесным (*Angelica silvestris* L.) и марьянником луговым (*Melampyrum pratense* L.).

Растительный покров полновозрастного леса представлен следующими видами: древесный ярус – елью обыкновенной (*Picea abies* (L.) Krarst), березой белой, осиною обыкновенной (*Populus tremula* L.) (формула древостоя – 4Е5Б1О, сомкнутость крон 0.4–0.6); в подлеске – ива ушастая (*Salix aurita* L.), рябина обыкновенная (*Sorbus aucuparia* L.), крушина ломкая (*Frangula alnus* Mill.), можжевельник (*Juniperus communis* L.). В напочвенном покрове 15 видов, преобладают черника (*Vaccinium myrtillus* L.) и брусника (*Vaccinium vitis-idaea* L.), отдельными куртинами встречается *Sphagnum Girgensohnii* Russ.

Серая лесная почва. Растительность парующей пашни представлена такими сорными видами, как одуванчик лекарственный (*Taraxacum officinale* Wigg. s.l.), бодяк полевой (*Cirsium arvense* (L.)

Общая характеристика растительности и почв (слой 0–10 см; среднее ± SE) исследуемых хронорядов

Дерново-подзолистая легкосуглинистая почва					
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
С _{общ} , %	1.61±0.17	2.67±0.30	4.15±0.44	2.06±0.05	7.60±0.60
N _{общ} , %	0.139±0.010	0.203±0.012	0.273±0.015	0.166±0.020	0.344±0.030
C/N	11.6±0.1	13.1±0.1	15.2±0.1	12.4±0.1	22.1±0.2
pH KCl	5.37±0.13	4.57±0.02	4.71±0.01	4.13±0.00	3.42±0.02
Серая лесная среднесуглинистая почва					
Возраст залежи	Пашня	6 лет	15 лет	30 лет	65 лет
Ассоциация	Паровое поле (разнотравная)	Пырейно-разнотравная	Овсянниково-разнотравная	Злаково-разнотравная	Лиственно-разнотравный лес
ОВБ, число видов	6	13	21	32	18
С _{общ} , %	1.16±0.01	1.20±0.01	1.50±0.04	1.97±0.02	2.72±0.05
N _{общ} , %	0.107±0.002	0.113±0.003	0.140±0.005	0.191±0.003	0.228±0.004
C/N	10.9±0.2	10.6±0.1	10.7±0.1	10.3±0.1	11.9±0.1
pH KCl	5.46±0.02	5.17±0.01	4.74±0.01	5.01±0.01	5.35±0.02
Чернозем обыкновенный карбонатно-мицелярный					
Возраст залежи	Пашня	10 лет	15 лет	26 лет	81 год
Ассоциация**	Злаковая (пшеница)	Разнотравно-бобово-злаковая	Пырейно-злаково-бобово-разнотравная	Вейниково-типчакowo-узкомятликово-бобово-разнотравная	Узкомятликово-пырейно-типчакowo-ковыльно-разнотравная
ОВБ, число видов	Не опр.				
С _{общ} , %	1.97±0.02	1.80±0.02	2.19±0.07	2.25±0.05	2.71±0.15
N _{общ} , %	0.163±0.005	0.156±0.003	0.203±0.002	0.214±0.003	0.262±0.011
C/N	12.1±0.1	11.5±0.2	10.8±0.2	10.5±0.1	10.3±0.2
pH KCl	7.19±0.02	7.31±0.01	7.35±0.01	7.16±0.04	7.25±0.00

*ОВБ – общее видовое богатство, число видов (включая деревья и кустарники).

** Отбор почвенных проб и описание растительности в черноземном залежном ряду проводили в сентябре. В это время трудно корректно оценить количественно общее видовое разнообразие, поскольку весенние виды растительности уже полностью исчезли.

Scop. s.l.), тысячелистник обыкновенный (*Achillea millefolia* L.), полынь обыкновенная (*Artemisia vulgare* L.) и др. Травостой 6-летней залежи состоит, главным образом, из разнотравья при доминировании пырея полевого (*Agropyron repens* L.) и мятлика развесистого (*Poa compressa* L.) с примесью хвоща полевого (*Equisetum arvense* L.), пижмы обыкновенной (*Tanacetum vulgare* L.), одуванчика лекарственного (*Taraxacum officinale* Wigg s.l.) и вьюнка полевого (*Convolvulus arvense* L.).

Растительность 15-летней косимой залежи значительно разнообразнее по видовому составу, чем предыдущие участки. Здесь преобладают овсяница луговая (*Festuca pratensis* Huds.), полевица побегоносная (*Agrostis stolonifera* L.), ежа сборная (*Dactylis glomerata* L.), тимopheевка луговая (*Phleum pratense* L.), пижма обыкновенная (*Tanacetum vulgare* L.), тысячелистник обыкновенный (*Achillea millefolium* L.), одуванчик лекарственный (*Taraxacum officinale* Wigg s.l.), земляника лесная (*Fragaria vesca* L.). Возобновлению древесного яруса на этом участке препятствует режим периодического сенокосения.

Залежь 30-летнего возраста представлена такими видами злаков, как полевица белая (*Agrostis tenuis* Sibth.), костер безостый (*Bromopsis inermis* (Leyss.) Holub), вейник наземный (*Calamagrostis epigeios* (L.) Roth), ежа сборная (*Dactylis glomerata* L.) и мятлик развесистый (*Poa compressa* L.); а также разнотравьем – одуванчик лекарственный (*Taraxacum officinale* Wigg s.l.), марьянник дубравный (*Melampyrum nemorosum* L.), земляника лесная (*Fragaria vesca* L.), вероника дубравная (*Veronica chamaedrys* L.), подмаренник мягкий (*Galium mollugo* L. s.l.) и бобовые: *Lathyrus pratensis* L., клевер гибридный (*Trifolium hybridum* L.), горошек волосистый (*Vicia hirsuta* (L.) S.F.Gray). Возобновление древесного яруса здесь также отсутствует из-за регулярного сенокосения.

Вторичный лиственный лес 65-летнего возраста представлен следующими видами растений: древесно-кустарниковый ярус – осина обыкновенная (*Populus tremula* L.), липа сердцевидная (*Tilia cordata* Mill.), клен остролистный (*Acer platanoides* L.), дуб черешчатый (*Quercus robur* L.), береза пушистая (*Betula pubescens* Ehrh.), лещина обыкновенная (*Corylus avellana* L.), черемуха обыкновенная (*Padus avium* Mill.), жимолость настоящая (*Lonicera xylosteum* L.) и бересклет бородавчатый (*Euonymus verrucosa* Scop.) Формула древостоя – 503Л2К ед.ДиБ. В травяном покрове преобладают воронец колосистый (*Actaea spicata* L.), ясменник пахучий (*Asperula odorata* L.), ландыш майский (*Convallaria majalis* L.), щитовник мужской (*Dryopteris filix-mass* (L.) Schott), хвощ лесной (*Equisetum sylvaticum* L.), зеленчук желтый (*Galeobdolon luteum* Huds.), гравилат городской (*Geum urbanum* L.), медуница неясная (*Pulmonaria obscura* Dum.) и костяника каменистая (*Rubus saxatilis* L.)

