

Мониторинг последствий компоста многоцелевого назначения в различных агроландшафтных условиях

Д. А. Иванов¹, Г. Ю. Рабинович¹, Н. В. Фомичева¹, О. Н. Анциферова¹✉

¹ ФИЦ «Почвенный институт им. В. В. Докучаева», Москва, Россия

✉ E-mail: 2016vniimz-noo@list.ru

Аннотация. Во ВНИИМЗ – филиале ФИЦ «Почвенный институт им. В. В. Докучаева» разработан и успешно применяется компост многоцелевого назначения (КМН), полученный ферментацией органического сырья. **Целью** данной работы являлся мониторинг последствий КМН, заключающийся в изучении продуктивности севооборота в различных агроландшафтных условиях и определении некоторых биологических показателей почв в конце ротации. **Методология и методы исследования.** Исследования проводились на агроэкологической трансекте полигона ВНИИМЗ, пересекающей все ландшафтные микропозиции конечно-моренного холма. Трансекта разделена на два параллельно расположенных варианта (тестовое поле и контроль), идентичных в ландшафтном отношении. На тестовом поле под закладку севооборота было внесено 12 т/га КМН. Последующие агротехнологические операции на вариантах были одинаковыми. **Результаты.** Установлено, что на протяжении нескольких лет самая высокая продуктивность культур севооборота была получена на элювиальных и элювиально-транзитных позициях тестового поля. Далее зависимость «агроландшафт – КМН – продуктивность возделываемых культур» ослабевала. После окончания ротации севооборота был произведен мониторинг некоторых биологических показателей почв. Установлено, что численность азоттрансформирующих и фосфатмобилизирующих микроорганизмов, а также активность ферментов каталазы и дегидрогеназы на тестовом поле в целом выше, чем на контрольном. Корреляционный анализ выявил на тестовом поле несколько достоверных зависимостей между исследуемыми параметрами. Основной вывод – эффективное последствие КМН ограничивается пятью годами возделывания культур на почвах с элювиальными процессами. При этом внесение КМН на протяжении семи лет способствовало сохранению почвенного плодородия, обеспечивало формирование более устойчивой почвенно-микробной системы, что подтверждено обнаруженными корреляционными зависимостями. **Научная новизна.** Получены новые знания о долговременном влиянии компоста на продуктивность севооборота и биологические показатели свойства почвы в конце ротации.

Ключевые слова: мониторинг, компост многоцелевого назначения (КМН), последствие, почва, агроландшафты, продуктивность севооборота, микроорганизмы, ферментативная активность, корреляционная зависимость.

Для цитирования: Иванов Д. А., Рабинович Г. Ю., Фомичева Н. В., Анциферова О. Н. Мониторинг последствий компоста многоцелевого назначения в различных агроландшафтных условиях // Аграрный вестник Урала. 2020. № 08 (199). С. 9–18. DOI: ...

Дата поступления статьи: 15.06.2020.

Постановка проблемы (Introduction)

Неотъемлемым фактором плодородия и продуктивности агроландшафта являются биологические свойства почв, в значительной степени определяемые наличием микрофлоры. Микроорганизмы не без основания считаются признанным фактором почвенной трансформации [1, с. 103]. Действительно, в почвах протекают многочисленные биохимические процессы, связанные с жизнедеятельностью различных видов микроорганизмов, благодаря чему и осуществляется разложение или же, напротив, синтез органических веществ. Другими словами, микробы могут осуществлять процессы в двух противоположных направлениях, приводя почвенную систему в равновесное состояние [2, с. 965]. Биомасса почвенной микробиоты зависит от времени года, подчиняясь сезонным закономерностям [3, с. 1357], и от послойного распределения в почве [2, с. 960]. При этом биологические свойства культурных и аборигенных ценозов почв отличаются существенно

[4, с. 93]. Как правило, почвы, удобряемые и подвергающиеся специальной агротехнической обработке (частое перепахивание, аэрация, например, при проведении осушительной мелиорации и др.) наиболее богаты микроорганизмами.

