

ДЕГРАДАЦИЯ,
ВОССТАНОВЛЕНИЕ И ОХРАНА ПОЧВ

УДК 631.425

АГРОГЕННЫЕ И ПОСТАГРОГЕННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ
ЗАПАСОВ УГЛЕРОДА И ФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ
ПОДБЕЛОВ ТЕМНОГУМУСОВЫХ

© 2021 г. М. Л. Бурдуковский^а, *, В. И. Голов^а, П. А. Перепелкина^а,
И. В. Киселева^а, Я. О. Тимофеева^а

^аФНЦ биоразнообразия наземной биоты Восточной Азии ДВО РАН,
пр-т 100-летия Владивостока, 159, Владивосток, 690022 Россия

*e-mail: mburdukovskii@gmail.com

Поступила в редакцию 10.06.2020 г.

После доработки 09.11.2020 г.

Принята к публикации 20.11.2020 г.

Представлены результаты изучения изменений физических свойств и запасов углерода в темногумусовых подбелах (Luvisc Albic Mollic Planosols (Epiloamic, Endoclayic, Aric)) в ходе длительного сельскохозяйственного использования и постагрогенного развития. Работа проведена на стационарном полевом опыте ФНЦ Агробиотехнологий Дальнего Востока им. А.К. Чайки (Приморский край) в вариантах: контроль, минеральные удобрения, минеральные удобрения с одновременным использованием навоза и извести, а также на залежных участках 15-, 20-, и 35-летнего возраста. Установлено, что длительное использование минеральных удобрений способствует увеличению плотности пахотного горизонта почвы. Совместное использование органо-минеральных удобрений и извести благоприятно отразилось на плотности почвы и ее структурных характеристиках. При изъятии почвы из сельскохозяйственного использования происходит восстановление ее естественной структуры. В бывшем пахотном слое залежных участков увеличивается количество агрономически ценных агрегатов, уменьшается их средневзвешенный диаметр. В первые годы после вывода полей из сельскохозяйственного оборота в верхнем слое почвы уменьшается содержание и запасы углерода. С увеличением возраста залежи происходит устойчивое накопление почвенного углерода в толще 0–50 см.

Ключевые слова: полевой опыт, удобрения, постагрогенные почвы, структура почвы, темногумусовые подбелы (Luvisols)

DOI: 10.31857/S0032180X21060046

ВВЕДЕНИЕ

Развитие сельскохозяйственной отрасли невозможно без оценки качества земель, как активно используемых для получения продукции (пашни), так и потенциально пригодных для включения их в пахотный фонд (целина, залежи). В последние годы, из-за санкционной политики западных стран с ограничением импорта европейской продукции и эффективной системной господдержке, в России наблюдается “подъем” в аграрной сфере. При этом ведущей отраслью в структуре сельскохозяйственного производства является растениеводство, на долю которого приходится 51.5% от общего объема продукции [27].

В нашей стране, в частности на Дальнем Востоке, сельскохозяйственное производство ориентировано не только на обеспечение населения продуктами питания, но и на осуществление экспортных поставок продукции растениеводства.

Например, чтобы удовлетворить заказы китайских и японских агрофирм в поставках зерна сои, в Амурской области посевы культуры увеличили с 171 тыс. га в 1996–2000 гг. до 766 тыс. га в 2014 г. В Хабаровском крае за это же время посевы сои увеличились в 2 раза, в Приморском крае – в 3 раза [29]. Начиная с 2013 г., в Приморском крае реализуется государственная программа развития сельского хозяйства, одним из пунктов которой является “Ввод в оборот неиспользованной пашни и залежных земель сельскохозяйственного назначения” [7].

В условиях современного землепользования необходим контроль за изменением агрохимических и агрофизических показателей, определяющих ценность почвы. Характеристики структуры, плотности сложения, гранулометрического состава – являются важнейшими показателями для роста и развития растений [16, 32, 35, 40, 41, 47].

Таблица 1. Характеристика объектов исследований

Возраст, лет	Географические координаты, град		Тип доминирующей синузии
	широта N	долгота E	
Пашня	43.859189	131.945269	Посевы сои
Залежь, 15	43.837730	132.093442	Злаково-попынная
Залежь, 20	43.751206	132.020417	Злаково-попынно-разнотравная
Залежь, 35*	43.842654	131.917306	Осоково-злаковая

* Сукцессионная направленность на 35-летней залежи протекает в условиях частого переувлажнения. В почвенном профиле присутствуют признаки оглеения.

Часто физические свойства почв выступают лимитирующим фактором продуктивности выращиваемых культур, определяя степень аэрации, доступность влаги, развитие и распространение корневых систем. В практике сельского хозяйства важность физических свойств почвы несколько недооценивают [35, 37], акцентируя внимание на химических свойствах почв, определяющих их плодородие, особенно на запасах гумуса и доступности элементов питания растений.

При оценке степени влияния удобрений на агрофизические свойства почв мнения ученых до настоящего времени остаются разноречивыми. Имеются данные, свидетельствующие о том, что удобрения не оказывают существенного влияния на физические свойства почвы [13, 37]. Некоторые исследователи отмечают, что при внесении минеральных и органических удобрений в течение длительного времени может происходить утяжеление гранулометрического состава, увеличение плотности пахотных почв и в целом ухудшение структурного состояния [15, 37]

Сведения об изменении агрофизических показателей в связи с постагрогенной эволюцией почв еще более разноречивы. Между тем в России на сегодняшний момент большое количество пахотных почв находится в залежном состоянии. Массовое выведение пашни из оборота началось во время кризиса 90-х годов прошлого столетия. За период 1990–2007 гг. площадь пахотных угодий сократилась на 45 млн га или 34% от общей площади пашни в 1990 г. [2, 3, 18, 45]. В настоящее время на этих территориях идут восстановительные сукцессии, сопровождающиеся не только сменой растительности, но и трансформацией физических, химических и биологических свойств почв. В частности, смена растительного покрова влечет за собой изменения в содержании и запасах почвенного органического вещества [3, 10, 17, 26, 30, 39, 42, 48].

