



ДЫХАТЕЛЬНЫЙ ОТКЛИК ЖИВОЙ ФАЗЫ НА СТРЕСС КАК КРИТЕРИЙ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ ПОЧВЫ

Данилова А.А.

Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий Российской академии наук
Новосибирская область, р.п. Краснообск, Россия

Изучена возможность разработки шкалы для оценки степени деградации почвы на основе измерения дыхательного отклика ее живой фазы на внесение естественного питательного субстрата – соломы. Исследования проведены в Новосибирской области. Почва – чернозем выщелоченный среднесуглинистый среднегумусный. Варианты опыта: многолетняя залежь (целина); бесспорный пар; пахотная почва; газон, сформированный более 20 лет назад путем отсыпки чернозема выщелоченного, удаленного с сельскохозяйственных полей; старая тропа на этом газоне; лес (дополнительный контроль). На основе эмпирических оценок определен уровень антропогенной нагрузки. Образцы почвы отбирали осенью 2018, 2019 гг. после уборки яровой пшеницы. В лабораторном опыте в почву вносили сухую измельченную пшеничную солому (содержание углерода 40%, азота 0,54%) в дозе 3 г/кг. Почву инкубировали при температуре 25 °С, влажности 60% от полной полевой влагоемкости для каждого варианта. Учет продукции CO₂ проведен адсорбционным методом. Длительность опыта 30 дней. Под дыхательным откликом принята относительная величина повышения продуцирования CO₂ при внесении соломы (опыт) в сравнении с почвой без добавок (контроль) в процентах. В опыте дыхательный отклик был обратно пропорционален уровню антропогенной нагрузки на почву. Показатель в варианте с максимальной антропогенной нагрузкой (бесспорный пар) составил 250–300%, в варианте с минимальной нагрузкой (многолетняя залежь) – 0–10%. Ранжирование объектов исследования по изучаемому критерию проведен при помощи многомерного анализа методом главных компонент. Предложена предварительная шкала для оценки степени деградации почвы. Почву оценивали как недеградированную или слабодеградированную при дыхательном отклике, равном 0–25%, среднедеградированную – 25–50, в сильной степени деградированную – выше 50%.

Ключевые слова: дыхательный отклик, микробное сообщество почвы, степень деградации почвы

RESPIRATORY RESPONSE OF LIVING PHASE TO STRESS AS A CRITERION FOR ASSESSMENT OF SOIL CONDITION

Danilova A.A.

Siberian Federal Scientific Centre of AgroBioTechnologies of the Russian Academy of Sciences
Krasnoobsk, Novosibirsk region, Russia

The possibility of developing a scale for assessing the degree of soil degradation based on measuring the respiratory response (RR) of its living phase to the application of a natural nutrient substrate, straw, was studied. The studies were carried out in the vicinity of Novosibirsk region. The soil was leached medium loamy medium humus chernozem. Experiment options included long-term fallow (virgin land); permanent fallow; arable soil; a lawn formed more than 20 years ago by dumping leached chernozem removed from agricultural fields; an old trail on this lawn; forest (additional control). The level of anthropogenic impact was determined on the basis of empirical estimates. Topsoil samples were taken in the autumn of 2018, 2019 after harvesting spring wheat. In the laboratory experiment, dry crushed wheat

straw (carbon content 40%, nitrogen content 0.54%) was added into the soil at a dose of 3 g/kg. The soil was incubated at a temperature of 25 °C, humidity of 60% of the total field moisture capacity for each option. Records of CO₂ production were made by the adsorption method. The duration of the experiment was 30 days. The respiratory response is the relative value of the increase in CO₂ production when straw is applied (experiment) compared to the soil without additives (control), measured in percent. In the experiment, the respiratory response was inversely proportional to the level of anthropogenic impact on the soil. The indicator in the variant with the maximum anthropogenic impact (permanent fallow) was 250–300%, in the variant with the minimum impact (long-term fallow) – 0–10%. The ranking of research objects according to the criterion under study was carried out using multivariate analysis by the method of principal components. A preliminary scale is proposed for assessing the degree of soil degradation. The soil was assessed as non-degraded or slightly degraded with a respiratory response equal to 0–25%, moderately degraded – 25–50%, and highly degraded – above 50%.