Существенно повысить почвенное плодородие возможно за счет использования различных компостов, в том числе современных, полученных биоконверсией органического сырья [5, с. 20]. Установлено [6, с. 102], что при этом улучшаются многие физико-химические свойства почв, в том числе нейтрализуется рН, увеличивается аэрация и влагоудерживающая способность. Эти изменения в совокупности обеспечивают активизацию почвенно-микробиологических процессов, способствуют увеличению численности и разнообразию почвенного микробиоценоза, оказывая в целом влияние на уровень проявления почвой биологических свойств.

Во Всероссийском научно-исследовательском институте мелиорированных земель в 90-е гг. разработан, внедрен и успешно применяется компост многоцелевого назначения (КМН). Его использование в качестве удобрения сопровождается увеличением в почве количества доступных элементов питания, численности аммонифицирующей и фосфатмобилизирующей микрофлоры и микроскопических грибов, интенсивности окислительно-восстановительных процессов. Согласно ТУ 9841-003-00668732-2011 «Компост многоцелевого назначения» КМН представляет собою однородную массу темно-коричневого цвета влажностью не более 75 %, pH 6,3–7,2, обладающую высоким содержанием доступных для растений питательных веществ в пересчете на абсолютно сухое вещество: азота общего ($N_{\text{общ}}$) – не менее 1,7 %; фосфора (P_2O_5) – не менее 1,5 %; калия (K_2O) – не менее 1,5 %; углерода – не менее 35 %.

КМН в сочетании с агрохимическими и агромелиоративными мероприятиями позволяет повышать актуальное плодородие почвы на 25–30 % при снижении затрат на производство и применение в 2–2,5 раза (по сравнению с традиционными компостами), сформировать оптимальный агрономически ценный микробоценоз, избежать загрязнения почв болезнетворными микроорганизмами [7, с. 79]. Микроорганизмы компоста при попадании в почву активируют протекающие в ней процессы трансформации, способствуя накоплению физиологически активных веществ и элементов питания в доступной для растений форме [8, с. 31].

Известно [9, с. 146–148], что биологическая активность почвы изменяется в зависимости от ландшафтных факторов. Она снижается при возделывании культур в зерновом севообороте без насыщения многолетними бобовыми травами, которые, являясь растениями-симбионтами, способствуют созданию благоприятных условий для размножения и развития почвенной биоты. Нами установлено, что внесение КМН способствует двукратному увеличению частоты воздействия экспозиции склонов на биоактивность почвы [10, с. 15–16].

Различные компосты (в частности, торфонавозные) обладают пролонгирующим действием [11, с. 175]. Как правило, их эффективное действие отмечается в первые три года, далее влияние несколько ослабевает, но последствие в той или иной степени все равно обнаруживается. Так, в Краснодарском крае на черноземе обыкновенном вносили до 70 т/га сложного компоста, включающего полупревший навоз крупного рогатого скота, фосфогипс, золу и различные растительные отходы. Позитивное действие сложного компоста авторы отмечали на протяжении пяти лет после его внесения, что выражалось в улучшении основных агрономических свойств почв, увеличении продуктивности культуры и ее качества [12, с. 87]. Известны случаи выявления более длительного последствия органических удобрений [13, с. 132].

Целью данной работы являлся мониторинг последствия КМН, заключающийся в изучении продуктивности семилетнего севооборота в различных агроландшафтных условиях и определении некоторых биологических показателей почв в конце ротации.