Цель работы – определить изменение агрофизических показателей в различных системах земледелия и оценить характер изменения запасов углерода в ходе постагрогенного зарастания.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Исследование проводили в Уссурийском городском округе Приморского края в июле–августе 2017–2018 гг. Почвы классифицируются как темногумусовые подбелы. Согласно международной классификации [50], Luvisc Albic Mollic Planosols (Epiloamic, Endoclayic, Aric). Объектами служили пахотные почвы стационарного полевого опыта заложенного на территории ФНЦ Агробиотехнологий Дальнего Востока им. А.К. Чайки (пос. Тимирязевский), а также почвы залежей 15-, 20-, и 35-летнего возраста, расположенные поблизости (табл. 1). Данные залежи представляют бывшие поля, которые в 1970–1980 гг. использовали под полевые и овощные севообороты.

Темногумусовые подбелы залегают на озерно-аллювиальных отложениях тяжелого гранулометрического состава и формируются под остепненными разнотравно-злаковыми группировками растительности в комплексе с кустарниковыми зарослями. Для них характерна высокая степень гумусированности, низкая водопроницаемость, способность к набуханию. Почвы подвержены быстрому переувлажнению корнеобитаемого слоя и в то же время быстрому его иссушению в период отсутствия осадков. Распространены в основном в пределах Западно-Приморской равнины, а также на территории Среднеамурской равнины в нижнем течении р. Уссури. В Приморском крае эти почвы приурочены ко второй и третьей надпойменным террасам оз. Ханка на высоте 80–150 м над ур. м. Почвы характеризуются двучленностью профиля: верхние горизонты средне- и тяжелосуглинистые, иллювиальный горизонт и материнская порода – глинистые. Плотность пахотного горизонта 1.2 г/см³, подпахотного – 1.5 г/см³, что является причиной их низкой водопроницаемости [4, 6, 9]. Темногумусовые подбелы имеют высокий балл бонитета и относятся к одним из лучших по показателю плодородия почвам региона, составляя основной фонд агрономически ценной пашни (34.5%) [14].

Растительные сообщества 15-летних залежей представляют собой злаково-полынные сообщества с низким видовым разнообразием. В травостое доминируют *Calamagrostis langsdorffii*, *Phleum pratense*, *Elytrigia repens*, *Artemisia rubripes*. Высота травяного яруса не превышает 1.2 м. С увеличением возраста залежей отмечено возрастание видового разнообразия, структура сообщества становится более мозаичной, увеличивается число видов разнотравья. Растительное сообщество 20-летней залежи представлено злаково-разнотравным лугом. Высота травяного яруса 50–70 см. Доминируют *Calamagrostis langsdorffii*, *Phleum pratense*, *Artemisia rubripes*, *Galium verum*, *Vicia amurensis*. Незначительную долю в видовом составе занимают лесные виды: *Convallaria keiskei*, *Polygonatum odoratum*. Подрост деревьев встречается единично и представлен особями *Salix* sp. высотой до 1 м. Основу растительного сообщества 35-летних залежей составляют *Carex vesicata* и *Luzula pallescens*. Подрост деревьев встречается единично, в основном это небольшие особи *Salix pierotii* и *Populus maximowiczii*. Высота травяного яруса не превышает 1–1.3 м.

Стационарный опыт с длительным применением минеральных и органических удобрений заложен А.Т. Грицуном в 1941 г., к моменту наших исследований удобрения применялись в течение 76 лет. Смешанный образец почвы (трехкратная повторность) отбирали с глубины пахотного горизонта (0–15 см) со следующих вариантов: 1) контроль – без внесения удобрений; 2) минеральные удобрения ($N_{70}P_{120}K_{90}$, доза в кг/га д.в.); 3) минеральные удобрения ($N_{70}P_{120}K_{90}$) + навоз (N_{40} , доза в т/га) + известь ($I_{4,5}$, доза в т/га). Площадь учетной делянки составляет 150 м². Почву с залежных участков отбирали послойно по всему профилю заложенных разрезов с глубины 0–15, 15–25, 25–50, 50–90 см и прикопок (по три на каждом поле). Образцы для последующих анализов сушили на воздухе при комнатной температуре.

Структурно-агрегатный анализ почв проводили методом сухого просеивания на грохоте Retsch AS 200 basic (Германия). Для этого 300 г почвы естественного сложения очищали от корней и встряхивали на ситах с диаметром отверстий 10, 5, 2, 1, 0.5 и 0.25 мм 2 мин при амплитуде вибрации 2.5 мм [33]. Исходя из данных структурного анализа, рассчитывали средневзвешенный диаметр агрегатов (СВД) для каждого слоя в соответствии с формулой:

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

где n – количество фракций; M_i – доля фракции агрегатов со средним диаметром X_i , мас. %.

Коэффициент структурности (K_s) оценивали как отношение суммы массы агрегатов диамет-

ром 0.25–10 мм от суммы агрегатов диаметром >10 мм и <0.25 мм.

Долю агрономически ценных агрегатов рассчитывали как отношение массы агрегатов размером 0.25–10 мм к сумме всех фракций [36, 43].