Keywords: respiratory response, soil microbial community, degree of soil degradation

Для цитирования: Данилова А.А. Дыхательный отклик живой фазы на стресс как критерий оценки состояния почвы // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2020. Т. 50. № 5. С. 87–93. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2020-5-10>

For citation: Danilova A.A. Respiratory response of living phase to stress as a criterion for assessment of soil condition. *Sibirskii vestnik sel'skokhozyaistvennoi nauki* = *Siberian Herald of Agricultural Science*, 2020, vol. 50, no. 5, pp. 87–93. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2020-5-10>

Конфликт интересов

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Финансовая поддержка.

Работа проведена в рамках выполнения государственного задания ГЗ 0778-2018-0002.

Financial support

The work was carried out within the framework of the state assignment GZ 0778-2018-0002.

ВВЕДЕНИЕ

В экологических исследованиях реакция экосистемы на стресс (мощность, длительность и др.) – важнейший критерий ее состояния [1–4]. Поступление органического вещества – типичный стресс для микробной системы почвы [5–11]. Измерение дыхательного отклика живой фазы почвы на внесение общедоступного субстрата глюкозы признано стандартным методом определения микробной биомассы [12]. Функциональный отклик микробного сообщества почвы на воздействие пестицидов, истощение или обогащение почвы органическим веществом использованы нами в качестве критерия для оценки экологической устойчивости почвы [13]. Как известно, в Российской Федерации официально утверждены 35 показателей для оценки степени деградации почвы¹. Однако они дают выраженную реакцию, когда почва уже находится

в сильной степени нарушенности. Для ранней диагностики неблагополучия почв признана чувствительность показателей биологической активности, но общепризнанных показателей и шкал для этих целей на данный момент нет [12, 14]. Исследования в данном направлении актуальны как в теоретическом, так и в практическом аспекте. Мы предположили, что дыхательный отклик живой фазы почвы на внесение труднодоступного естественного субстрата (соломы) пропорционален уровню антропогенной нагрузки на почву, т.е. существует возможность применения этого показателя в качестве критерия для оценки степени деградации (истощения) почвы.

Цель работы – разработать шкалу для оценки степени деградации почвы на основе измерения дыхательного отклика ее живой фазы при внесении естественного питательного субстрата – соломы.

¹Письмо Роскомзема от 27.03.1995 № 3-15/582 о «Методических рекомендациях по выявлению деградированных и загрязненных земель» (вместе с «Методическими рекомендациями по выявлению деградированных и загрязненных земель» Консультант Плюс www.consultant.ru. Дата обращения 09.09.2020.

Задачи исследования:

- изучить зависимость дыхательного отклика живой фазы на внесение соломы от уровня антропогенной нагрузки на почву;
- измерить дыхательный отклик живой фазы почвы на вариантах с разной антропогенной нагрузкой;
- предложить предварительную шкалу для оценки степени деградации почвы.

В сообщении представлены результаты первого этапа исследований.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Исследования проведены в окрестностях и на территории р.п. Краснообск Новосибирской области (54°53'13,5"N, 82°59'36,7"E). Почва – выщелоченный чернозем с разной степенью антропогенной нагрузки: многолетняя залежь (условно приняли за целину); бессменный пар; пахотная почва; газонт; сформированный более 20 лет назад путем отсыпки чернозема выщелоченного, удаленного с сельскохозяйственных полей; старая тропа на этом газоне; почва под лесом (дополнительный контроль). Подробная агрохимическая и микробиологическая характеристика почвы приведена ранее [13]. Образ-

