

631.4

ЧМОЖ В.А., аспирант (ВолгГТУ)

БИОЛОГИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ ПОЧВЫ (ОБЗОР)

Введение. Почва – это не просто бесструктурная масса минеральных частиц, а сложноустроенная экосистема, изобилующая жизнью, в каждом грамме почвы обитает множество микроорганизмов – ключевые участники биогеохимических циклов. Жизнедеятельность почвенной микробиоты лежит в основе динамики почвы – она определяет ее биологическую активность и плодородие [7].

Биологическая активность почвы – это совокупность процессов разложения и синтеза веществ, которые обеспечивают живые организмы. Её уровень определяется количеством и разнообразием почвенной фауны и микрофлоры: чем богаче сообщество обитателей почвы, тем выше её активность [6]. Микроорганизмы при этом играют роль главных агентов разложения органики [7]. Показателем интенсивности почвенных биологических процессов служит выделение CO₂: его повышенный уровень свидетельствует об активной жизнедеятельности микроорганизмов и создаёт оптимальные условия для роста сельскохозяйственных культур и повышения урожайности [6].

Численность и биомасса микроорганизмов, их продуктивность, ферментативная активность грунта, объем и темпы образования продуктов обмена, а также интенсивность процессов круговорота химических элементов [11;12] – ключевые параметры биологической активности почвы. Нарушения баланса химических соединений в почве способны влиять на качество питьевых вод и тем самым создавать риски для здоровья человека. Например, дефицит селена – распространённая проблема для ряда стран и отдельных регионов России [5] он может провоцировать серьёзные патологии, включая сердечно-сосудистые заболевания, диабет, поражения печени, нарушения работы иммунной и репродуктивной систем, а также онкологические заболевания. Кроме того, подчёркивается влияние кислотности почвы на биологическую активность. Это объясняется тем, что большинство микроорганизмов лучше развиваются в условиях нейтральной реакции среды [11]. В работе автора [3] отмечается, что почвенная микробиота обладает высокой индикационной способностью, реакцией сообщества на любое антропогенное или техногенное воздействие является обеднение состава и снижения разнообразия эколого – трофических групп.

Основная часть. Современные технологии ресурсосберегающего земледелия базируются на существенном или полном исключении механической обработки почвы. В их числе – биологизированное земледелие, которое, например на светло-каштановых почвах, позволяет компенсировать природные лимитирующие факторы: низкое содержание гумуса, слабую водопроницаемость и высокую подверженность эрозионным процессам [1]. Для обеспечения устойчивого сельского хозяйства в современном растениеводстве, широко используются гербициды, направленных на снижение фитотоксичности [12].

Микробиологическая активность почвы играет важную роль в трансформации и детоксикации гербицидов. Интенсивность разложения гербицидных соединений коррелирует с благоприятными условиями для развития почвенной микробиоты оптимизация этих условий способствует ускорению процессов биотрансформации ксенобиотиков и снижению остаточного содержания токсичных веществ в почвенной среде [10].

Согласно исследованиям Н. Д. Ананьевой и Т. В. Балаян, любое вмешательство в почвенную среду приводит к существенным изменениям в протекании биологических процессов. Это вызывает закономерные опасения, что расширение использования химических средств защиты растений способно негативно сказаться на активности почвенной микробиоты. В работах Л.В. Гринец., Л.А. Сениковой., С.К. Мингалева [1] в ходе исследований чернозема, обладающего высоким естественным плодородием была выявлена разница в интенсивности биodeградации льняных тканей за 3 - месячный период. В посевах пшеницы, гороха и льна при традиционной технологии степень разложения составила 38,8%, тогда как применение нулевой технологии обеспечило несколько более высокий уровень деструкции – 40,6%. Следовательно, увеличение использования гербицидов в рамках технологии *No-Till* не обязательно приводит к существенному снижению численности почвенных микроорганизмов.

При оценке последствия применяемых гербицидов на образцах почвы, где культуры подвергались обработки гербицидами, были высеяны горчица белая и ячмень яровой, выступающие в качестве биоиндикаторов. Согласно данным С.В. Хлюпиной [10], применение гербицидов обуславливало угнетение роста и развития тест-растений на протяжении всего периода вегетации. Параллельно фиксировалось снижение микробиологической активности целлюлозоразлагающих микроорганизмов – в 1,4 раза относительно контрольного варианта. Полученные результаты свидетельствуют об отрицательном влиянии гербицидных препаратов на микробиологическую активность почвы.