Плотность почвы определяли методом режущего цилиндра [1], гранулометрический состав почв по Качинскому [11], полевую влажность – согласно ГОСТ 28268-89.

Содержание органического углерода ($C_{\text{орг}}$) определяли послойно в верхней толще почвы, наиболее подверженной трансформации в ходе постагрогенной сукцессии, методом Тюрина [1]. Запасы органического углерода рассчитывали для слоев 0–15 и 0–50 см, где сосредоточено основное количество почвенного органического вещества, по формуле, предложенной Орловым и Гришиной [20].

$$Q = C_{\text{орг}} dH \times 100,$$

где Q – запасы $C_{\text{орг}}$ (т/га), $C_{\text{орг}}$ – содержание органического углерода (%) в слое почвы мощностью H (см) и плотностью сложения d (г/см³).

При обработке данных применяли общепринятые статистические методы с использованием программы Statistica v.13. При сравнении величин независимых выборок между собой (контроль–залежи) использовали критерий Манна–Уитни (критерий U).

Исследование образцов проводили в специализированной лаборатории, а также с использованием технической базы Центра коллективного пользования “Биотехнологии и генетической инженерии” (ФНЦ Биоразнообразия ДВО РАН).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В результате проведенных исследований выявлено, что в темногоumusовых подбелах агрохимического стационара плотность пахотного слоя больше по сравнению с залежным аналогами. Длительное применение минеральных удобрений по сравнению с контрольным вариантом опыта способствовало увеличению плотности почв, но в пределах оптимальных значений. В вариантах опыта с дополнительным использованием навоза и извести плотность почвы была меньше таковой контроля и составляла 1.08 г/см³ (рис. 1). Полученные данные согласуются с результатами работ других исследователей, которые отмечают, что добавление органических удобрений улучшает ряд физических свойств пахотных почв, в том числе способствует уменьшению ее плотности [39, 40, 46, 49].

Использование тяжелой сельскохозяйственной техники оказывает уплотняющее воздействие на почву. Негативнее последствие данного явления отображено в ряде работ [3, 12, 15, 38, 46,

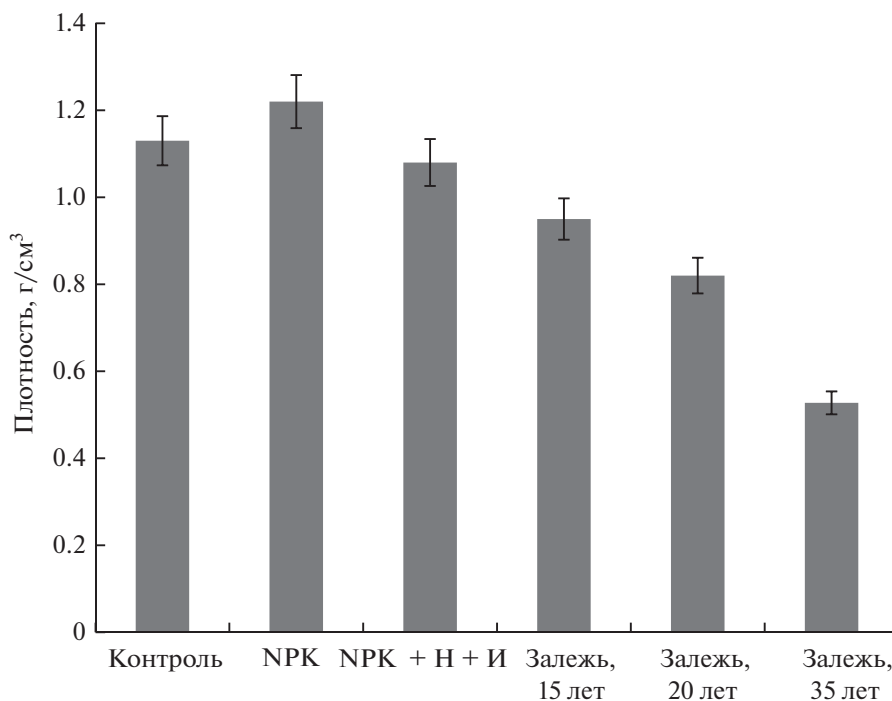


Рис. 1. Плотность сложения пахотных и залежных темногумусовых подбелов в слое 0–15 см.

47]. При отсутствии долгого рыхления в почве 35-тилетней залежи величина плотности сложения верхнего слоя оказалась минимальной и составила 0.64 г/см³. С одной стороны, на изменение плотности могло повлиять сезонное промерзание и оттаивание темногумусовых подбелов, а, с другой, естественное развитие травостоя после вывода земель из севооборота. Увеличение массы и площади корневых систем способствовало не только рыхлению почвенных горизонтов, снижая вероятность уплотнения [25, 41], но и отразилось на водоудерживающей способности верхних горизонтов исследуемых почв (рис. 2). На землях, выведенных из сельскохозяйственного оборота, влажность почвы в бывших пахотных горизонтах больше по сравнению с открытой на протяжении большей части года поверхности пашни. Задержанность верхнего слоя, увеличение площади проективного покрытия, затененность поверхности за счет изменения высоты растительности — все эти факторы снижают испарение влаги из почвы, а также способствуют ее накоплению и сохранению [23, 36, 41, 43].