цы почвы отбирали осенью 2018 и 2019 гг. Уровень антропогенной нагрузки на почву ранжировали на основе эмпирических оценок (см. рис. 1). Продукцию CO_2 (дыхание) определяли абсорбционным методом [15]. В лабораторном опыте в почву вносили сухую измельченную солому пшеницы в дозе 3 г/кг. Под дыхательным откликом подразумевали относительную величину повышения показателя при внесении соломы (опыт) в сравнении с почвой без добавок (контроль) в процентах. Группировку вариантов опыта провели на основе анализа данных методом главных компонент в программе Statsoft Statistica for Windows.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В опыте дыхательный отклик живой фазы почвы был обратно пропорционален степени деградации почвы (см. рис. 2). Результаты количественной оценки этой зависимости представлены на рис. 3. При внесении соломы дыхание почвы возрастало во всех вариантах опыта, однако величина дыхательного отклика была различной. По результатам многомерного анализа объекты исследования образовали три группы: це-

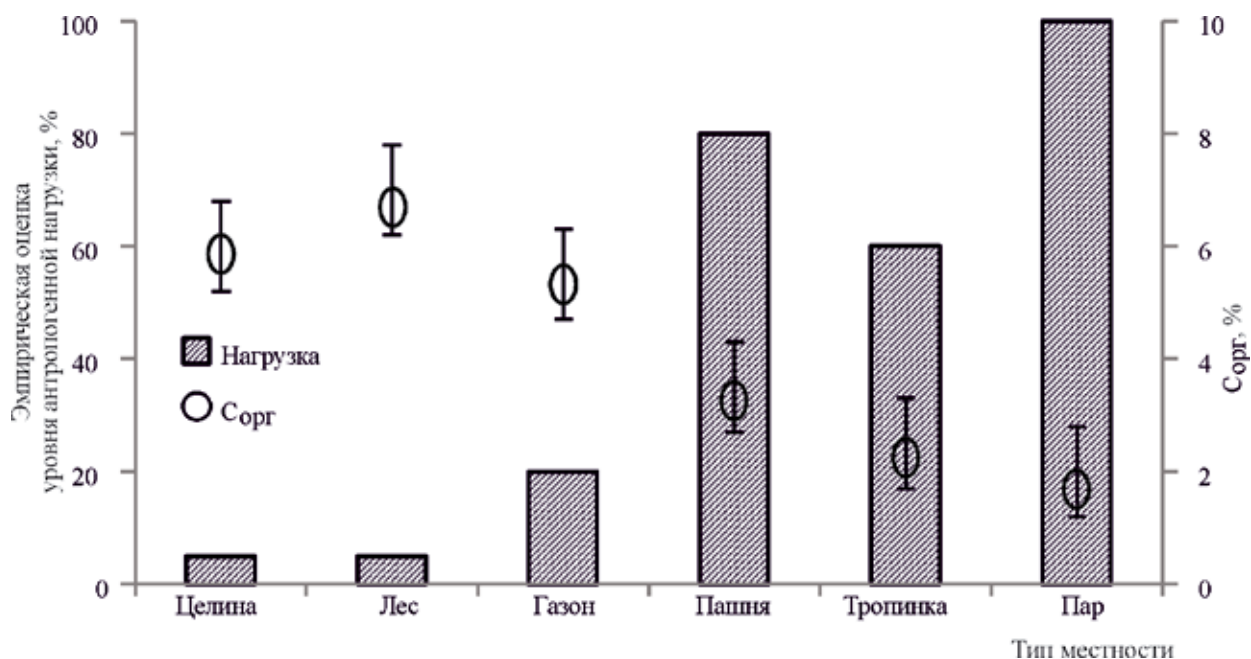


Рис. 1. Уровень антропогенной нагрузки по вариантам опыта и содержание $\text{C}_{\text{орг}}$ в почве

Fig.1. The level of anthropogenic impact by experiment options and content of $\text{C}_{\text{орг}}$ in soil

