

## ЗАКОНОМЕРНОСТИ ДЕПОНИРОВАНИЯ ОРГАНИЧЕСКОГО УГЛЕРОДА ПОСТАГРОГЕННЫМИ ПОЧВАМИ В КОНТЕКСТЕ КЛИМАТИЧЕСКИХ РАЗЛИЧИЙ

Ф.Н. Лисецкий

*Белгородский государственный национальный исследовательский университет, Белгород, ул. Победы 85, 308015, Россия,  
email: [fnliset@mail.ru](mailto:fnliset@mail.ru)*

Определены диагностические показатели агрогенных нагрузок различной интенсивности в залежных почвах древнеземледельческого района степной зоны. Наиболее значимые различия в постагрогенных горизонтах почв и сопоставимых слоях зональных почвенных эталонов выявлены для содержания органического углерода, валового фосфора и гидролизуемого азота. В экотоне лесостепи и степи горизонты ренатурации у залежных почв отличаются от разновременных пахотных почв по особенностям органического вещества (более высокому содержанию лабильного гумуса и фульвокислот). По сравнению с целинным аналогом в горизонте ренатурации старозалежных почв сохраняются различия из-за более низкого содержания органического углерода, валового азота и легко трансформируемого органического вещества.

**Ключевые слова:** разновременные залежи; агрогенез; индикаторы качества почв; органическое вещество почв; детрит.

Эффективное сохранение почвенного органического вещества (ПОВ) и углерода ( $C_{\text{орг}}$ ) может быть достигнуто за счет природных экосистем и интродукции многолетних культур на пахотных землях, однако и комбинированные формы, сочетающие сохранение пожнивных остатков, диверсификацию сельскохозяйственных культур, минимальные обработки (*no-till farming*) выступают фундаментальными принципами ресурсосберегающего земледелия [1]. Процессы, определяющие ключевые механизмы почвенной секвестрации углерода и его депонирования, воспроизводятся на постагрогенных землях. Их изучение способствует лучшему пониманию путей совершенствования практик землепользования в агроландшафтах. У проблемы вовлечения в оборот «заброшенных» сельскохозяйственных земель может быть несколько измерений. С одной стороны, в России сохраняются значительные площади земель, выведенных из оборота. Поэтому Государственной программой по эффективному вовлечению в оборот земель сельскохозяйственного назначения, принятой 14.05.2021, предусмотрено на период с 2022 по 2031 гг. ввести в обработку 13,2 млн га неиспользуемых сельскохозяйственных земель. С другой стороны, как обстоятельно

аргументировано в работе [2], восстановленные в разной степени степные участки на юге России имеют существенный потенциал для воспроизводства биолого-генетического и ландшафтного разнообразия. Почвы уже в первые годы залежного режима значительно восстанавливают биологическую активность, а начальный этап сукцессий обеспечивает на девятый месяц разницу в содержании  $C_{орг}$  между пахотной и залежной почвой 28% ( $p < 0.05$ ) со стабилизацией различий в последующие десятилетия [3]. Разно-возрастные залежи, которые представлены в широком хронологическом диапазоне в древнеземледельческих районах, предоставляют большие информационные возможности для понимания хода долговременного приближения почвенных систем к уровням насыщения в ходе секвестрации  $C_{орг}$  [4] при данных биоклиматических условиях.

Для сопоставления эффективности залежного режима исследования проведены в регионах с различной длительностью аграрного освоения (Степной Крым и в лесостепной части Белгородской области (Прохоровский и Вейделевский р-ны). В климатическом отношении эти два региона отличаются условиями тепло- и влагообеспеченности, однако, судя по расчетным величинам затрат энергии на почвообразование, имеют близкий потенциал воспроизводства почв.