Темногумусовые подбелы формируются на озерно-аллювиальных отложениях и характеризуются тяжелым гранулометрическим составом. Общим для всех исследуемых объектов является высокое содержание физической глины в верхних горизонтах (41–64%). Содержание илстой фракции в пахотном слое составило 9–15%, что меньше значений, характерных для почв тяжелого

гранулометрического состава Приморского края [9, 28, 34]. Вероятно, это связано с водной и ветровой эрозией, характерной для региона, и длительной систематической распашкой. В почвах, используемых под пашню, систематическое внесение удобрений способствовало увеличению дисперсии почв, то есть повышению содержания в них наиболее мелких фракций (глины и пыли). Максимальные величины этих показателей обнаружены в вариантах опытов с одновременным использованием минеральных удобрений и известки (табл. 2).

С увеличением возраста залежей в бывшем пахотном горизонте происходит заметное обеднение физической глиной при постепенном возрастании ее содержания в нижележащем слое 15–25 см. Связано это с тем, что по мере увеличения срока пребывания почв в естественном состоянии (без каких-либо обработок), вместе с развитием травостоя идет процесс накопления углерода. Верхний гумусовый слой становится более рыхлым и, следовательно, более водопроницаемым. Мелкая фракция из верхних горизонтов легко проникает в подгумусовый горизонт и ниже [8, 16, 36]. Аналогичный процесс вымывания тонкодисперсной фракции из элювиального горизонта в иллювиальный происходит в некоторых автоморфных (после обильных дождей) и гидроморфных почвах при резком изменении уровня грунтовых вод (после вырубki или низовых пожаров).

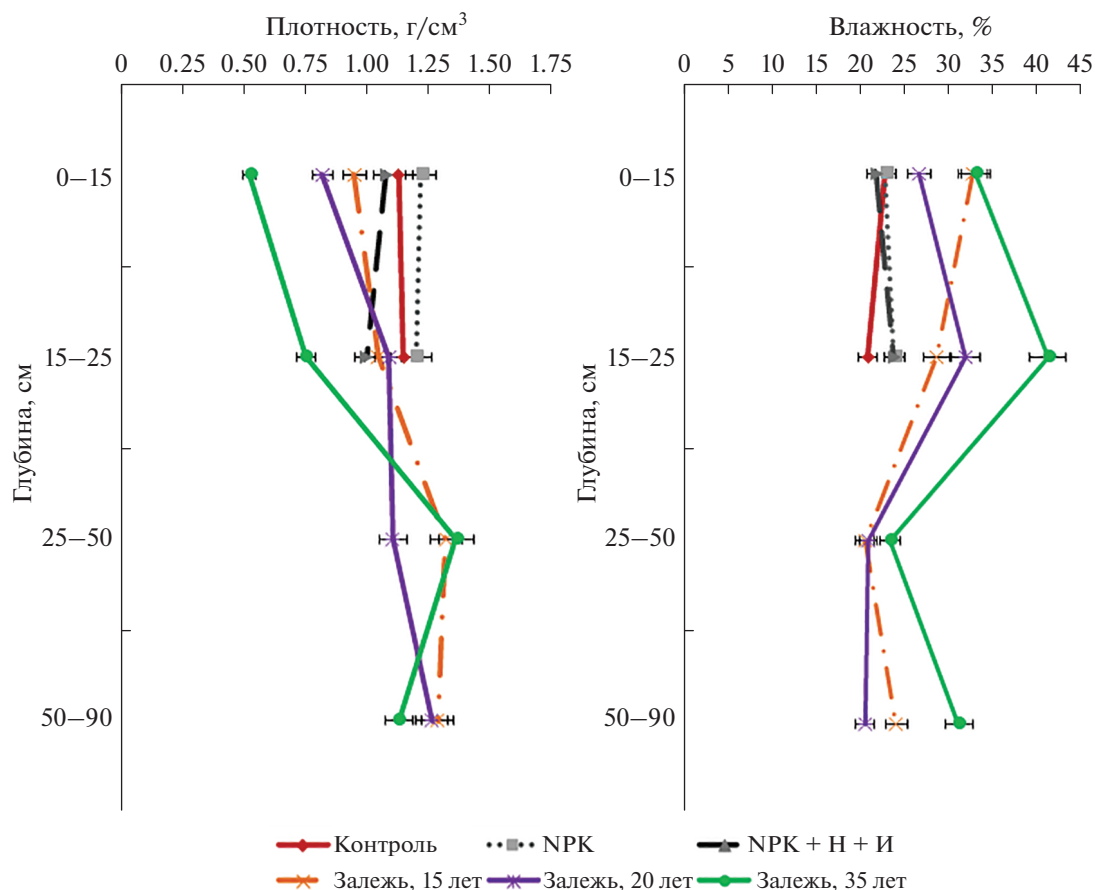


Рис. 2. Изменение плотности сложения и полевой влажности в пахотных и залежных темногумусовых подбелах.

В ряде работ, посвященных влиянию удобрений на агрофизические свойства почв, отмечается, что систематическое их использование способствует улучшению структурного состава [13, 39, 40]. В нашем исследовании применение удобрений, особенно комплексного органо-ми-

нерального с известью, также благоприятно отразилось на структурном составе почвы. Отмечено уменьшение доли глыбистой фракции в ряду: контроль—NPK—NPK + Н + И (табл. 3). В такой же последовательности в пахотном слое почвы уменьшается и средневзвешенный диаметр агрегатов.