Чернозем обыкновенный. На изучаемых объектах сформировались следующие растительные ассоциации: разнотравно-бобово-злаковая с доминантными видами – пыреем ползучим (*Elytrigia repens* (L.) Nevski), чиной клубненосной (*Lathyrus tuberosus* L.), скердой кровельной (*Crepis tectorum* L.) (10-летняя залежь); пырейно-злаково-бобово-разнотравная с преобладанием пырея среднего (*Agropyron intermedium* Host.), пырея ползучего (*Elytrigia repens* (L.) Nevski), перловника трансильванского (*Melica transilvanica* Schur.) (15-летняя залежь); вейниково-типчаково-узкомятликово-бобово-разнотравная с доминантами вейником наземным (*Calamagrostis epigeos* (L.) Roth), овсяницей валлисской (*Festuca valesiaca* Gaud.), мятликом узколистным (*Poa angustifolia* L.) (26-летняя залежь) и узкомятликово-пырейно-типчаково-ковыльно-разнотравная с преобладанием в составе пырея ползучего (*Elytrigia repens* (L.) Nevski), мятлика узколистного (*Poa angustifolia* L.), овсяницы валлисской (*Festuca valesiaca* Gaud.) (81-летняя залежь).

Для характеристики биоразнообразия растительных сообществ использовался такой параметр, как общее видовое богатство представляющий собой число видов, произрастающих на том или ином участке, включая деревья и кустарники. По мере естественного зарастания пашни и сенокоса лесом общее видовое богатство увеличилось и достигло максимальных значений на лугах (залежи

13-, 15- и 30-летнего возраста), которые представляют собой самые богатые в видовом выражении растительные сообщества. Возобновление древесной растительности на залежных почвах привело к снижению видового богатства, что обусловлено полным исчезновением светолюбивой растительности под сомкнутым пологом леса. Таким образом, на залежах разного возраста в рассмотренных сукцессионных рядах имеет место увеличение биоразнообразия и постепенное восстановление климаксных сообществ, характерных для конкретных природно-климатических зон.

Динамика общих свойств почв в ходе постагрогенной эволюции. По мере зарастания пашни наблюдается достоверное увеличение содержания органического углерода в верхней части бывшего пахотного горизонта (0–10 см) во всех изученных типах почвы. Однако при смене природно-климатических зон с севера на юг вышеуказанные изменения содержания общего углерода в ходе постагрогенной сукцессии ослабевают в ряду дерново-подзолистая почва – серая лесная почва – чернозем обыкновенный. Так, в дерново-подзолистой почве под лесом значение $S_{\text{общ}}$ 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, что обусловлено не столь существенным преобразованием органофиля пашни по сравнению с зональной почвой. В хроноряду залежей на дерново-подзолистой почве с развитием лесной растительности на процесс гумусонакопления накладывается процесс элювиирования органического вещества. Вследствие этого, на залежи 35 лет наблюдаем 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 $S_{\text{общ}}$ достигает $7.60 \pm 0.60\%$ за счет грубогумусных соединений подстилки, которые за счет жизнедеятельности мезофауны перемешиваются с минеральной матрицей слоя 0–10 см почвы. Аналогичная тенденция изменения содержания углерода на стадиях естественного зарастания пашни разнотравьем и лес-

ными породами отмечается на агросерых почвах Курской области ([Замотаев и др., 2016](#)).

Обогащенность органического вещества азотом в старопашотной толще существенно изменяется по мере восстановления естественной растительности на пашне. Соотношение углерода и азота в органическом веществе существенно увеличивается по мере лесовосстановления на бывших пашнях на дерново-подзолистых почвах. Увеличение соотношения C/N в верхней части старопашотного горизонта при зарастании пашни на серых лесных почвах 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.

Для всех сукцессионных рядов, отражающих зарастание пашни естественной растительностью, выявлено повышение кислотности после прекращения распашки, что является результатом прекращения агрохимических мероприятий и подкисляющего действия разлагающегося растительного опада. Так, в верхней части старопашотной толщи дерново-подзолистой почвы в ходе залежной сукцессии происходит увеличение кислотности. При этом наиболее резкое снижение pH соответствует стадии сомкнутого древостоя. При восстановлении естественной растительности на серой лесной почве сначала происходит увеличение кислотности, но на поздних стадиях сукцессии (залежь 35 лет и вторичный лес 65-летнего возраста) кислотность почв имеет тенденцию к снижению. При естественном зарастании пашни на черноземе обыкновенном, напротив, отмечается незначительное увеличение значений pH в ходе постагрогенной сукцессии.

Структурный состав залежных почв. Прекращение антропогенного воздействия и зарастание бывших сельскохозяйственных почв естественной растительностью приводит к изменению их структурной организации ([Караваева, Денисенко, 2009](#); [Мясникова, 2015](#)). Характер и направленность такой постагрогенной трансформации, наряду с историей освоения и первоначальными свойствами почвы, существенно зависят от биологических факторов ([Falkengren-Grerup et al., 2005](#)). Например, корневая система травянистых растений, пронизывая почву во всех направлениях,

разрыхляет почвенную массу в одних местах и уплотняет в других, создавая тем самым агрегаты определенной формы ([Рыбакова, Сорокина, 2013](#); [Tisdall, Oades, 1982](#)). Кроме того, продукты разложения органического вещества выполняют функцию клея, объединяя микроагрегаты в макроагрегаты ([Артемяева, 2010](#); [Elliot, 1986](#); [Golchin et al., 1994](#); [Yamashita et al., 2006](#)).

Анализ структурного состава бывших пахотных почв изученных хронорядов показал, что содержание макроагрегатов в поверхностном слое серых лесных почв и черноземов увеличивается в ряду пашня – залежи – лес, а количество микроагрегатов (<0.25 мм), наоборот, уменьшается (рис. 1). Это, вероятно, можно объяснить негативным влиянием сельскохозяйственной обработки, приводящим к дезагрегации почвы. Так как формирование микроагрегатов обусловлено, в основном, химическими факторами: коагуляцией коллоидов, склеиванием, слипанием в результате действия сил Ван-дер-Ваальса элементарных почвенных частиц, остаточными валентностями и водородными связями, адсорбционными и капиллярными явлениями в жидкой фазе ([Мартынова, 2011](#); [Tisdall, Oades, 1982](#); [Gunina, Kuzyakov, 2014](#)), а макроагрегаты формируются путем слипания микроагрегатов под действием, главным образом, биологических факторов (корневые тяжи, грибные гифы и побочные продукты жизнедеятельности микроорганизмов) ([Karlen et al., 2003](#); [Lado et al., 2004](#)), устойчивость макро- и микроагрегатов к разрушению различна ([Морковкин, Демина, 2011](#); [Лисецкий и др., 2013](#); [Colazo, Buschiazzo, 2010](#)). При этом силы сцепления между элементарными почвенными частицами в микроагрегатах на порядок, а чаще на 2–3 порядка выше, чем в макроагрегатах ([Булыгин, Лисецкий, 1996](#); [Артемяева, 2010](#)). Поэтому вспашка приводит в первую очередь к разрушению почвенных макроагрегатов. Это может быть как прямое физическое нарушение структуры почвы при механической обработке, так и косвенное, например, нарушение фрагментов корней и микоризных гифов, которые являются основными связывающими средствами для макроагрегатов, или снижение численности популяций макрофауны (в том числе дождевых червей), которые положительно влияют на образование агрегатов.