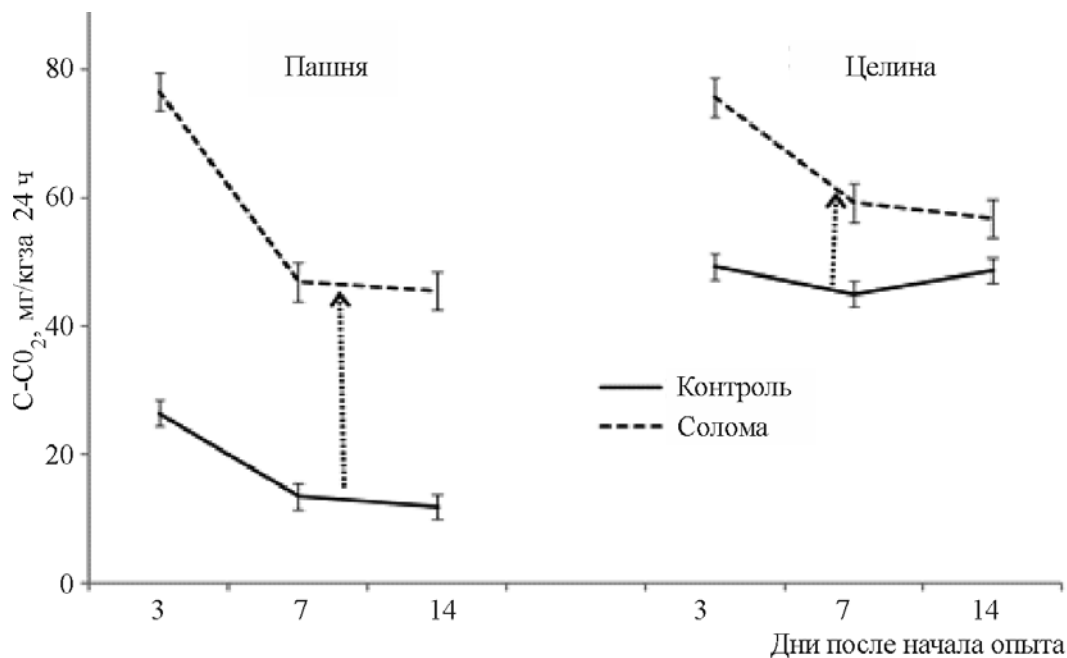


Рис. 2. Уровень антропогенной нагрузки и изменение дыхательной активности чернозема выщелоченного при внесении соломы

Примечание. Стрелками показана величина дыхательного отклика почвы

Fig. 2. The level of anthropogenic impact and changes in the respiratory activity of leached chernozem upon straw introduction.