Таблица 2. Содержание физической глины (частиц <0.01 мм) и ила (<0.001 мм) в пахотных и залежных темногумусовых подбелах

Вариант	Слой, см	Физическая глина, %	Ил, %
Контроль	0–15	54.2 ± 1.73	9.0 ± 0.23
N ₇₀ P ₁₂₀ K ₉₀	0–15	60.1 ± 2.64	12.4 ± 0.50
N ₇₀ P ₁₂₀ K ₉₀ + Н ₄₀ + И _{4.5}	0–15	64.4 ± 3.78	15.0 ± 0.45
Залежь, 15 лет	0–15	48.02 ± 1.57	20.87 ± 0.38
	15–25	51.00 ± 2.12	25.96 ± 0.42
Залежь, 20 лет	0–15	46.50 ± 1.66	26.71 ± 0.51
	15–25	64.42 ± 2.78	27.25 ± 1.01
Залежь, 35 лет	0–15	41.24 ± 1.37	20.97 ± 0.54
	15–25	77.43 ± 3.84	22.00 ± 0.36

Таблица 3. АгронOMICески ценные агрегаты, средневзвешенный диаметр агрегатов и коэффициент структурности в пахотных и залежных темногумусовых подбелах

Слой, см	Контроль	NPK	NPK + H + И	Залежь		
				15 лет	20 лет	35 лет
АгронOMICески ценные агрегаты, %						
0–15	68.78	67.86	71.33	89.30	83.25	72.98
15–25	–	–	–	84.02	91.87	83.34
25–50	–	–	–	80.61	82.44	82.22
50–90	–	–	–	73.56	79.89	71.08
Средневзвешенный диаметр агрегатов, мм						
0–15	3.82	3.66	3.30	4.10	1.84	0.98
15–25	–	–	–	3.63	2.72	1.82
25–50	–	–	–	4.12	3.13	3.17
50–90	–	–	–	6.47	5.35	5.73
Коэффициент структурности						
0–15	2.20	2.11	2.49	7.92	4.97	2.70
15–25	–	–	–	6.65	11.30	5.00
25–50	–	–	–	5.00	4.69	4.62
50–90	–	–	–	2.83	3.97	2.46

В пахотном горизонте почв всех исследуемых вариантов опыта количество агрономически ценных агрегатов высокое 67–71%, при этом фракция 2–5 мм составляет от 23 до 26%. Общее количество малоценных в агрономическом отношении агрегатов – 27–32%, и основная их доля приходится на фракцию <0.25 мм. Коэффициент структурности колеблется от 2.11 до 2.49, наибольший показатель отмечен в вариантах опыта с использованием органо-минеральных удобрений.

В залежных, как и пахотных почвах текущего этапа использования, структура почв оценивается как отличная. Максимальное значение K_s отмечено в верхнем слое почвы 15-летних залежей. В более зрелых величина K_s меньше, что, вероятно, связано с расслоением пахотного горизонта и образованием дернового слоя на поверхности.

Таблица 4. Содержание углерода в залежных темногумусовых подбелах различного возраста, %

Слой, см	Контроль	Залежь		
		15 лет	20 лет	35 лет
0–15	2.64	2.01	2.51	5.08
15–25	–	1.95	1.77	4.58
25–50	–	0.52	0.59	0.55

При естественном зарастании пашни и развитии корневой системы травянистых растений изменилось соотношение мелких и крупных макроагрегатов. Количество глыбистой фракции (>10 мм) в почве, используемой в качестве пашни, больше по сравнению с залежными аналогами. Средневзвешенный диаметр агрегатов в темногумусовых подбелах уменьшается в залежах возрастом более 15 лет.

Улучшение структуры почвы исследуемых залежей на фоне естественного зарастания растительностью, вероятно, связано с прекращением механической обработки. При систематической распашке происходит вовлечение и перераспределение почвы из нижележащих горизонтов в верхний пахотный. Почва из подпахотного горизонта часто обладает хорошими структурными свойствами, однако отличается меньшей гумусированностью и слабоустойчива к механическому воздействию [22, 46].

Исследование показало, что в целом темногумусовые подбелы отличаются невысоким содержанием $C_{орг}$ (табл. 4), что характерно для почв региона [14, 22, 28, 34].

Согласно литературным данным, в ходе постагроенных сукцессий запасы $C_{орг}$ в почве увеличиваются, что связано с отсутствием отчуждения урожая возделываемых культур, увеличением подземной биомассы, развитием дернового процесса, поступлением отмерших частей наземных растений и в целом увеличением биологической активности

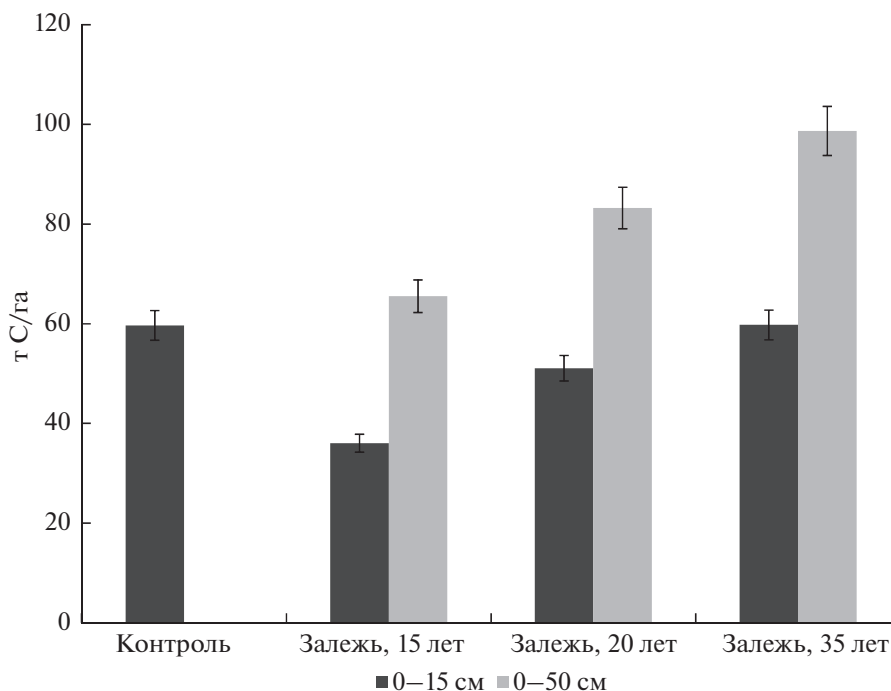


Рис. 3. Запасы углерода в залежных темногумусовых подбелах различного возраста.