Наиболее выраженный тренд увеличения доли макроагрегатов, наряду с уменьшением количества микроагрегатов, отмечается

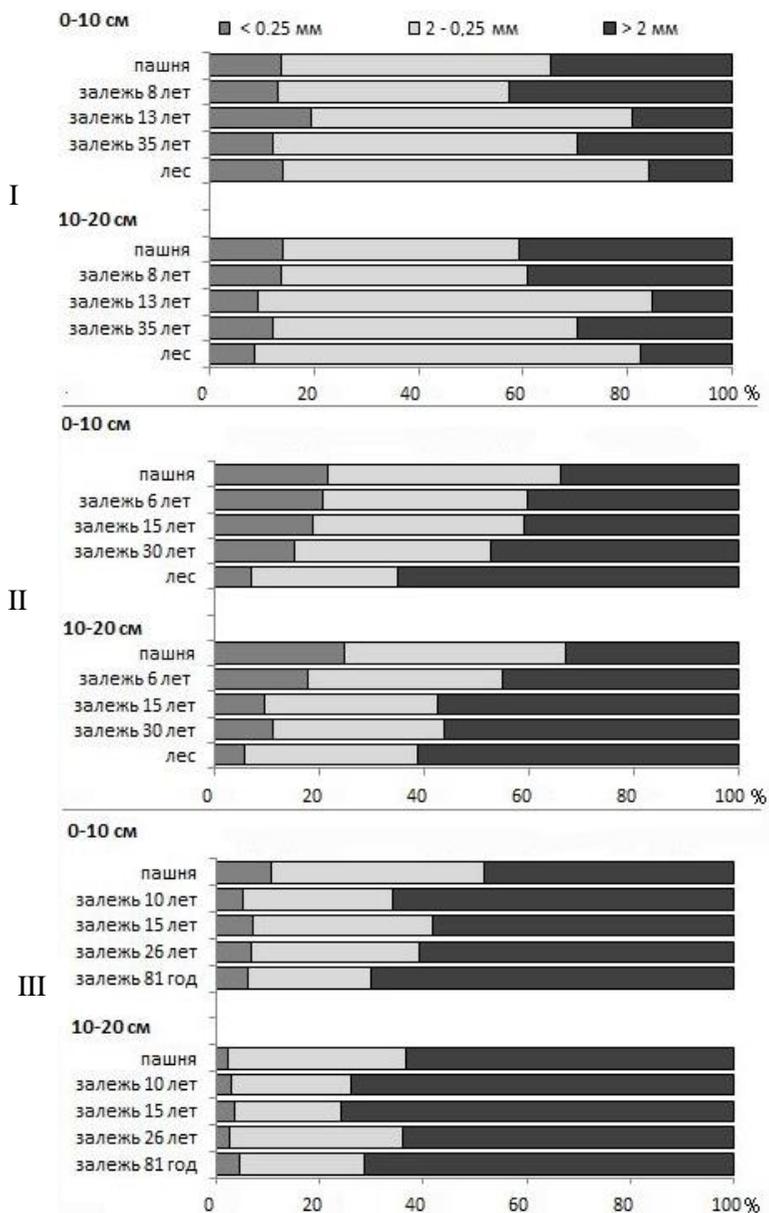


Рис. 1. Соотношение агрегатов в залежных почвах: I – дерново-подзолистой; II – серой лесной; III – черноземе обыкновенном.

в сукцессионном ряду, сформированном на серых лесных почвах. Здесь в верхнем 10-сантиметровом слое почвы под лесом содержание микроагрегатов снизилось, а макроагрегатов соответственно увеличилось на 14.8% по сравнению с пашней (рис. 1, II). При этом по мере увеличения возраста залежи увеличивается доля макроагрегатов большего размера. Так, микроагрегаты “слипаются” сначала в мелкие агрегаты (0.25–2 мм), из которых в свою очередь образуются макроагрегаты размером >2 мм.

В черноземах уже через 10 лет после забрасывания пашни доля микроагрегатов за счет образования макроагрегатов снижается от 10.7 до 5.3% и остается относительно стабильной на более поздних стадиях залежной сукцессии (рис. 1, III). При этом отмечается увеличение количества именно крупных (>2 мм) агрегатов – от 48.1 на пашне до 71.9% 81-летней на залежи. Повидимому, такое изменение процентного состава почвенных частиц можно объяснить богатством черноземов органическим веществом, которое является ключевым фактором агрегации почвы, а также не столь существенным преобразованием органопрофиля при сельскохозяйственном воздействии.

Наименее выраженные изменения в соотношении макро- и микроагрегатов характерны для залежного ряда, сформированного на дерново-подзолистых почвах (рис. 1, I). Несмотря на относительно стабильное содержание микроагрегатов, при естественном зарастании пашни изменяется соотношение мелких и крупных макроагрегатов. Так, с увеличением возраста залежей растет доля почвенных агрегатов, размер которых 0.25–2 мм (с 52 на пашне до 70% под лесом в слое 0–10 см), главным образом, за счет разрушения крупных макроагрегатов.

Как уже упоминалось выше, основным клеящим составом почв является органическое вещество почв. Показано, что коэффициент корреляции между содержанием органического вещества и устойчивостью агрегатов довольно высок и составляет 0.6–0.8 (Лыков и др., 2004). В качестве агрегирующего компонента органическое вещество почв может выступать как самостоятельно, так и в виде гуматов кальция, натрия, железа и алюминия. При этом наиболее прочную структуру образуют гуматы кальция. С другой стороны, степень цементации структурных отдельностей зависит не только от природы клеящего вещества, но и от гранулометри-

ческого состава почвы. Чем больше в почве глинистых частиц, тем прочнее ее структурные агрегаты ([Розанов, 2004](#)). Вероятно, разрушение крупных макроагрегатов в дерново-подзолистых почвах костромского хроноряда объясняется их небольшой прочностью, которая обусловлена небольшим содержанием органического вещества в зональных дерново-подзолистых почвах и их легкосуглинистым гранулометрическим составом.

Доля агрономически ценных агрегатов. Агрономически ценными считаются макроагрегаты размером от 10 до 0.25 мм, т.к. именно они определяют структуру почвы. Глыбистая (>10 мм) и пылеватая (<0.25 мм) фракции относятся к нежелательным и неблагоприятно влияют на агрофизические свойства почвы ([Шеин, 2005](#)).

В верхнем 10 см слое почв всех исследуемых залежных хронорядов количество агрономически ценных (10–0.25 мм) агрегатов превышает 60%, что говорит об их отличном агрегатном состоянии (рис. 2). Кроме того, их содержание в бывшем пахотном слое постепенно растет с увеличением возраста залежей.

Коэффициент структурности бывшего пахотного слоя, как правило, в ходе постагрогенной сукцессии имеет тенденцию к росту. В слое 0–10 см на дерново-подзолистой почве под лесом он в 1.5 раза больше, чем под пашней. В залежном хроноряду, сформированном на серой лесной почве, такое превышение более значительно и составляет 3.8 раза, а для чернозема обыкновенного – 2.4 раза ($P < 0.05$). В залежных хронорядах на дерново-подзолистой и серой лесной почвах аналогичная зависимость наблюдается и для слоя 10–20 см, в то время как для черноземного хроноряда эта тенденция нечеткая (рис. 3).

Вышесказанное подтверждает литературные данные о том, что изъятие земель из сельскохозяйственного использования приводит к постепенному восстановлению их естественной структуры и улучшению агрономических свойств почвы ([Бембеева, Джапова, 2012](#); [Даденко и др., 2014](#); [Макарова, Козлова, 2014](#); [Мясникова, 2015](#); [Телеснина, 2016](#); [Баева и др., 2017](#); [Kristiansen et al., 2006](#); [Nichols, Toro, 2011](#); [Kalinina et al., 2015](#)). Например, в работе Т.Н. Авдеевой и др. ([2014](#)) показано, что содержание агрономически ценных агрегатов в залежных дерново-подзолистых почвах достигает 44–46%, а в пахотных почвах их доля снижается до 33–6%.