Note. The arrows show the value of soil respiratory response

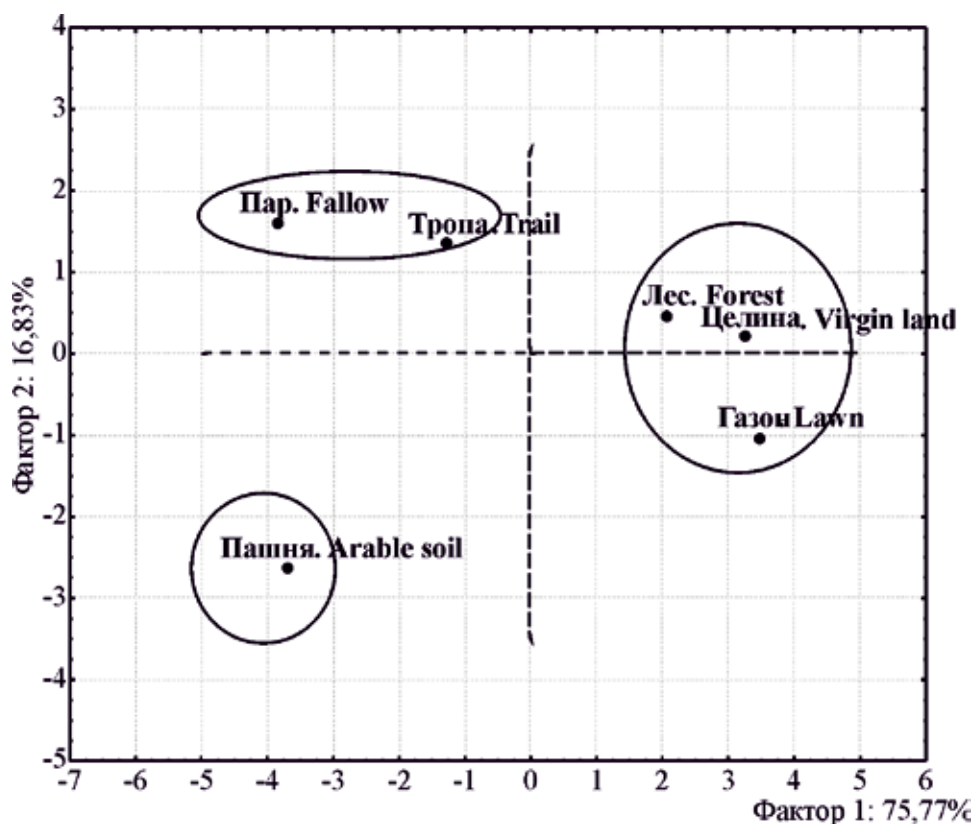


Рис. 3. Группировка вариантов опыта в координатах главных компонент

Fig. 3. Grouping of experiment variants in the coordinates of the main components

Предварительная шкала для оценки степени деградации почв в зависимости от ее дыхательного отклика на внесение соломы

Preliminary scale for assessing the degree of soil degradation depending on its respiratory response to straw application

Градация шкалы	Дыхательный отклик, %	Пример фона
Недеградированная, слабодеградированная	0–25	Целина, газон, лес
Среднедеградированная	25–50	Пар, тропинка
Сильнодеградированная	Более 50	Пашня

лина, лес, газон; пар, тропинка; пашня. На основе полученных данных составили предварительную шкалу для оценки степени деградации почвы (см. таблицу).

Интересен тот факт, что почва на пашне по предлагаемому критерию оказалась более деградированной (истощенной) в сравнении с бессменным паром. Вероятно, это указывает на более высокую чувствительность дыхательного отклика для экологической оценки в сравнении с оценкой дыхания почвы без внесения соломы. Можно предположить, что применение нашего критерия выявило разницу между пахотной почвой после уборки пшеницы с высокой урожайностью (до 6 т зерна/га) и почвой парующей, из которой питательные элементы не выносились, хотя и поступление их было минимальным. Поскольку образцы почвы отбирали сразу после уборки урожая, вероятно, поступивший опад затормозил минерализационные процессы из-за недостатка азота, в то время как на пару нитратного азота было достаточно. Ранее при помощи мультисубстратного теста (МСТ) показано, что внесение соломы вызывает выраженный функциональный отклик микробного сообщества почвы в виде повышения потребления органических мономеров. На этой основе разработан новый способ оценки экологической устойчивости почвы². При этом оставался неизученным дыхательный отклик сообщества на стресс. Полученные результаты показали, что дыхательный отклик как интегральный пока-

затель биогенности почвы хорошо коррелирует с результатами МСТ, что позволяет использовать его в качестве дополнительного критерия состояния почвы. Преимущество предлагаемого подхода в сравнении с МСТ заключается в простоте и низкой стоимости процедуры анализа.

В дальнейших исследованиях будут задействованы другие типы почв с разным уровнем антропогенной нагрузки, что позволит уточнить градации оценочной шкалы.

ВЫВОДЫ

1. Установлено количественное соответствие величины дыхательного отклика живой фазы почвы на внесение соломы с уровнем антропогенной нагрузки на почву.
2. Предложена предварительная шкала для оценки степени деградации почвы по величине дыхательного отклика ее живой фазы на внесение соломы: почву оценивают как недеградированную или слабодеградированную при дыхательном отклике, равном 0–25%, среднедеградированную – 25–50, в сильной степени деградированную – выше 50%.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Одум Ю.* Основы экологии. М.: Мир, 1975. 740 с.
2. *Nannipieri P., Ascher J., Ceccherini M.T., Landi L., Pietramellara G., Renella G.* Microbial diversity and soil functions // *European Journal of Soil Science*. 2003. Vol. 54. P. 655–670.
3. *Orwin K.H., Wardle D.A.* New indices for quantifying the resistance and resilience of soil

²Данилова А.А., Легостаева Я.Б., Сивцева Н.Е., Петров А.А. Способ оценки устойчивости сапротрофного микробного сообщества почвы методом мультисубстратного теста. Патент РФ № 2678876. Дата регистрации в ГРИ РФ 04.02.2019.