почвы [19, 31, 39, 42, 48]. Средняя скорость накопления $C_{\text{орг}}$ в залежных почвах России в течение первых 20 лет после вывода из сельскохозяйственного использования составляет $105 \pm 10 \text{ г С/м}^2$ в год [45]. Однако интенсивность процессов накопления $C_{\text{орг}}$ зависит от продолжительности периода восстановительной сукцессии. Бывают случаи, когда запасы почвенного углерода в первые годы (до 10 лет) после вывода полей из сельскохозяйственного оборота меняются незначительно [24, 30] или снижаются [2, 5, 10, 17, 26] за счет резкого изменения биологического круговорота и постепенного формирования травянистого яруса с нехваткой свежего органического вещества.

Полученные данные свидетельствуют о том, что в бывшем пахотном слое залежных участков происходит уменьшение содержания $C_{\text{орг}}$ (рис. 3). Запасы углерода в слое 0–15 см 35-летней залежи были на уровне запасов контрольного варианта (пашни). Тем не менее, с увеличением возраста залежи и развитием зонального ценоза наблюдается устойчивое накопление почвенного углерода в толще 0–50 см, что согласуется с результатами работ других исследователей [3, 10, 18, 26, 30, 42, 45]. Стоит отметить, что согласно критерию Манна–Уитни, при указанных повторностях и при высокой пространственной вариабельности свойств почв, значимых различий исследуемых параметров между контролем и залежами не выявлено.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Длительное и систематическое использование удобрений отразилось на агрофизических показателях темногумусовых подбелов. Применение высоких доз минеральных удобрений привело к увеличению плотности почвы, в то время как дополнительное внесение органических удобрений с известью действовало в обратном направлении. Гранулометрический состав почвы после многолетнего использования удобрений отличался повышенным содержанием физической глины и ила.

Использование удобрений благоприятно отразилось на структурном составе исследуемой почвы. В ряду: контроль–NPK–NPK + Н + И отмечено уменьшение глыбистой фракции агрегатов и их средневзвешенного диаметра. Наибольший коэффициент структурности исследуемых пахотных почв отмечен в вариантах с использованием органо-минеральных удобрений и извести.

Изъятие темногумусовых подбелов из сельскохозяйственного использования приводит к постепенному восстановлению их естественной структурной организации. Бывший пахотный слой становится более рыхлым, менее плотным, с увеличенным количеством агрономически ценных агрегатов относительно пахотных аналогов.

При нахождении темногумусовых подбелов в залежном состоянии, к 20-ти годам естественного зарастания и с дальнейшим увеличением времени, происходит накопление углерода в бывшем

пахотном слое за счет роста запасов фитомассы при отсутствии отчуждения растительного материала и формирования дернового горизонта. Запасы углерода увеличиваются от 65.51 т С/га в 15-летних залежах до 98.68 т С/га в 35-летних в верхней 50-сантиметровой толще профиля.

Полученные данные могут служить основой для эффективного использования темногомусосовых подбелов в системе сельскохозяйственной отрасли.