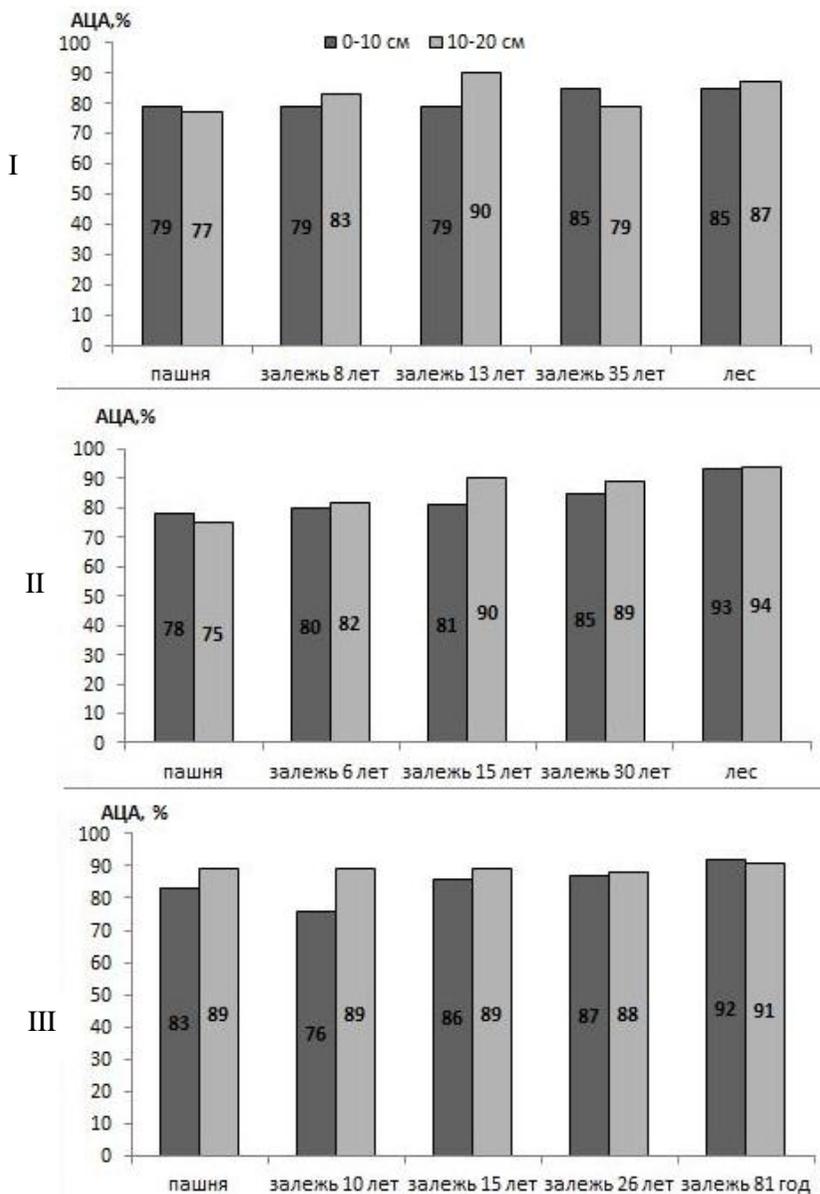


Рис. 2. Количество агрономически ценных агрегатов (АЦА) в залежных почвах: I – дерново-подзолистых; II – серых лесных; III – черноземах.

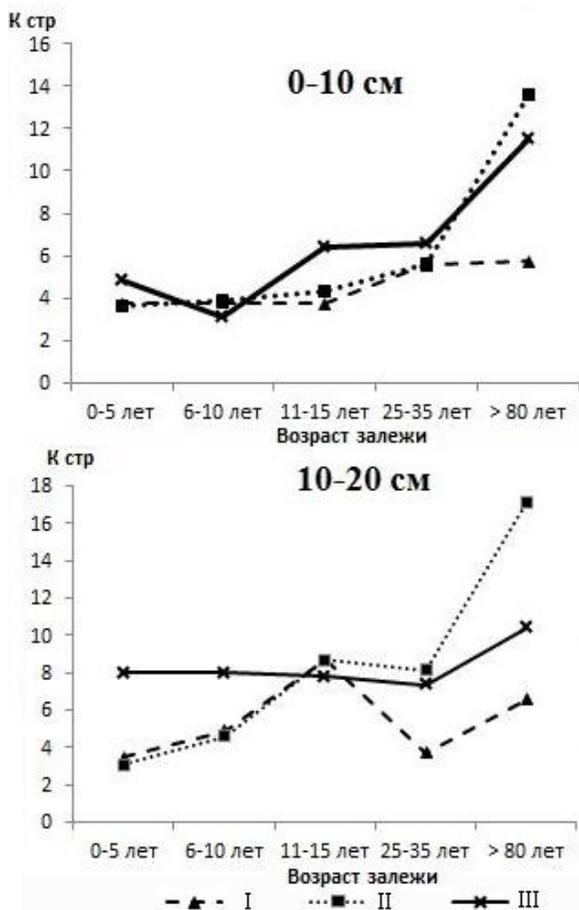


Рис. 3. Коэффициент структурности почв (I – дерново-подзолистых; II – серых лесных; III – черноземов) залежных хронорядов.

По данным Н.А. Караваевой и Е.А. Денисенко (2009), агро-чернозему на пашне соответствует уплотненный мелкоглыбистый и распыленный пахотный горизонт. На молодых залежах начинают образовываться зерна и комки, но доля мелких глыб еще велика. Они исчезают уже через 15 лет залежного режима, хотя плотность почвы все еще остается повышенной. Нормальная плотность пахотного горизонта для данных почв восстанавливается после 30 лет забрасывания.

Наряду с коэффициентом структурности в залежных почвах, в целом отмечается и увеличение средневзвешенного диаметра агрегатов (рис. 4). Однако четкая зависимость данного показателя от возраста залежи наблюдается только для серых лесных почв. Средневзвешенный диаметр агрегатов серых почв под лесом в 1.6 раза больше по сравнению с пашней как в верхнем 10-сантиметровом слое, так и на глубине 10–20 см (рис. 4, II). Обнаруженные отличия в размере агрегатов остальных изученных типов почв незакономерны. Например, максимальная величина средневзвешенного диаметра (3.27 мм) в слое 0–10 см дерново-подзолистой почвы характерна для 8-летней залежи (рис. 4, I), а в черноземах его максимальное значение (5.03 мм) наблюдается на залежи, возраст которой составляет 10 лет (рис. 4, III). Подобные различия в размере агрегатов могут объясняться, как некоторой изначальной неоднородностью почвенного покрова изучаемых территорий, так и особенностями механизма агрегирования, а не влиянием изменений в землепользовании.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Почвы агроценозов после выведения из сельскохозяйственного оборота вступают в сложный процесс самовосстановления, идущий в направлении исходного зонального типа. В ходе пост-агрогенной эволюции идет накопление содержания общего углерода и постепенно восстанавливается структурная организация бывшего пахотного слоя. На среднесуглинистых почвах (серых лесных и черноземах) в первые 10–15 лет наблюдается заметное увеличение доли макроагрегатов, в том числе агрономически ценных, и соответственное снижение количества микроагрегатов, что свидетельствует об улучшении агрономических и лесорастительных свойств залежных почв. Несмотря на то, что все почвы изученных хронорядов в соответствии с количеством агрономически ценных агрегатов характеризуются как отличные, динамика увеличения коэффициента структурности для различных типов почв неодинакова. По выраженности степени роста данного показателя с увеличением возраста залежей рассмотренные почвы можно расположить следующим образом: дерново-подзолистая < чернозем обыкновенный < серая лесная. На агрегатное состояние залежных