Скорость разложения целлюлозы почвенными микроорганизмами служит надежным индикатором биохимических процессов и уровня биологической активности почвы. При этом оптимальные условия для жизнедеятельности целлюлозоразлагающих бактерий – температура, уровень pH, обеспеченность азотом демонстрируют схожий спектр экологических параметров, необходимых для развития полевых культур [7]. Активность почвенных микроорганизмов во многом определяется влажностью грунта. При недостатке влаги ограничивается поступление питательных элементов, что приводит к снижению активности ферментов, необходимых для функционирования нитрифицирующих бактерий. В то же время избыток воды создаёт анаэробные условия. Таким образом, полярные показатели фактора подавляют биологическую активность жизнедеятельности микроорганизмов в грунте.

Параметры почвенного дыхания являются важным критерием для комплексной оценки биологической продуктивности и экологического здоровья почвы. Между почвой и атмосферой непрерывно происходит газообмен

кислородом и углекислым газом вызванный разницей в их концентрациях. Этот градиент формируется за счет метаболизма почвенных организмов: поглощая O_2 и выделяя CO_2 , биота демонстрирует общую интенсивность почвенного дыхания. Выделяемый в атмосферу углекислый газ впоследствии используется растениями в процессе фотосинтеза.

Согласно данным [6], концентрация CO_2 в почве в 7-8 раз выше атмосферной (в среднем 0,25%) и демонстрирует четкую тенденцию к росту с увеличением глубины.

Суточная динамика выбросов CO_2 из почвы зависит от типа местности и климатических факторов, влияющих на темпы биологических процессов и параметры газообмена. Сезонные колебания интенсивности почвенного дыхания характеризуются летним максимумом и зимним минимумом. Снижение эмиссии обусловлено замедлением микробиологической деятельности при низких температурах и физическим препятствием для выхода газов, вызванным промерзанием почвенного покрова.

В работе [6] Манданова А.А и Матвеева Н.В. экспериментальным путем подтвердили, что уровень почвенного дыхания в посевах пшеницы зависит от стадии вегетации растений, гидротермических условий и объемом поступающей органики. Согласно полученным авторами данным, внесение растительных остатков значительно повышает рост эмиссии CO_2 , при их использовании объем выделяемого углекислого газа составил 3293,8 мг, что в 1,5 раза выше контрольных значений (2227,4 мг.) Следовательно, органическое вещество является ключевым стимулятором интенсивности дыхательных процессов в почве.

Растительность является важнейшим поставщиком органики в почвенный горизонт [8]. Первая количественная оценка эмиссии CO_2 с территории России была получена в 1995 году и составила 3,12 Гт углерода [4] за вегетационный период наземных экосистем.

До середины XIX века уровень углекислого газа в атмосфере оставался стабильным и не превышал 300 ppm [13;14]. Это объяснялось тем, что океаны и растения успешно поглощали столько же CO_2 , сколько выделялось. К настоящему времени уровень достигает 417 ppm [4] из-за бурного расцвета промышленности и ее последствий.

Выделение углекислого газа из почвы происходит главным образом за счет дыхания корней и жизнедеятельности микроорганизмов. Для корректного прогнозирования углеродного баланса экосистем необходимо оценивать вклад перечисленных компонентов. Доля микробного дыхания крайне нестабильна и, по разным оценкам, варьируется от 10% до 90% [8]. Баланс между этими компонентами напрямую зависит от интенсивности фотосинтеза, в процессе которого растительность ежегодно связывает от 10^{17} до 10^{19} ккал химической энергии.

Согласно работе [2] вклад корневого дыхания в общую эмиссию CO_2 из серых лесных и дерново-подзолистых почв существенно меняется в зависимости от типа экосистемы и методики исследования. В луговых экосистемах на долю корней приходится от 24% до 60% эмиссии, в лесных от 7% до 56%. При этом в

южно-таежных ельниках доминирует микробное дыхание, составляющее в среднем 65% от общего потока CO_2 , тогда как на долю корневого дыхания приходится лишь 35%. В среднем для всей территории России доля корневого дыхания составила 40% [4].

Аккумуляция углерода в лесных экосистемах носит ограниченный во времени характер и реализуется преимущественно в фазе активного роста древесной растительности. В лесах умеренного климатического пояса пик накопления биомассы приходится на период до достижения деревьями возраста 50–70 лет, в дальнейшем темпы прироста существенно замедляются, что обуславливает снижение интенсивности секвестрации углерода. Лесные массивы подвержены риску резкого выброса CO_2 в атмосферу при возникновении пожаров, а также массовом распространении вредителей и болезней.