Крымский полигон относится к южностепной подзоне, которую характеризуют следующие основные климатические параметры: среднегодовая сумма осадков и температура воздуха – 358 мм и 10,6 °С соответственно; климатические затраты энергии на почвообразование (по В.Р. Волобуеву)  $Q = 1000–1100$  МДж/м<sup>2</sup> в год. В Северо-Западном Крыму, начиная с основания Керкинитиды (от середины VI в. до н. э.) сложились значительные аграрные центры V–IV вв. до н. э., а в конце третьей четверти IV в. до н. э. при формировании дальней хоры Херсонеса землеустройство получили более регламентированный характер. Старопахотные почвы имели предысторию земледелия, которая длилась от финальной фазы античной эпохи около 600 лет. Время режима непрерывной ренатурации у постантичных залежей охватывает период со II в. до н.э. по XIX в., а в отдельных случаях длится и до настоящего времени. Выявление постантичных залежей на черноземах южных солонцеватых на лессовидных породах и черноземах карбонатных щебнистых среднесуглинистых осуществляли путем совмещения векторного слоя контуров древнего земледелия с разновременными космическими снимками: CORONA 1969 г.; Landsat 1985-2020 гг.; из Google Earth 2005-2020 гг. База данных почв с различной агрогенной нагрузкой включала 4 группы (табл.). От первой к четвертой группе отмечается уменьшение содержания  $C_{орг}$ , валового фосфора и гидролизуемого азота при менее однозначных различиях по остальным показателям (табл.). Постантичные залежи с периодической

распашкой в новое время (группа 4) отличаются от остальных групп меньшими величинами таких показателей, как содержание  $C_{орг}$ , валового фосфора, гидролизуемого азота, и более высоким содержанием подвижного фосфора и обменного калия. Постаптические залежи, которые со II в. до н. э. дошли до настоящего времени в непрерывном режиме зацеplинения, а также те, которые испытывали различную по длительности и силе агрогенную нагрузку (в периоды прерывания этого режима распашкой), не достигли уровня гумусированности гор. По величине соотношения C:N залежные почвы с неоднократными периодами распашки приближаются к целинным, а постаптические залежи в режиме зацеplинения ( $N_{вал.} = 0,27\%$ ) или в прошлом с умеренной агрогенной нагрузкой ( $N_{вал.} = 0,14\%$ ) имеют более широкие величины C:N от 9 до 13, т.е. среднюю и низкую степень обогащения гумуса азотом.

#### Содержание органического углерода и азота в различных типах степных почв древнеземледельческого района

Группы почв	n	$C_{орг.}, \%$	$N_{вал.}, \%$	C:N
1	5	$2,58 \pm 0,25$	$0,31 \pm 0,03$	$8,2 \pm 0,4$
2	16	$2,40 \pm 0,10$	$0,27 \pm 0,02$	$9,3 \pm 0,4$
3	5	$1,81 \pm 0,26$	$0,14 \pm 0,02$	$13,2 \pm 1,4$
4	14	$1,48 \pm 0,15$	$0,18 \pm 0,01$	$8,5 \pm 0,8$

*Примечания.* 1 – целинная почва; 2 – постаптическая (со II в. до н.э.) залежь; 3 – постаптические залежи с умеренной агрогенной нагрузкой; 4 – постаптические залежи с периодической распашкой в новое время и сильной агрогенной нагрузкой. n – количество объектов исследования.

В залежных степных почвах проявляется важная для секвестрации органического углерода стратификация верхней части гор. А. Под зрелыми растительными ассоциациями наиболее насыщенный корнями верхний слой гор. А, который в полевых условиях обычно выделяется до глубины 5 см, отличался от нижележащего слоя (от 5 до 16(17) см), тем, что он был более обогащен  $C_{орг}$  (в 1,33 раза) и валовым азотом (в 1,43 раза), но имел более широкое соотношение C:N (9,0 против 9,7).

Исследования в условиях южной лесостепи Белгородской области (климатические затраты энергии на почвообразование  $Q = 1130 \text{ МДж/м}^2$  в год) показали [5], что в режиме залежей при сравнении различных трендов воспроизводства показателей плодородия можно считать чернозёмный тренд в отличие, например, от тренда самозаращания пашни лесом, наиболее эффективным по большинству показателей. Единственный показа-