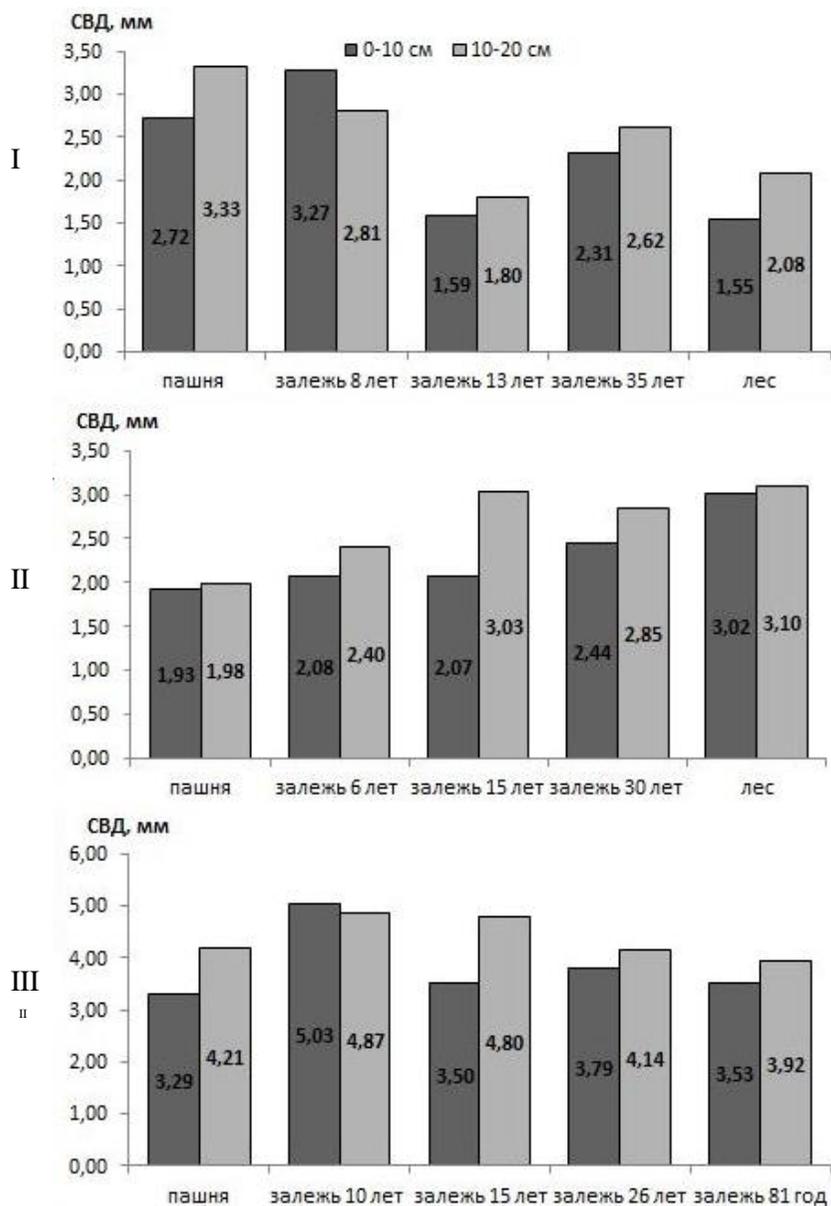


Рис. 4. Средневзвешенный диаметр (СВД) агрегатов залежных почв: I – дерново-подзолистых; II – серых лесных; III – черноземов.

почв существенное влияние оказывает восстановление на них зонального растительного сообщества за счет разрыхляющего воздействия корневой системы трав, а также за счет поступления большего количества свежего органического вещества, которое выполняет роль склеивающего материала при формировании макроагрегатов.

Благодарность. Работа выполнена при поддержке РФФИ (проект 15-04-05156а), Программы Президиума РАН № 15 и Немецкого исследовательского фонда DFG (research project 171/27-1). Авторы выражают признательность к.б.н., ст.н.с. ИФХиБПП РАН А.М. Ермолаеву за предоставленные материалы по геоботаническому описанию залежных почв в Московской и Ростовской областях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Авдеева Т.Н., Яшин М.А., Когут Б.М., Маркина Л.Г., Тарасов С.И.* [Содержание органического углерода структурных отдельностей дерново-подзолистой почвы при различных системах земледелия](#) // Плодородие. 2014. № 2. С. 32–36.
2. *Анциферова О.А.* Трансформация растительности и свойств почв молодых залежей Тамбовской равнины и Замландского полуострова: Автореф. дис. ... к.с.-х.н. Калининград, 2001. 24 с.
3. *Артемова З.С.* [Органическое вещество и гранулометрическая система почвы](#). М.: ГЕОС, 2010. 240 с.
4. *Баева Ю.И.* К вопросу о постагрогенном развитии серых лесных почв // Биология – наука XXI века: 20-я Международная Пущинская школа-конференция молодых ученых. Сб. тез. Пущино, 2016. С. 196–197.
5. *Баева Ю.И., Курганова И.Н., Лопес де Гереню В.О., Почикалов А.В., Кудеяров В.Н.* Физические свойства и изменение запасов углерода серых лесных почв в ходе постагрогенной эволюции (юг Московской области) // Почвоведение. 2017. № 3. С. 345–353. doi: [10.7868/S0032180X17030029](https://doi.org/10.7868/S0032180X17030029)
6. *Бембеева О.Г., Джапова Р.Р.* [Восстановительная сукцессия залежных земель в пустынной зоне Калмыкии](#) // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2012. Т. 14. № 1(5). С. 1195–1198.
7. *Булыгин С.Ю., Лисецкий Ф.Н.* Формирование агрегатного состава почв и оценка его изменения // Почвоведение. 1996. №6. С. 783–788.
8. *Вадюнина А.Ф., Корчагина З.А.* Методы исследования физических свойств почв. М.: Агропромиздат, 1986. 416 с.
9. *Васнев И.И.* Почвенные сукцессии. М.: Изд-во ЛКИ, 2008. 400 с.