- biota to exogenous disturbances // *Soil Biology & Biochemistry*. 2004. Vol. 36. P. 1907–1912.
4. Botton S., van Heusden M., Parsons J.R., Smidt H., van Straalen N. Resilience of Microbial Systems Towards Disturbances // *Critical Reviews in Microbiology*. 2006. Vol. 32. P. 101–112.
5. Palozzi J.E., Lindo Z. Are leaf litter and microbes team players? Interpreting home-field advantage decomposition dynamics // *Soil Biology and Biochemistry*. 2018. Vol. 124. P. 189–198. DOI: 10.1016/j.soilbio.2018.06.018.
6. Habtewold J.Z., Helgason B.L., Yanni S.F., Janzen H.H., Ellert B.H., Gregorich E.G. Litter composition has stronger influence on the structure of soil fungal than bacterial communities // *European Journal of Soil Biology*. 2020. Vol. 98. P. 103–190. DOI: 10.1016/j.ejsobi.2020.103190.
7. Li D., Bingzi Zhao B., Dan C., Olk D.C., Zhang J. Soil texture and straw type modulate the chemical structure of residues during four-year decomposition by regulating bacterial and fungal communities // *Applied Soil Ecology*. 2020. Vol. 155. DOI: 10.1016/j.apsoil.2020.103664.
8. Bao Y., Feng Y., Stegen J.C., Wu M., Chen R., Liu W., Zhang J., Li Z., Lin X. Straw chemistry links the assembly of bacterial communities to decomposition in paddy soils // *Soil Biology and Biochemistry*. 2020. Vol. 148. DOI: 10.1016/j.soilbio.2020.107866.
9. Kuzyakov Y., Blagodatskaya E. Microbial hotspots and hot moments in soil: Concept & review // *Soil Biology & Biochemistry*. 2015. Vol. 83. P. 184–199.
10. Paul E.A. The nature and dynamics of soil organic matter: Plant inputs, microbial transformations, and organic matter stabilization // *Soil Biology & Biochemistry*. 2016. Vol. 98. P. 109–126. DOI: 10.1016/j.soilbio.2016.04.001 0038-0717.
11. Wal A. van der, Boer W. de. Dinner in the dark: Illuminating drivers of soil organic matter decomposition // *Soil Biology & Biochemistry*, 2017. Vol. 105. P. 45–48. DOI: 10.1016/j.soilbio.2016.11.006 0038-0717.
12. Thiele-Bruhn S., Schlöter M., Wilke B.-M., Beaudette L.A., Martin-Laurent F., Nathalie Chevignon N., Mougin C., Jörg Römbke J. Identification of new microbial functional standards for soil quality assessment // *Soil*, 2020. Vol. 6. P. 17–34. DOI: 10.5194/soil-6-17-2020.
13. Данилова А.А. Биодинамика пахотной почвы при различном содержании органического вещества (на примере чернозема выщелоченного Приобья): монография. Новосибирск: СФНЦА РАН, 2018. 158 с.
14. Li P., Zhang T., Wang X., Dongsheng Yu D. Development of biological soil quality indicator system for subtropical China // *Soil & Tillage Research*. 2013. Vol. 126. P. 112–118. DOI: 10.1016/j.still.2012.07.011.
15. Шарков И.Н. Совершенствование абсорбционного метода определения CO₂ из почвы в полевых условиях // *Почвоведение*. 1987. № 1. С. 127–138.

