

УДК: 631.484:631.487

## ОЦЕНКА ИЗМЕНЕНИЯ ОРГАНИЧЕСКОГО УГЛЕРОДА И ПЛОДОРОДИЯ ПОСТАГРОГЕННЫХ ЛЕСОСТЕПНЫХ ПОЧВ В РАЙОНЕ ДЛИТЕЛЬНОГО ЗЕМЛЕПОЛЬЗОВАНИЯ

**Ф. Н. Лисецкий, А. О. Полетаев, М. Е. Родионова**

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

Установлено, что в биоклиматических условиях типичной лесостепи при увеличении оценки качества залежных почв, рассчитанной по величинам 18 диагностических показателей, опережающими (в три раза) темпами возрастает содержание в горизонте А органического углерода. Почвы, формировавшиеся при самозаращении лесом, отличаются от залежных почв под луговой степью более высокой (на 13 %) оценкой качества почв за счет опережающего накопления углерода, азота, кальция, цинка и физической глины.

**Ключевые слова:** разновременные залежи; качество почв; биогеохимия почв; органическое вещество почв; типичная лесостепь.

## ASSESSMENT OF CHANGES IN ORGANIC CARBON AND FERTILITY OF POSTAGROGENIC FOREST-STEPPE SOILS IN AN AREA OF LONG-TERM LAND USE

**F. N. Lisetskii, A. O. Poletaev, M. E. Rodionova**

*Belgorod State National Research University, Pobeda st., 85, 308015, Belgorod,  
Russian Federation, [fnliset@mail.ru](mailto:fnliset@mail.ru)*

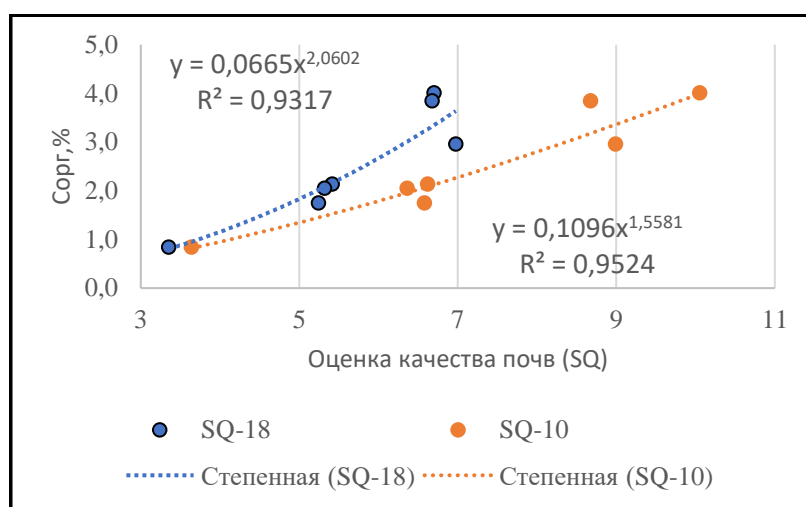
The increase in the assessment of the quality of fallow soils in the bioclimatic conditions of a typical forest-steppe, which was calculated using 18 diagnostic indicators, lags (three times) behind the rate of increase in the content of organic carbon in the A horizon. Soils that were formed during self-overgrowth with forests differ from fallow soils under the meadow steppe higher (by 13 %) assessment of soil quality due to the advanced accumulation of carbon, nitrogen, calcium, zinc and physical clay.

**Keywords:** multi-temporal fallow lands; soil quality; soil biogeochemistry; soil organic matter; typical forest-steppe.

С биогеохимической точки зрения ресурсы потенциального плодородия определяются не только содержанием эссенциальных элементов, но и тех, которые участвуют в осаждении органического вещества (ОВ) и образовании органо-минеральных соединений и их