10. *Васенев И.И., Васенева Э.Г., Панина Н.А.* Морфогенетические особенности почв // Агроэкологическое состояние черноземов ЦЧО. Курск, 1996. С. 40–80.
11. *Гаевая Э.А.* Влияние разных способов обработки почвы на ее физические свойства // Научный журнал КубГАУ. 2008. №39(5). С. 1–10.
12. *Глумов Г.А.* Исследование современной динамики естественного растительного покрова южной лесостепи Зауралья: Автореф. дис. ... д.б.н. Л., 1953. 24 с.
13. *Даденко Е.В., Мясникова М.А., Казеев К.Ш., Колесников С. И., Вальков В.Ф.* [Биологическая активность чернозема обыкновенного при длительном использовании под пашню](#) // Почвоведение. 2014. № 6. С. 724–734. doi: 10.7868/S0032180X14060021
14. *Егоров В.В., Фридланд В.М., Иванова Е.Н., Розов Н.Н. и др.* Классификация и диагностика почв СССР. М.: Колос, 1977. 221 с.
15. *Замотаев И.В., Белобров В.П., Курбатова А.Н., Белоброва Д.В.* Агрогенная и постагрогенная трансформация почв Льговского района Курской области // Бюл. Почв. ин-та им. В.В. Докучаева. 2016. Вып. 85. С. 97–113. doi: [10.19047/0136-1694-2016-85-97-114](#)
16. *Ипатов В.С., Мирин Д.М.* Описание фитоценоза: методические рекомендации. СПб., 2008. 71 с.
17. *Караваева Н.А., Денисенко Е.А.* [Постагрогенные миграционно-мицелиарные черноземы разновозрастных залежей Южной лесостепи ЕТР](#) // Почвоведение. 2009. № 10. С. 1165–1176.
18. *Караваева Н.А., Жариков С. Н., Кончин А.Е.* Пахотные почвы Нечерноземья: процессно-эволюционный подход к изучению // Почвоведение. 1985. №11. С. 114–125.
19. *Лисецкий Ф.Н., Маринина О.А., Родионова М.Е.* [Изменения структурного состояния почв при различиях в почвенно-климатических условиях и истории землепользования](#) // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2013. Т.15. №3(3). С. 998–1002.
20. *Люри Д.И., Горячкин С. В., Караваева Н.А. и др.* [Динамика сельскохозяйственных земель России в XX веке и постагрогенное восстановление растительности и почв](#). М.: ГЕОС, 2010. 416 с.
21. *Лыков А.М., Еськов А.И., Новиков М.Н.* Органическое вещество пахотных почв Нечерноземья. М.: Россельхозакадемия ГНУ ВНИПТИОУ, 2004. 630 с.
22. *Макарова А.П., Козлова А.А.* Почвенные и микробиологические свойства целинных и залежных серых лесных почв Приангарья, осложненных палеокриогенезом // [Пермский аграрный вестник](#). 2014. №4(8). С. 44–50.
23. *Мартынова Н.А.* Химия почв: органическое вещество почв. Иркутск: Изд-во ИГУ, 2011. 255 с.

24. Морковкин Г.Г., Демина И.В. [К оценке влияния сидератов и залежи на изменение плодородия черноземов выщелоченных условиях умеренно засушливой и колючей степи Алтайского края](#) // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2011. №11(85). С. 18–22.
25. Мясникова М.А. Влияние возраста залежей на биологические свойства постагрогенных черноземов Ростовской области. Дис. ... к.б.н. Ростов-на-Дону, 2015. 153 с.
26. Несмеянова М.А. Структурно-агрегатный состав и водопрочность почвы под влиянием многолетних бобовых трав // [Пермский аграрный вестник](#). 2015. №1(9). С. 50–55.
27. Розанов Б.Г. Морфология почв: учебник для высшей школы. М.: Академический проект, 2004. 432 с.
28. Рыбакова А.Н. Трансформация свойств серых почв при различном их использовании: Автореф. дис. ... к.б.н. Тюмень, 2016. 18 с.
29. Рыбакова А.Н., Сорокина О.А. Трансформация некоторых физических свойств постагрогенных серых почв залежей при различном использовании // Вестник КрасГАУ. 2013. Вып. 6. С. 73–79.
30. Скворцова Е.Б., Баранова О.Ю., Нумеров Г.Б. [Изменение микростроения почв при зарастании пашни лесом](#) // Почвоведение. 1987. № 9. С. 101–109.
31. 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/S0032180X16010111
32. Тейт Р.Л. Органическое вещество почвы: биологические и экологические аспекты. М.: Наука, 1991. 400С.
33. Трофимов И.Т., Беховых Ю.В., Болотов А.Г., Сизов Е.Г. [Влияние листовых лесных насаждений на физические свойства почв](#) // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2014. № 1 (111). С. 34–39.
34. Шеин Е.В. Курс физики почв. М.: Изд-во МГУ, 2005. 432 С.
35. Colazo J.C., Buschiazzo D.E. Soil dry aggregate stability and wind erodible fraction in a semiarid environment of Argentina // Geoderma. 2010. V. 159. P. 228–236.
36. Elliott E.T. Aggregate structure and carbon, nitrogen, and phosphorus in native and cultivated soils. // Soil Sci. Soc. Am. J. 1986. 50. P. 627–633.
37. Falkengren-Grerup U., Brink D.H.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. P. 74–81.
38. Golchin A., Oades J.M., Skjemstad J.O., Clarke P. Study of free and occluded particulate organic matter in soils by solid state ¹³C CP/ MAS NMR spectroscopy and scanning electron microscopy // Austral. J. Soil Res. 1994. V. 32. P. 285–309.

39. *Gunina A., Kuzyakov Y.* Pathways of litter C by formation of aggregates and SOM density fractions: Implications from ^{13}C natural abundance // *Soil Biol. Biochem.* 2014. <http://dx.doi.org/10.1016/j.soilbio.2014.01.011>
40. *Kalinina O., Goryachkin S.V., Lyuri D.I., Giani L.* 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. doi: [10.1016/j.catena.2015.02.016](http://dx.doi.org/10.1016/j.catena.2015.02.016)
41. *Karlen D.L., Andrews S.S., Weinhold B.J., Doran J.W.* Soil quality: humankind's foundation for survival // *J. Soil Water Conserv.* 2003. 58 (4). P. 171–179.
42. *Kristiansen S.M., Schjonning P., Thomsen I.K., Olesen J.E., Kristensen K., Christensen B.T.* Similarity of differently sized macro-aggregates in arable soils of different texture // *Geoderma.* 2006. V. 137. P. 147–154.
43. *Kurganova I., Yermolaev A., Lopes de Gerenyu V., Larionova A., Kuzyakov Y., Keller T., Lange S.* Carbon balance in soils of abandoned lands in Moscow region // *Eurasian Soil Science.* 2007. V. 40(1). P. 50–58.
44. *Lado M., Paz A., Ben-Hur M.* Organic matter and aggregate size interactions in infiltration, seal formation, and soil loss // *Soil Sci. Soc. Am. J.* 2004.68. P. 935–942.
45. *Lopes de Gerenyu V., Kurganova I., Kuzyakov Ya.* Soil organic carbon pools in former arable Chernozems // *Ecologia.* 2008. № 4. P. 38–44.
46. *Nichols K.A., Toro M.* A whole soil stability index (WSSI) for evaluating soil aggregation // *Soil Till. Res.* 2011. V. 111. P. 99–104.
47. *Niewczas J., Witkowska-Walczak B.* The soil aggregates stability index (ASI) and its extreme values // *Soil Till. Res.* 2005. V. 80. P. 69–78.
48. *Pirmoradian N., Sepaskhah A.R., Hajabbasi M.A.* Application of fractal theory to quantify soil aggregate stability as influenced by tillage treatments // *Biosyst. Eng.* 2005. V. 90 (2). P. 227–234.
49. *Six J., Bossuyt H., Degryze S., Denef K.* A history of research on the link between (micro) aggregates, soil biota, and soil organic matter dynamics // *Soil Till. Res.* 2004. V. 79. P. 7–31.
50. *Tisdall J.M., Oades J.M.* Organic matter and water-stable aggregates in soils // *J. Soil Science.* 1982. V. 33. P. 141–163.
51. *Yamashita T., Flessa H., Bettina J., Helfrich M., Ludwig B.* Organic matter in density fractions of water-stable aggregates in silty soils: Effect of land use // *Soil Biol. Biochem.* 2006. V. 38. P. 3222–3234.