REFERENCES

1. Odum Yu. *Fundamentals of Ecology*. M.: Mir Publ., 1975. 740 p. (In Russian).
2. Nannipieri P., Ascher J., Ceccherini M.T., Landi L., Pietramellara G., Renella G. Microbial diversity and soil functions. *European Journal of Soil Science*, 2003, vol. 54, pp. 655–670.
3. Orwin K.H., Wardle D.A. New indices for quantifying the resistance and resilience of soil biota to exogenous disturbances. *Soil Biology & Biochemistry*, 2004, vol. 36, pp. 1907–1912.
4. Botton S., van Heusden M., Parsons J.R., Smidt H., van Straalen N. Resilience of Microbial Systems Towards Disturbances. *Critical Reviews in Microbiology*, 2006, vol. 32, pp. 101–112.
5. Palozzi J.E., Lindo Z. Are leaf litter and microbes team players? Interpreting home-field advantage decomposition dynamics. *Soil Biology and Biochemistry*, 2018, vol. 124, pp. 189–198. DOI: 10.1016/j.soilbio.2018.06.018.
6. Habtewold J.Z., Helgason B.L., Yanni S.F., Janzen H.H., Ellert B.H., Gregorich E.G. Litter composition has stronger influence on the structure of soil fungal than bacterial communities. *European Journal of Soil Biology*, 2020, vol. 98, pp. 103–190. DOI: 10.1016/j.ejsobi.2020.103190.
7. Li D., Bingzi Zhao B., Dan C., Olk D.C., Zhang J. Soil texture and straw type modulate the chemical structure of residues during four-year decomposition by regulating bacterial and fungal communities. *Applied Soil Ecology*, 2020, vol. 155. DOI: 10.1016/j.apsoil.2020.103664.

8. Bao Y., Feng Y., Stegen J.C., Wu M., Chen R., Liu W., Zhang J., Li Z., Lin X. Straw chemistry links the assembly of bacterial communities to decomposition in paddy soils. *Soil Biology and Biochemistry*, 2020, vol. 148. DOI: 10.1016/j.soilbio.2020.107866.
9. Kuzyakov Y., Blagodatskaya E. Microbial hotspots and hot moments in soil: Concept & review. *Soil Biology & Biochemistry*, 2015, vol. 83, pp. 184–199.
10. Paul E.A. The nature and dynamics of soil organic matter: Plant inputs, microbial transformations, and organic matter stabilization. *Soil Biology & Biochemistry*, 2016, vol. 98, pp. 109–126. DOI: 10.1016/j.soilbio.2016.04.001 0038-0717.
11. Wal A. van der, Boer W. de. Dinner in the dark: Illuminating drivers of soil organic matter decomposition // *Soil Biology & Biochemistry*. 2017. Vol. 105. P. 45–48. DOI: 10.1016/j.soilbio.2016.11.006 0038-0717.
12. Thiele-Bruhn S., Schloter M., Wilke B-M, Beaudette L.A., Martin-Laurent F., Nathalie Cheviron N., Mougin C., Jörg Römbke J. Identification of new microbial functional standards for soil quality assessment // *Soil*. 2020. Vol. 6. P. 17–34. DOI: 10.5194/soil-6-17-2020.
13. Danilova A.A. Biodynamics of arable soil with different content of organic matter (for example, leached chernozem of the Ob region). Novosibirsk: SFSCA RAS, 2018, 158 p. (In Russian).
14. Li P., Zhang T., Wang X., Dongsheng Yu D. Development of biological soil quality indicator system for subtropical China. *Soil & Tillage Research*, 2013, vol. 126, pp. 112–118. DOI: 10.1016/j.still.2012.07.011.
15. Sharkov I.N. Improvement of the absorption method for the determination of CO₂ from soil in the field. *Pochvovedenie = Eurasian Soil Science*, 1987, no. 1, pp. 127–138. (In Russian).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

✉ Данилова А.А., доктор биологических наук, главный научный сотрудник; **адрес для переписки:** Россия, 630501, Новосибирская область, р.п. Краснообск, а/я 463; e-mail: Danilova7alb@yandex.ru

AUTHOR INFORMATION

✉ Albina A. Danilova, Doctor of Science in Biology, Head Researcher; **address:** PO Box 463, SFSCA RAS, Krasnoobsk, Novosibirsk Region, 630501, Russia; e-mail: Danilova7alb@yandex.ru

Дата поступления статьи 07.06.2020
Received by the editors 07.06.2020