закреплению, то есть в иммобилизации органо-минеральных соединений [1]. Цель работы — анализ изменений содержания ОБ в контексте агрогенных и постагрогенных биогеохимических трансформаций в почвах разновременных залежей. Почвенные образцы отобраны на залежах в полукруге правого берега р. Ворсклы радиусом до 4,6 км от детинца Хотмыжского городища, где обнаружены отложения трех культур (многоваликовой керамики, роменской и древнерусской) и периода XVII-XVIII вв. [2]. Фоновые почвы — серые лесные и черноземы оподзоленные. Отбор образцов проводили для слоя 0-20 см, но ниже горизонта Ад с мощностью 4-10 см (в среднем 7 см). Поэтому средняя мощность анализируемой части горизонта А составляла 14,6 см (при размахе величин от 9 до 20 см). Разработанная ранее пространственно-временная модель аграрной округи Хотмыжска отражает этапы землепользования, начиная с VIII-XII вв. и по настоящее время [3]. Исходя из исторического контекста, это земли с наиболее значительной агрогенной нагрузкой на Белгородчине. Как показано ранее [5], индикаторами длительного агрогенеза могут выступать наряду с ОБ элементы рассеяния и элементы аккумуляции. Используя полный набор элементов, определяемых рентгеноспектральным флуоресцентным анализом, а также обоснованный перечень необходимых и полезных для растений макро- и микроэлементов [4], при расчетах учтено содержание 14 эссенциальных элементов: K, Mg, Ca, P, S, Fe, Mn, Ni, Cu, Zn, Cl, Si, Al, Co. Оценку качества почв (SoilQuality) — SQ проводили по нескольким наборам диагностических показателей путем расчета среднегеометрического значения. Кроме содержания 14 эссенциальных элементов при расчете SQ учитывали пять дополнительных показателей: водопрочность агрегатов размером 1-2 и 2-3 мм, содержание мортмассы и углерода мортмассы (%), валового азота и частиц <0,01 мм. Из последующего анализа был исключён один параметр – содержание Si (с коэффициентом вариации <10 %). Это позволило оценить интегральные отличия потенциального плодородия почв, находящихся при различной длительности в залежах под луговой степной растительностью и почв под лесами, как генетически наиболее близких зональным эталонам в данных биоклиматических условиях, а оценка их бонитета может рассматриваться как характеристика финальной стадии автогенной сукцессии. Уравнение регрессии между содержанием Сорг и величинами SQ<sub>18</sub> наиболее адекватно можно представить степенной зависимостью:  $Sорг = 0,0665 \cdot SQ^{2,0602}$  (при R<sup>2</sup>=0,93). Это уравнение, которое также можно выразить в линейном виде, хотя при некотором снижении достоверности аппроксимации (R<sup>2</sup>=0,83), позволяет заключить, что увеличением величины SQ<sub>18</sub> в 2 раза (при диапазоне SQ<sub>18</sub> изменения от 3,4 до 7,0) достигается рост содержания Сорг в 6 раз (от 0,62 до 3,62 %). Если оценивать степень детерминированности гумусности лесостепных почв от отдельных показателей потенциального плодородия,

то это можно представить в виде ранжированного убывающего ряда содержаний: N > S > Zn > Ca > Ni > Cl > Cu > K > (частиц <0,01 мм) > P. Выполненный отбор наиболее значимых параметров и представление уровня плодородия как оценки качества почв SQ<sub>10</sub> расширил диапазон этого показателя и повысил тесноту связи с содержанием Сорг (рисунок). Однако надо отметить, что включение большего числа показателей, как в случае с оценкой SQ<sub>18</sub>, формирует более широкий контекст ресурсов потенциального плодородия, что отражает возможности диагностировать круг факторов, определяющих наибольшую углероддепонирующую способность почв.



Зависимость содержания органического углерода (Сорг) почв с оценкой их качества по 18 и 10 диагностическим показателям

Сравнение качества почв из горизонта А у залежей, сформированных под лесом (без учета зонального аналога) и под травянистой растительностью показывает, что величины и SQ<sub>18</sub>, и SQ<sub>10</sub> больше у почв под лесной растительностью. Примечательно, что исследование в Белгородской области восстановленных горизонтов у безлесных залежных почв показало, что в степной зоне, как залежи возрастом до 10 лет, так и более зрелые (около 70 лет), отличались более активным гумусонакоплением, чем залежи в зоне лесостепи [6]. В типичной лесостепи постагрогенные почвы, которые формируются при самозарастании лесом в последние десятилетия, в среднем имеют более высокую (на 13 %) оценку качества почв (SQ<sub>10</sub>) по сравнению с залежами под луговой степью. Это обусловлено, прежде всего, более высоким (>20 %) содержанием Cl, Сорг, валового N, S, Mn, ФГ, Са и Zn в гор. А серых лесных почв под разновозрастной лесной растительностью. При том, что почва в заповедной дубраве (участок «Лес на Ворскле») уступает остальным изученным объектам по большинству показателей (Сорг, Nвал., S, Cu, Zn, Ni, ФГ). Почвы под травянистой растительностью

отличаются повышенным содержанием мортмассы и Al. Процессы выщелачивания, связанные с потерей из гор. А миграционно подвижных оксидов, диагностирует коэффициент элювиирования [10], вычисляемый по формуле:  $Ke = SiO_2 / (MnO + CaO + K_2O + MgO + Na_2O)$ . Если почва под коренной дубравой ожидаемо имеет наибольшую величину  $Ke = 15,4$ , то у постагрогенных залежей под лесной растительностью в среднем за полувековой период определилась значительно более низкая величина  $Ke = 8,4$ , тогда как у постагрогенных почв, сформированных под травянистой растительностью,  $Ke = 10,1$ .