CHANGE IN AGGREGATE STRUCTURE OF VARIOUS SOIL TYPES DURING THE SUCCESSION OF ABANDONED LANDS

**Yu. I. Baeva¹, I. N. Kurganova², V. O. Lopes de Gerenyu²,
L. A. Ovsepyan², V. M. Telesnina³, Yu. D. Tsvetkova¹**

¹*Peoples Friendship University of Russia (RUDN University),
Miklukho-Maklaya St., 6, Moscow, 117198, Russia*

²*Institute of Physicochemical and Biological Problems in Soil Science, RAS,
Institutskaya st., 2, Pushchino, Moscow region, 142290, Russia*

³*Lomonosov Moscow State University, Leninskie gory 1, Moscow, 119991
Russia*

A comparative analysis of the changes in the aggregate structure in various types of soils (Sod-podzolic, Gray forest, and Chernozems) during their post-agrogenic evolution was carried out. The study plots included: sod-podzolic soils –plowland, laylands abandoned 8, 13, 35 years ago and a secondary forest (~100 years); gray forest soils –plowland, laylands abandoned 6, 15 and 30 years ago and a secondary forest of 60 years; chernozems–plowland and layland abandoned 10, 15, 26 and 81 years ago. The geobotanical studies have shown that the withdrawal of soils from agricultural use causes changes in species composition, increase of biodiversity, and a gradual recovery of climax communities, which are attributed for specific natural climatic zones. Along with vegetation succession, we observed the increase in the total carbon content in the upper part of the former arable layer (0–10 cm) in all studied soils. However, the trend becomes weaker from northern to southern climatic zones in the following sequence: Sod-podzolic soil > Gray forest soil > Chernozems ordinary. It was found that the content of macroaggregates increases authentically in the surface layers of all of the investigated soils from cropland to abandoned and forest soils during the self-restoration of Gray forest soils and Chernozems while the number of micro-aggregates, on the contrary, decreases. In all studied chronosequences, we observed the increase of the weighed mean diameter of the aggregates and the structure coefficients. The most pronounced changes in the aggregate structure were observed in the chronosequence, formed on Gray forest soils, while the weakest alterations were typical for the Sod-podzolic soils of the southern taiga.

Keywords: post-agrogenic soils, succession of vegetation, biodiversity, aggregate composition, structure coefficient.

REFERENCES

1. Avdeeva T.N., Yashin M.A., Kogut B.M., Markina L.G., Tarasov S.I. Organic carbon content of structural units of sod-podzolic soil under different cropping systems, *Plodorodie*, 2014, No. 2, pp. 32–36. (in Russian)
2. Antsiferova O.A. *Transformation of vegetation and soil properties younger deposits of the Tambov plain and Zamlandskogo Peninsula*, Extended abstract of candidate's thesis, Kaliningrad, 2001, 24 p. (in Russian)
3. Artem'eva Z.S. *The organic matter of the soil and grading system*, Moscow, GEOS Publ., 2010, 240 p. (in Russian)
4. Baeva Yu.I. On the issue of development postagrogenic gray forest soils, *Biologiya – nauka XXI veka: 20-ya Mezhdunarodnaya Pushchinskaya shkola-konferentsiya molodykh uchenykh (The 20th International Pushchino School-Conference of Young Scientists "Biology – the science of the XXI century")*, Abstracts of Papers, Pushchino, 2016, pp. 196–197. (in Russian)
5. Baeva Yu.I., Kurganova I.N., Lopes de Gereniu V.O., Pochikalov A.V., Kudeiarov V.N. Changes in Physical Properties and Carbon Stocks of Gray Forest Soils in the Southern Part of Moscow Region during Postagrogenic Evolution, *Eurasian Soil Science*, 2017. V. 50 (3), pp. 345–353 doi: [10.1134/S1064229317030024](https://doi.org/10.1134/S1064229317030024)
6. Bembeeva O.G., Dzhapova R.R. Restorative succession fallow lands in the desert zone of Kalmykia, *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiiskoi akademii nauk*, 2012, V. 14, No. 1(5), pp. 1195–1198. (in Russian)
7. Bulygin S.Yu., Lisetskii F.N. Aggregate Composition of Soils, Its Assessment and Monitoring, *Eurasian Soil Science*, 1996, V. 29, No. 6, p. 707
8. Vadyunina A.F., Korchagina Z.A. *Methods of study of the physical properties of soil*, Moscow, Agropromizdat Publ., 1986, 416 p. (in Russian)
9. Vasenev I.I. *Soil succession*. Moscow, LKI Publ., 2008, 400 p. (in Russian)
10. Vasenev I.I., Vaseneva E.G., Panina N.A. Morphogenetic characteristics of soils, *Agroekologicheskoe sostoyanie chernozemov in Central Chernozem Region*, Kursk, 1996, pp. 40–80. (in Russian)
11. Gaevaya E.A. Effect of various methods of cultivation at its physical properties, *Nauchnyi zhurnal KubGAU*, 2008, No. 39(5), pp. 1–10. (in Russian)
12. Glumov G.A. *The study of modern dynamics of natural vegetation of southern forest steppe Trans-Urals*, Extended abstract of Doctor's thesis, Leningrad, 1953, 24 p. (in Russian)
13. Dadenko E.V., Myasnikova M.A., Kazeev K.Sh., Kolesnikov S.I., Val'kov V.F. The biological activity of ordinary chernozem with prolonged use under cultivation, *Pochvovedenie*, 2014, No. 6, pp.724–734. (in Russian)
14. Egorov V.V., Fridland V.M., Ivanova E.N., Rozov N.N. et al. *Classification and diagnosis of the USSR soils*, Moscow: Kolos Publ., 1977, 221 p. (in Russian)

15. Zamotaev I.V., Belobrov V.P., Kurbatova A.N., Belobrova D.V. Anthropogenic and post-anthropogenic transformation of soils of L'gov region of Kursk oblast, *Bulleten Pochvennogo instituta im. V.V. Dokuchaeva*, 2016, V. 85, pp. 97–113. (in Russian)
<http://www.esoil.ru/publications/bulletin/852016ns/852016ns6.html>
16. Ipatov V.S., Mirin D.M. *Description phytocenosis*, St. Petersburg, 2008, 71 p. (in Russian)
17. Karavaeva N.A., Denisenko E.A. Postagrogenic Migrational–Mycelial Chernozems of Abandoned Fields of Different Ages in the Southern Forest-Steppe of European Russia, *Eurasian Soil Science*, 2009, V. 42 (10), pp. 1083–1094. doi: [10.1134/S1064229309100020](https://doi.org/10.1134/S1064229309100020)
18. Karavaeva N.A., Zharikov S.N., Konchin A.E. Arable soil of Nechernozemie: process-evolutionary approach to the study, *Pochvovedenie*, 1985, No.11, pp. 114–125. (in Russian)
19. Lisetskii F.N., Marinina O.A., Rodionova M.E. Changes in the structural state of the soil at the differences in soil and climatic conditions and land use history, *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiiskoi akademii nauk*, 2013, V. 15 (3), pp. 998–1002. (in Russian)
20. Lyuri D.I. Goryachkin S.V., Karavaeva N.A. et al. *Dynamics of Russian agricultural land in the XX century and postagrogenic restoration of vegetation and soil*, Moscow, GEOS Publ., 2010, 416 p. (in Russian)
21. Lykov A.M., Es'kov A.I., Novikov M.N. *The organic matter of arable soils Nechernozemie*, Moscow, Rossel'khozakademiya GNU VNIPTIOU Publ., 2004, 630 p. (in Russian)
22. Makarova A.P., Kozlova A.A. Soil and microbiological properties of virgin and fallow gray forest soils in the Angara region, complicated of the paleocryogenesis, *Permskii agrarnyi vestnik*, 2014, No. 4(8), pp. 44–50. (in Russian)
23. Martynova N.A. *Soil Chemistry: Soil organic matter*, Irkutsk, IGU Publ., 2011, 255 p. (in Russian)
24. Morkovkin G.G., Demina I.V. To assess the impact of green manure and deposits on a change of fertility of chernozems leached under moderately arid and forested steppe of the Altai Territory, *Vestnik Altaiskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2011, No. 11(85), pp. 18–22. (in Russian)
25. Myasnikova M.A. *The effect of age on the biological properties of the deposits postagrogenic chernozems of the Rostov region*, Extended abstract of candidate's thesis, Rostov-na-Donu, 2015, 153 p. (in Russian)
26. Nesmeyanova M.A. Structural-aggregate composition and water stability of the soil under the influence of perennial legumes, *Permskii agrarnyi vestnik*, 2015, No. 1(9), pp. 50–55. (in Russian)
27. Rozanov B.G. *Soil Morphology*, Moscow, Akademicheskii Proekt Publ., 2004, 432 p. (in Russian)