ФИНАНСИРОВАНИЕ РАБОТЫ

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке Российского научного фонда (грант № 17-76-10011) с привлечением оборудования Центра коллективного пользования “Биотехнологии и генетической инженерии” на базе ФНЦ Биоразнообразия ДВО РАН.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Агрохимические методы исследования почв. М.: Наука, 1975. 656 с.
2. Артемьева 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.
3. Баева Ю.И., Курганова И.Н., Лопес де Гереню В.О., Почикалов А.В., Кудяров В.Н. Физические свойства и изменение запасов углерода серых лесных почв в ходе постагрогенной эволюции (юг Московской области) // Почвоведение. 2017. № 3. С. 345–353. <https://doi.org/10.7868/S0032180X17030029>
4. Бурдуковский М.Л., Голов В.И., Ковшик И.Г. Изменение агрохимических свойств основных пахотных почв юга Дальнего Востока при длительном сельскохозяйственном использовании // Почвоведение. 2016. № 10. С. 1244–1250. <https://doi.org/10.7868/S0032180X16100051>
5. Владыченский А.С., Телеснина В.М., Румянцева К.А., Чалая Т.А. Органическое вещество и биологическая активность постагрогенных почв южной тайги на примере Костромской области // Почвоведение. 2013. № 5. С. 518–529. <https://doi.org/10.7868/S0032180X1305016X>
6. Голов В.И. Круговорот серы и микроэлементов в основных агроэкосистемах Дальнего Востока. Владивосток: Дальнаука, 2004. 316 с.
7. Государственная программа “Развитие сельского хозяйства и регулирования рынков сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия. Повышение уровня жизни сельского населения Приморского края на 2013–2020 годы”. Постановление Администрации Приморского края от 07.12.2012 № 392-па.
8. Зайдельман Ф.Р. Подзоло- и глееобразование. М.: Наука, 1974. 204 с.
9. Иванов Г.И. Почвообразование на юге Дальнего Востока. М.: Наука, 1976. 200 с.
10. Карелин Д.В., Горячкин С.В., Кудиков А.В., Лопес де Гереню В.О., Лунин В.Н., Долгих А.В., Люри Д.И. Изменение запасов углерода и эмиссии CO₂ в ходе постагрогенной сукцессии растительности на серых почвах в европейской части России // Почвоведение. 2017. № 5. С. 580–594. <https://doi.org/10.7868/80032180X17050070>
11. Качинский Н.А. Физика почв. М.: Высшая школа, 1965. Т. 1. 320 с.
12. Ковда В.А. Переуплотнение пахотных почв: причины, следствия, пути уменьшения. М.: Наука, 1987. 216 с.
13. Королев В.А., Стахурлова Л.Д. Изменение основных показателей плодородия выщелоченных черноземов под влиянием удобрений // Почвоведение. 2004. № 5. С. 604–611.
14. Костенков Н.М., Оздобихин В.И. Почвы и почвенные ресурсы юга Дальнего Востока и их оценка // Почвоведение. 2006. № 5. С. 517–526.
15. Кузнецова И.В. Изменения физического состояния черноземов типичных и выщелоченных Курской области за 40 лет // Почвоведение. 2013. № 4. С. 434–441. <https://doi.org/10.7868/S0032180X13040084>
16. Лебедева И.И., Чевердин Ю.И., Титова Т.В., Гребенников А.М., Маркина Л.Г. Структурное состояние миграционно-мицелярных (типичных) агрочерноземов каменной степи в условиях разновозрастной пашни // Почвоведение. 2017. № 2. С. 227–238. <https://doi.org/10.7868/S0032180X17020095>
17. Литвинович А.В., Павлова О.Ю. Изменение гумусного состояния дерново-подзолистой глееватой песчаной почвы на залежи // Почвоведение. 2007. № 11. С. 1323–1329.
18. Люри Д.И., Горячкин С.В., Караваева Н.А., Денисенко Е.А., Нефедова Т.Т. Динамика сельскохозяйственных земель России в XX веке и постагрогенное восстановление растительности и почв. М.: ГЕОС, 2010. 416 с.
19. Орлов Д.С., Бирюкова О.Н. Запасы углерода органических соединений в почвах Российской Федерации // Почвоведение. 1995. № 1. С. 21–32.
20. Орлов Д.С., Гришина Л.А. Практикум по химии гумуса. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1981. 272 с.
21. Пуртова Л.Н., Костенков Н.М. Энергетическое состояние почв Дальнего Востока России. Владивосток: Дальнаука, 2003. 133 с.
22. Пуртова Л.Н., Костенков Н.М., Шапова Л.Н. Оценка гумусного состояния и продуцирования CO₂ почвами природных и агрогенных ландшафтов юга Дальнего Востока России // Почвоведение. 2017.