тель, который ухудшается – это реакция почвенного раствора, что, по-видимому, связано с накоплением кислых продуктов гумификации и омоложением гумуса. В буферной полосе от лесостепной почвенной зоны к степной зоне развиты черноземы обыкновенные мощные под богаторазнотравно-дерновиннозлаковыми степями (Вейделевский р-н). Сформированный в результате полевых исследований агрогенный ряд почв (наряду с эталонной почвой в региональном степном заказнике) позволил установить особенности воспроизводства почв в залежном режиме. Результаты кластерного анализа, выполненного по данным 17 показателей гумусного, агрофизического, агрохимического и геохимического (по содержанию 7 необходимых макро- и микроэлементов) состояния, показал, что на высоком уровне расстояния объединения выделяются горизонты ренатурации у залежных почв по сравнению с разновременными пахотными почвами, как по особенностям ПОВ (более высокое содержание лабильного гумуса (в 1,8 раз) и доли фульвокислот (в 1,5 раз)), так по показателям агрофизики (более высокие величины средневзвешенного диаметра водопрочных агрегатов (в 2,5 раза) и коэффициента структурности (в 1,6 раза)) и в меньшей степени от пашни, которая находится в зоне действия лесного массива, что в наибольшей мере связано с более высоким содержанием в этой почве лабильного гумуса (в 2,7 раза). Соотношение удельных скоростей процессов формирования и деструкции растительного вещества во многом контролируется конкретными биоклиматическими условиями. Чем выше продукция и ниже скорость деструкции, тем больше мортмассы накапливается в надземном ярусе. Она, но особенно мортмасса подземного яруса, выступает значимым резервом для образования и последующего депонирования  $C_{орг}$ . Наиболее корненасыщенная часть гор. А (0-20 см) содержит в среднем 24 т/га фитомассы подземных органов под ассоциациями с доминированием ковыля и 15 т/га под типчаковой ассоциацией, что обеспечивает ежегодный приход  $C_{орг}$  от 1,0 до 1,4 т/га. Под типчаково-разнотравной ассоциацией (учёты июня) масса живых и мертвых корней в слое 0-20 см составляет 11,4 т/га и 4,1 т/га соответственно, из них в слое 0-10 см 77,5 % и 68,5 % соответственно. Исследования 2023 года в региональном заказнике и его окрестностях показали, что под разновременными залежами в слое 0-23 см содержится в среднем 11 г мортмассы (абсолютно сухого вещества) на 100 г почвы, причем 71% от этого количества находится в верхнем, наиболее насыщенном корнями слое (0-11 см). В начале лета содержание мортмассы пока невелико – в слое 0-12 см почвы целинной степи 14% от массы и около 8% у почв залежей, при этом мортмасса содержит 18–23 %  $C_{орг}$ . Под лесом, включая вековые дубравы заповедной территории, верхняя часть гор. А (до 18 см) содержит около 7 г мортмассы на 100 г почвы с

содержанием углерода мортмассы – 20%. Детритная и лабильная (ЛОВ) составляющие части ОВ позволяют комплексно учитывать процессы трансформации ОВ у залежных почв [6]. Почва в верхней части гор. А (0–12 см) у старозалежной почвы сохраняет по сравнению с почвой в аналогичном слое целинного аналога меньшее содержание  $C_{орг}$  (в 1,6 раза), легко трансформируемого ОВ (в 2 раза), валового азота (в 2 раза) и отличается более узким соотношением C:N (8 против 11). По содержанию углерода в ЛОВ и легко трансформируемом ОВ различия между почвами несущественны.

Различия биоклиматических условий определяют формирование в горизонте А отличающихся уровней предельной аккумуляции  $C_{орг}$ , установленные, к примеру, при сравнении почв в подзонах распространения обыкновенных и южных черноземов (в среднем от 4,7 до 2,6 %), что детерминирует возможности его депонирования в процессе постагрогенного развития почв.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 23-17-00169, <https://rscf.ru/project/23-17-00169/>

### Библиографические ссылки

1. A global meta-analysis of soil organic carbon in the Anthropocene / D. Beillouin [et al.] // Nat Commun. 2023. Vol. 22, No. 14 (1), 3700.
2. Restoring steppe landscapes: patterns, drivers and implications in Russia's steppes / R. Pazur [et al.] // Landscape Ecol. 2021. No. 36. P. 407–425.
3. Постагрогенное изменение ферментативной активности и содержания органического углерода чернозема в первые 3 года залежного режима / К. Ш. Казеев [и др.] // Почвоведение. 2020. № 7. С. 901–910.
4. Soil carbon sequestration: a step towards sustainability / S. Kaushal [et al.] // Int. J. Plant Soil Sci. 2023. Vol. 5, No. 11. P. 160–171.
5. Goleusov P., Lisetskii F. Variants of post-agrogenic soil reproduction in agrolandscapes (A case study in Belgorod region) // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021. No. 8. P. 012096.
6. Сопоставление результатов применения различных подходов к оценке качественного состава органического вещества залежных почв / Р. В. Гиниятуллин [и др.] // Плодородие. 2023. № 1(130). С. 45–48.