В исследованиях С.В. Сушко., Н.Д. Ананьевой и соавторов [8], соотношение вкладов микробного и корневого дыхания в эмиссию CO_2 существенно различается в зависимости от типа экосистемы. В травянистых сообществах доля микробного дыхания снижена — это обусловлено высокой плотностью корневой системы и выраженной дыхательной активностью корней. В древесных экосистемах, характеризующихся меньшей плотностью корней и разреженным травяным покровом, вклад микробной компоненты в выделение углекислого газа оказывается более существенным. Экспериментальные измерения дыхания почвенных микроорганизмов в образцах чернозёма типичного (в контролируемых условиях: температура 22°C , влажность около 60 % от полной влагоёмкости) продемонстрировали различия между степными и лесными участками: эмиссия CO_2 составила в среднем $9,1 \text{ г } \text{CO}_2 \text{ м}^{-2} \text{ сут}^{-2}$ в степи и $6,2 \text{ г } \text{CO}_2 \text{ м}^{-2} \text{ сут}^{-2}$ – в лесу.

В работе О.Э. Суховеевой., Д.В. Карелина., А.Н. Золотухина., А.В. Почикалова посвященной оценке почвенного дыхания в аграрных и природных экосистемах (на примере Чувашской Республики, Рязанской и Курской областей), выявили закономерности эмиссии углерода в различных типах землепользования. Установили [9], что интенсивность дыхания почв варьирует в зависимости от характера использования территории и степени замкнутости круговорота углерода. Так, в экосистемах с многолетними травяными фитоценозами (пастбища, сенокосы, залежи) показатели эмиссии $\text{C}-\text{CO}_2$ находятся на сопоставимом уровне: пастбища – $0,071 - 0,326 \text{ г } \text{C}-\text{CO}_2/(\text{м}^2 \text{ ч})$, сенокосы – $0,056 - 0,346 \text{ г } \text{C}-\text{CO}_2/(\text{м}^2 \text{ ч})$ и залежи – $0,084 - 0,369 \text{ г } \text{C}-\text{CO}_2/(\text{м}^2 \text{ ч})$. В лесных экосистемах, где круговорот углерода более замкнут и ближе к равновесному состоянию за счет отсутствия отчуждения фитомассы, диапазон значений составил – $0,070 - 0,285 \text{ г } \text{C}-\text{CO}_2/(\text{м}^2 \text{ ч})$. Уровни почвенного дыхания в исследуемых экосистемах оказались сопоставимы, за исключением пахотных земель, где показатели минимальны $0,035-0,244 \text{ г } \text{C}-\text{CO}_2/(\text{м}^2 \text{ ч})$. Этот разрыв связан с обеднением верхнего почвенного слоя углеродом (1,34 – 3,70%) и азотом (0,12 – 0,29%). Дефицит химических элементов обусловлен систематическим сбором урожая при неполном возврате растительных остатков в почву и несбалансированном применении минеральных удобрений. Главным фактором,

влияющим на выбросы CO₂ в атмосферу, является температура почвы на глубине 10 см. В целом состав почв и гидротермические условия объясняют от 17% до 78% всех колебаний в уровне выделения углекислого газа.

Заключение. Почвенное дыхание признается наиболее существенным глобальным источником эмиссии CO₂. Согласно данным Межправительственной группы экспертов по изменению климата, объем эмиссии углерода за счет дыхания почвы возрос с 115 Гт С/год в 1992 году, до 130 Гт С/год в 2022 году. Наблюдаемое потепление климата и рост концентрации CO₂ в атмосфере оказывают комплексное влияние на углеродный цикл наземных экосистем. С одной стороны, отмечается увеличение чистой первичной продукции фотосинтеза – её статистически значимый тренд оценён в $0,22 \pm 0,08$ Гт С/год, с другой – фиксируется рост гетеротрофного дыхания почв, характеризующегося трендом в $0,16 \pm 0,05$ Гт С/год [4]. В настоящее время приоритетным направлением международных научных исследований является разработка моделей глобальных климатических изменений с оценкой их чувствительности к ключевым параметрам. В число таких параметров входят биологическая активность почв, а также гидротермические, биологические и иные факторы, регулирующие потоки углерода. Усиление наземного стока углерода привело к сокращению времени его резервирования в почвенном органическом веществе, что отражает трансформацию роли почв в глобальном углеродном цикле. Вследствие этого приоритетное значение приобретает количественная оценка содержания углерода в почвах и объёмов его эмиссии.