- № 1. С. 48–55.
<https://doi.org/10.7868/S0032180X17010129>
23. *Рзаева В.В., Федоткин В.А.* Качество основной обработки почвы и оценка глубины посева яровой пшеницы // Земледелие. 2013. № 5. С. 23–24.
24. *Русанов А.М.* Современный этап восстановления черноземов пастбищных экосистем степной зоны // Почвоведение. 2015. № 6. С. 761–768.
<https://doi.org/10.7868/S0032180X1506009X>
25. *Рыбакова А.Н., Сорокина О.А.* Оценка показателей плодородия постагрогенных серых почв залежей при различном использовании // Плодородие. 2013. № 3(72). С. 31–33.
26. *Рыжова И.М., Ерохова А.А., Подвезенная М.А.* Динамика и структура запасов углерода в постагрогенных экосистемах южной тайги // Почвоведение. 2014. № 9. С. 1–10.
<https://doi.org/10.7868/S0032180X14090111>
27. Сельское хозяйство в России. 2019. Статистический сб. М.: Росстат, 2019. 91 с.
28. *Синельников Э.П.* Оптимизация свойств и режимов периодически переувлажняемых почв. Уссурийск: Изд-во ПГСХА, 2000. 296 с.
29. Система земледелия Амурской области. Производственно-практический справочник. Благовещенск: Изд-во ДальГАУ, 2016. 574 с.
30. *Телеснина В.М., Курганова И.Н., Лопес де Гереню В.О., Овсепян Л.А., Личко В.И., Ермолаев А.М., Мишин Д.М.* Динамика свойств почв и состава растительности в ходе постагрогенного развития в разных биоклиматических зонах // Почвоведение. 2017. № 12. С. 1514–1534.
<https://doi.org/10.7868/S0032180X17120115>
31. *Титлянова А.А.* Биологический круговорот углерода в травяных биогеоценозах. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1977. 220 с.
32. *Филиппова О.И., Холодов В.А., Сафронова Н.А., Юдина А.В., Куликова Н.А.* Микроагрегатный, гранулометрический и агрегатный состав гумусовых горизонтов зонального ряда почв европейской России // Почвоведение. 2019. № 3. С. 335–347.
<https://doi.org/10.1134/S0032180X19030031>
33. *Фомин Д.С., Валдес-Коровкин И.А., Голуб А.П., Юдина А.В.* Оптимизация анализа агрегатного состава почв методом автоматического рассева // Бюл. Почв. ин-та им. В.В. Докучаева. 2019. № 96. С. 149–177.
<https://doi.org/10.19047/0136-1694-2019-96-149-177>
34. *Хавкина Н.В.* Гумусообразование и трансформация органического вещества в условиях переменного почвообразования. Уссурийск: Изд-во ПГСХА, 2004. 272 с.
35. *Холодов В.А., Ярославцева Н.В., Фарходов Ю.Р., Белобров В.П., Юдин С.А., Айдиев А.Я., Лазарев В.И., Фрид А.С.* Изменение соотношения фракций агрегатов в гумусовых горизонтах черноземов в различных условиях землепользования // Почвоведение. 2019. № 2. С. 184–193.
<https://doi.org/10.1134/S0032180X19020060>
36. *Шеин Е.В.* Курс физики почв. М.: Изд-во Моск. ун-та, 2005. 432 с.
37. *Шеин Е.В., Лазарев В.И., Айдиев А.Ю., Сакункончак Т., Кузнецов М.Я., Милановский Е.Ю., Хайдапова Д.Д.* Изменение физических свойств черноземов типичных (Курская область) в условиях длительного стационарного опыта почвоведение // Почвоведение. 2011. № 10. С. 1201–1208.
38. *Alakukku L.* Persistence of soil compaction due to high axle load traffic. II. Long-term effects on the properties of fine-textured and organic soils // Soil Tillage Res. 1996. V. 37. P. 223–238.
[https://doi.org/10.1016/0167-1987\(96\)01017-3](https://doi.org/10.1016/0167-1987(96)01017-3)
39. *Carter M.R., Stewart B.A.* (Eds.) Structure and Organic Matter Storage in Agricultural Soils. CRC Press: Boca Raton, 1996. 496 p.
40. *Franzluebbers A.J.* Water infiltration and soil structure related to organic matter and its stratification with depth // Soil Tillage Res. 2002. V. 66. P. 97–205.
[https://doi.org/10.1016/S0167-1987\(02\)00027-2](https://doi.org/10.1016/S0167-1987(02)00027-2)
41. *Gliniski J., Lipiec J.* Soil Physical Conditions and Plant Roots. Boca Raton, Florida: CRC Press, 1990. 250 p.
42. *Guo L.B., Gifford R.M.* Soil carbon stock and land use change: a meta analysis // Global Change Biol. 2002. V. 8(4). P. 345–360.
<https://doi.org/10.1046/j.1354-1013.2002.00486.x>
43. *Hillel D.* Introduction to Environmental Soil Physic. Amsterdam: Acad. Press, 2003. 494 p.
44. *Joffre R., Rambal S., Romane F.* Local variations of ecosystem functions in Mediterranean evergreen oak woodland // Annales Des Sciences Forestieres. 1996. V. 53. P. 561–570.
45. *Kurganova I., Lopes de Gerenyu V., Six J., Kuzya-kov Y.* Carbon cost of collective farming collapse in Russia // Global Change Biol. 2014. V. 20. № 3. P. 938–947.
<https://doi.org/10.1111/gcb.12379>
46. *Kooistra M.J., Boersma O.H.* Subsoil compaction in Dutch marine sandy loams: loosening practices and effects // Soil Tillage Res. 1994. V. 29. P. 237–247.
[https://doi.org/10.1016/0167-1987\(94\)90062-0](https://doi.org/10.1016/0167-1987(94)90062-0)
47. *Lipiec Y., Hatano R.* Quantification of compaction effects on soil physical properties and crop growth // Geoderma. 2003. V. 116. P. 107–136.
[https://doi.org/10.1016/S0016-7061\(03\)00097-1](https://doi.org/10.1016/S0016-7061(03)00097-1)
48. *Poultou P.R., Pye E., Hargreaves P.R., Jenkinson D.S.* Accumulation of carbon and nitrogen by old arable land reverting to woodland // Global Change Biol. 2003. V. 9. P. 942–955.
<https://doi.org/10.1046/j.1365-2486.2003.00633.x>
49. *Stratton M.L., Barker A.V., Rechcig J.E.* Compost // Soil Amendments and Environmental Quality / Ed. Rechcig J.E. CRC Press, USA, 1995. P. 249–309.
50. World Reference Base for Soil Resources 2014, Update 2015. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. 3rd. Rome: FAO, 2015.

Agrogenic and Postagrogenic Changes in Physical Properties and Carbon Stocks in Dark-Humus Podbels

M. L. Burdukovskii^{1,*}, V. I. Golov¹, P. A. Perepelkina¹, I. V. Kiseleva¹, and Ya. O. Timofeeva¹

¹*Federal Scientific Center of the East Asia Terrestrial Biodiversity, Far East Branch of the Russian Academy of Sciences, Vladivostok, 690022 Russia*

**e-mail: mburdukovskii@gmail.com*

Changes in the physical properties and carbon stocks of dark-humus podbels (Luvic Albic Mollic Planosols (Epiloamic, Endoclayic, Aric)) during their long-term agricultural use and postagrogenic evolution have been studied. Soil samples were taken from the three treatments: control (without fertilizers), high rates of mineral fertilizers, and mineral fertilizers + manure + lime (Chaika Experimental Field Station of the Federal Research Center for Agrobiotechnology of the Far East, Primorsky region) and from abandoned agricultural fields (15, 20 and, 35 years after abandonment). It was shown that the long-term application of mineral fertilizers increases the soil bulk density. Application of organic and mineral fertilizers and lime had a positive effect on bulk density and structural characteristics of soils. The abandonment of agricultural fields and the cessation of mechanical tillage result in the restoration of the natural structure of soils. In the upper horizon of the studied fallow soils, the content of agronomically valuable aggregates increases, while their mean weighted diameter decreases. The carbon content and stocks in the upper soil layer decrease in the first years after the abandonment of the fields. The carbon stocks in the upper 50-cm-thick increase with an increase in the duration of abandonment.

Keywords: field experience, fertilizers, fallow land, soil structure, dark humus podbels