28. Rybakova A.N. *Transformation of the gray soil properties at various using them*, Extended abstract of candidate's thesis, Tyumen', 2016, 18 p. (in Russian)
29. Rybakova A.N., Sorokina O.A. Transformation of some physical properties postagrogenic gray soil under different use of deposits, *Vestnik KrasGAU*, 2013, issue 6, pp. 73–79. (in Russian)
30. Skvortsova E.B., Baranova O.Yu., Numerov G.B. Change of soil microstructure with overgrown forest of arable land, *Pochvovedenie*, 1987, No. 9, pp. 101–109. (in Russian)
31. Telesnina V.M., Vaganov I.E., Karlsen A.A., Ivanova A.E., Zhukov M.A., Lebedev S.M. Specific Features of the Morphology and Chemical Properties of Coarse-Textured Postagrogenic Soils of the Southern Taiga, Kostroma Oblast, *Eurasian Soil Science*, 2016, V. 49 (1), p. 102–115. doi: [10.1134/S1064229316010117](https://doi.org/10.1134/S1064229316010117)
32. Teit R.L. *Soil organic matter: biological and ecological aspects*, Moscow, Nauka Publ., 1991, 400p. (in Russian)
33. Trofimov I.T., Bekhovykh Yu.V., Bolotov A.G., Sizov E.G. Influence of deciduous forests on the physical properties of soil, *Vestnik Altaiskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, No. 1 (111), 2014, pp. 34–39. (in Russian)
34. Shein E.V. *Soil Physics Course*, Moscow, MGU Publ., 2005, 432 p. (in Russian)
35. Colazo J.C., Buschiazzo D.E. Soil dry aggregate stability and wind erodible fraction in a semiarid environment of Argentina, *Geoderma*, 2010, V. 159, pp. 228–236.
36. Elliott E.T. Aggregate structure and carbon, nitrogen, and phosphorus in native and cultivated soils, *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 1986, V. 50, pp. 627–633.
37. Falkengren-Grerup U., Brink D.H.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, pp. 74–81.
38. Golchin A., Oades J.M., Skjemstad J.O., Clarke P. Study of free and occluded particulate organic matter in soils by solid state ¹³C CP/ MAS NMR spectroscopy and scanning electron microscopy, *Austral. J. Soil Res.*, 1994, V. 32, pp. 285–309.
39. Gunina A., Kuzyakov Y. Pathways of litter C by formation of aggregates and SOM density fractions: Implications from ¹³C natural abundance, *Soil Biol. Biochem.*, 2014, pp. 1–10.
40. Kalinina, O., Goryachkin, S.V., Lyuri, D.I., Giani L. Post-agrogenic development of vegetation, soils and carbon stocks under self-restoration in different climatic zones of European Russia, *Catena*, 2015, V. 129, pp. 18–29. doi: [10.1016/j.catena.2015.02.016](https://doi.org/10.1016/j.catena.2015.02.016)

41. Karlen D.L., Andrews S.S., Weinhold B.J., Doran J.W. Soil quality: humankind's foundation for survival, *J. Soil Water Conserv.*, 2003, V. 58 (4), pp. 171–179.
42. Kristiansen S. M., Schjonning P., Thomsen I.K., Olesen J.E., Kristensen K., Christensen B.T. Similarity of differently sized macro-aggregates in arable soils of different texture, *Geoderma*, 2006, V. 137, pp. 147–154.
43. Kurganova, I., Yermolaev, A., Lopes de Gerenyu, V., Larionova, A., Kuzyakov, Y., Keller, T., and Lange, S. [Carbon balance in soils of abandoned lands in Moscow region](#), *Eurasian Soil Science*, 2007, V. 40(1), pp. 50–58.
44. Lado M., Paz A., Ben-Hur M. Organic matter and aggregate size interactions in infiltration, seal formation, and soil loss, *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 2004, V. 68, pp. 935–942.
45. Lopes de Gerenyu V., Kurganova I., Kuzyakov Ya. Soil organic carbon pools in former arable Chernozems, *Ecologia*, 2008, V. 4, pp. 38–44.
46. Nichols K.A., Toro M. A whole soil stability index (WSSI) for evaluating soil aggregation, *Soil Till. Res.*, 2011, V. 111, pp. 99–104.
47. Niewczas J., Witkowska-Walczak B. The soil aggregates stability index (ASI) and its extreme values, *Soil Till. Res.*, 2005, V. 80, pp. 69–78.
48. Pirmoradian N., Sepaskhah A.R., Hajabbasi M.A. Application of fractal theory to quantify soil aggregate stability as influenced by tillage treatments, *Biosyst. Eng.*, 2005, V. 90 (2), pp. 227–234.
49. Six J., Bossuyt H., Degryze S., Deneff K. A history of research on the link between (micro) aggregates, soil biota, and soil organic matter dynamics, *Soil Till. Res.* 2004, V. 79, pp. 7–31.
50. Tisdall J.M., Oades J.M. Organic matter and water-stable aggregates in soils, *J. Soil Sci.*, 1982, V. 33, pp. 141–163.
51. Yamashita T., Flessa H., Bettina J., Helfrich M., Ludwig B. Organic matter in density fractions of water-stable aggregates in silty soils: Effect of land use, *Soil Biol. Biochem.*, 2006, V. 38, pp. 3222–3234.

Ссылки для цитирования

Баева Ю.И., Курганова И.Н., Лопес де Греню В.О., Овсепян Л.А., Телеcнина В.М., Цветкова Ю.Д. Изменение агрегатного состава различных типов почв в ходе залежной // Бюл. Почв. ин-та им. В.В. Докучаева. 2017. Вып. 88. С. 47-74. doi: 10.19047/0136-1694-2017-88-47-74

Baeva Yu.I., Kurganova I.N., Lopes de Gerenyu V.O., Ovsepyan L.A., Telesnina V.M. Change in aggregate structure of various soil types during the succession of abandoned lands, *Byulleten Pochvennogo instituta im. V.V. Dokuchaeva*, 2017, Vol. 88, pp. 47-74. doi: 10.19047/0136-1694-2017-88-47-74