Список литературы:

1. Гринев Л. В., Сенькова Л.А., Мингалев С.К. / Биологическая активность почвы // Аграрное образование и наука. – 2019. – № 2. – С. 14. – EDN BQHDDE.
2. Евдокимов И.В., Ларионова А.А., Шмитт М., Лопес де Герену В.О. Экспериментальная оценка вклада дыхания корней растений в эмиссию углекислого газа из почвы // Почвоведение. 2010. № 12. С. 1479–1488.
3. Ильина А.А. Влияние антропогенной нагрузки на биологическую активность почв / Здоровые почвы - гарант устойчивого развития: Материалы V Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, Курск, 18–19 апреля 2022 года / Курск: Курский государственный университет, 2022. – С.7-8.
4. Кудяров В.Н. Почвенное дыхание и секвестрация углерода (обзор) // Почвоведение. - 2023. - №9. - С. 1011-1022. doi: 10.31857/S0032180X23990017.
5. Макаева А. З. Об экологических функциях почв / А. З. Макаева // Рациональное природопользование - основа устойчивого развития: Материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, Грозный, 22–23 сентября 2020 года. – Грозный: Чеченский государственный педагогический университет, ИП Овчинников Михаил Артурович (Типография Алеф), 2020. – С. 96-99. – EDN SDDKBG.
6. Манданова А. А., Матвеева Н.В. / Дыхание почвы как её биологический показатель // Научные исследования и разработки к внедрению в АПК:

Материалы международной научно-практической конференции молодых ученых, Иркутск, 25–26 марта 2021 года. – Молодежный: Иркутский государственный аграрный университет им. А.А. Ежевского, 2021. – С. 42-48. – EDN YUUBPT.

7. Минченко Л. А., Гагарина Е. В., Корнева М. А. Оценка микробиологической активности светло-каштановых орошаемых почв Нижнего Поволжья при биологизированном земледелии // Аграрный вестник Урала. 2025. Т. 25, № 10. С. 1553–1564. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2025-25-10-1553-1564>.

8. Сушко С.В., Ананьева Н.Д., Иващенко К.В. [и др.] / Микробное дыхание почвы в полевых и лабораторных условиях // Агрофизика. – 2016. – № 4. – С. 17-23. – EDN XIUUXB.

9. Суховеева О.Э., Карелин Д.В., Золотухин А.Н., Почикалов А.В. / Дыхание почвы в аграрных и природных экосистемах европейской территории России // Почвоведение. – 2023. – № 9. – С. 1077-1088. – DOI: 10.31857/S0032180X23600488. – EDN UWKLZI.

10. Хлюпина С.В. Биологическая активность почвы, как критерий ее экологической безопасности / Актуальные проблемы почвоведения, экологии и земледелия: Сборник докладов XVIII Международной научно-практической конференции Курского отделения МОО "Общество почвоведов имени В.В. Докучаева", Курск, 24–26 апреля 2024 года. – Курск: Федеральное государственное бюджетное научное учреждение "Курский федеральный аграрный научный центр", 2024. С. 347 – 350.

11. Перевышина К. М. Сравнительная оценка биологической активности разных типов почв / К. М. Перевышина // Современные проблемы гидрометеорологии и мониторинга окружающей среды на пространстве СНГ: Сборник тезисов Международной научно-практической конференции, посвященной 90-летию Российского государственного гидрометеорологического университета, Санкт-Петербург, 22–24 октября 2020 года. – Санкт-Петербург: Российский государственный гидрометеорологический университет, 2020. – С. 777-778. – EDN NDJVTU.

12. Чмож В. А. Влияние гербицидов класса сульфонилмочевин на загрязнение почв и способы снижения их фитотоксичности (обзор) / В. А. Чмож // Материалы IX Международного молодежного экологического форума : Материалы форума, Кемерово, 12–14 ноября 2025 года. – Кемерово: Кузбасский государственный технический университет им. Т.Ф. Горбачева, 2026. – С. 330.1-330.4. – EDN BOIOWE.

13. Bond-Lamberty B., Thomson A. Temperature-associated increases in the global soil respiration record // Nature. 2010. V. 464. P. 579–582. <https://doi.org/10.1038/nature08930>

14. Canadell J.G., Monteiro P.M.S., Costa M.H., Cotrim da Cunha L., Cox P.M. et al. Global Carbon and other Bio geochemical Cycles and Feedbacks // Climate Change. Cambridge, 2021. P. 673–816. <https://doi.org/10.1017/9781009157896.007>

Информация об авторах:

Чмож Владимир Алексеевич, аспирант, ВолгГТУ, проспект им. В.И.

Ленина, д. 28, г. Волгоград, 400005, Россия, vova.chmzh.97@mail.ru