Оценка водопрочности макроагрегатов залежных почв показала, что под лесом она на 10-20 % ниже, чем у почв под луговой степью, причем у последних водопрочность возрастает при уменьшении размера фракций (от 76 % (2-3 мм) до 81 % (1-2 мм)). При этом содержание Сорг в более мелких макроагрегатах лишь незначительно больше, чем у более крупных макроагрегатов, но у почв под травянистой растительностью это различие несколько больше, чем у почв под лесом. Ранее было показано, что рост микроагрегированности залежных почв, определяемой по соотношению доли частиц и агрегатов диаметром 50-250 мкм к доле элементарных почвенных частиц той же размерности, в 1,8 раза обеспечивается увеличением содержания ОВ в 2,5 раза [7]. Устойчивые микроагрегаты (53-250 мкм) содержат грубое ОВ, а неагрегированные частицы (<53 мкм) обогащены веществами с повышенным содержанием азота [8].

Возникновению самоорганизации в процессе воспроизводства ОВ способствуют когерентные взаимодействия между его подсистемами, какими являются инертный гумус (ИГ), лабильные гумусовые вещества (ЛГВ), негумифицированное ОВ (НВ), а важным условием сохранения и обновления собственно гумусовых веществ является поддержание определенных соотношений ИГ и ЛГВ, гумуса и НВ [9]. В изученных нами объектах при увеличении доли предгумусовых веществ (легко трансформируемого ОВ, получаемого экстракцией горячей водой) в 3,3 раза (с 0,3 до 1 %) содержание закрепленного в почве Сорг повышается в 6 раз.

Учет того обстоятельства, что почвы равнинных степных ландшафтов содержат порядка 1/4 количества углерода, депонированного в российских почвах, определяет актуальность оценок депонирующего потенциала экосистем с разным биоклиматическим потенциалом [11]. Углеродпротекторная емкость почвы (СРС) оценивается по величине стабилизированного и защищенного от разложения ОВ, для чего предложено использовать формулу расчета СРС, учитывающую долю гранулометрических фракциях пыли и глины с размером частиц <0,02 мм [12]. Выполненные расчеты по изученным объектам показали, что постагрогенные почвы, сформированные под травянистой растительностью и под лесом, имеют различия по величинам СРС – 23,3 и 21,8 г С кг<sup>-1</sup> соответственно.

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

### Библиографические ссылки

1. *Черкинский А. Е.* ЭПП метаморфизма органического вещества // Элементарные почвообразовательные процессы. М.: Наука, 1992. С. 44–58.
2. *Божко А. А.* Крепости юго-западного фаса Белгородской черты: археологические исследования и современное состояние // Белгородская черта : Сборник статей и материалов по истории Белгородской оборонительной черты / Белгородская региональная общественная организация "Историческое общество "Ратник". Редколлегия: В.М. Жигалов [и др.]. Выпуск 4. Белгород : ООО "КОНСТАНТА", 2019. С. 20–28.
3. *Лисецкий Ф. Н., Замураева М. Е.* Антропогенная обусловленность развития эрозионных процессов в староосвоенных земледельческих районах // Двадцать четвертое пленарное межвузовское координационное совещание по проблеме эрозионных, русловых и устьевых процессов : Доклады и сообщения, Барнаул, 05–09 октября 2009 года. Барнаул : Алтайский государственный университет, 2009. С. 131–133.
4. *Битюцкий Н. П.* Микроэлементы высших растений. Санкт-Петербург : Изд-во Санкт-Петербургского государственного университета, 2011. 367 с.
5. *Лисецкий Ф. Н., Буряк Ж. А., Зеленская Е. Я.* Биогеохимические аспекты плодородия почв в древнеземледельческих районах Крыма // Агрохимический вестник. 2019. № 4. С. 14–18.
6. *Мальшев А. В.* Особенности воспроизводства почв на залежах в различных физико-географических условиях Белгородской области // Региональные геосистемы. 2021. Т. 45, № 1. С. 40–50.
7. *Булыгин С. Ю., Лисецкий Ф. Н.* Формирование агрегатного состава почв и оценка его изменения // Почвоведение. 1996. № 6. С. 783–788.
8. Органическое вещество и минеральная матрица почв: современные подходы, определения терминов и методы изучения (обзор) / В. А. Холодов [и др.] // Бюллетень Почвенного института имени В. В. Докучаева. 2023. Т. 117. С. 52–100.
9. *Масютенко Н. П.* Научные основы и управление воспроизводством органического вещества почв // Научные и практические основы сохранения плодородия почв земель сельскохозяйственного назначения в адаптивно-ландшафтном земледелии. Белгород : Крестьянское дело, 2004. С. 101–106.
10. *Лисецкий Ф. Н., Смекалова Т. Н., Маринина О. А.* Биогеохимические особенности разновременных залежей в степной зоне // Сибирский экологический журнал. 2016. № 3. С. 436–448.
11. Продуктивность растительности и запасы углерода в луговой степи на залежи в Башкирском Предуралье (Южно-Уральский регион) / Э. З. Баишева [и др.] // Юг России: экология, развитие. 2023. Т. 18, № 4. С. 64–73.
12. *Hassink J.* The capacity of soils to preserve organic C and N by their association with clay and silt particles // Plant and Soil. 1997. Vol. 191. P. 77–87.