Методология и методы исследования (Methods)

Вопросы применения компоста многоцелевого назначения изучались на агроэкологическом полигоне ВНИИМЗ в пределах агроландшафта конечно-моренной гряды, которая состоит из межхолмных депрессий (северной и южной), южного склона крутизной 3–5°, плоской вершины и северного склона крутизной 2–3°. Почвенный покров представлен дерново-подзолистыми глееватыми и глеевыми почвами на двучленных отложениях различной мощности. Южный склон холма характеризуется господством песчаных и супесчаных почв, а на северном преобладают их легкосуглинистые разновидности. Почва на южном склоне дерново-подзолистая слабооглеенная песчаная и супесчаная, слабо- и среднесытая на мощном двучлене, содержание гумуса составляло 2,92 %, P_2O_5 – 727 мг/кг почвы, K_2O – 238 мг/кг почвы, pH_{KCl} – 5,81. На плоской вершине преобладают супесчаные дерново-подзолистые почвы, преимущественно глееватые на среднемощном двучлене, содержание гумуса составляет 2,69 %, P_2O_5 – 439 мг/кг почвы, K_2O – 292 мг/кг почвы, pH_{KCl} – 5,36. На северном склоне почва дерново-подзолистая глееватая супесчаная, легко- и среднесуглинистая на маломощном двучлене, содержание гумуса в ней составляло 3,21 %, P_2O_5 – 289 мг/кг почвы, K_2O – 116 мг/кг почвы, pH_{KCl} – 6,12. Почвы осушены регулярным гончарным дренажем с междренним расстоянием от 20 до 40 м.

Исследования проводились на агроэкологической трансекте, которая состоит из 10 параллельных полос полей, каждая шириной 7,2 м, длиной 1300 м, площадью около 1 га. Трансекта пересекает все основные микроландшафтные позиции моренного холма: транзитно-аккумулятивные агроландшафты (АМЛ) межхолмных депрессий и нижних частей склонов, в которых преобладает аккумуляция питательных веществ из грунтовых и намывных вод; транзитные местоположения центральных частей склонов, характеризующиеся боковым током влаги; элювиально-транзитные позиции верхних частей склонов, где, наряду с боковым током влаги, наблюдается и вертикальное промывание почвенного профиля; элювиально-аккумулятивные АМЛ плоской вершины, где происходит как вертикальный нисходящий ток влаги, так и ее локальная аккумуляция в микропонижениях.

Оценка последствия компоста многоцелевого назначения на продуктивность культур и биологические свойства почв изучалась при сравнении двух полей:

1) тестовое поле, на котором в 2013 году однократно был внесен КМН в дозе 12 т/га и в массе которого в пересчете на действующее вещество содержалось 300 кг азота, 180 кг фосфора и 120 кг калия;

2) контрольное поле – без КМН.

В остальном на контрольном и тестовом полях антропогенное воздействие было однотипным, что позволило вычленить влияние на почвы и растения не только КМН, но и различных ландшафтных условий.

Каждое поле разбили на 30 одинаковых делянок. Учетная площадь делянки – 23,3 м², повторность четырехкратная.

Зернотравяной севооборот включал чередование следующих культур:

Таблица 1
**Последствие КМН на продуктивность культур севооборота (т/га к. ед.)
 в различных агромикрорландшафтных условиях**

| Севооборот | Агромикрорландшафты* | | | | | | | НСР ₀₅ |
|---|----------------------|------|------|------|------|------|------|-------------------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | |
| Тестовое поле | | | | | | | | |
| 2013 г. – яровая пшеница | 1,89 | 2,13 | 1,41 | 2,53 | 2,27 | 2,00 | 2,55 | 0,39 |
| 2014 г. – рапс яровой | 3,77 | 4,38 | 4,84 | 4,20 | 4,48 | 3,10 | 3,79 | 1,00 |
| 2015 г. – озимая рожь | 2,80 | 3,01 | 3,79 | 4,04 | 4,10 | 3,01 | 3,36 | 0,50 |
| 2016 г. – овес + многолетние травы | 2,00 | 2,69 | 3,50 | 3,28 | 3,08 | 2,73 | 3,03 | – |
| 2017 г. – многолетние травы 1-го года пользования | 3,86 | 7,16 | 6,56 | 7,52 | 6,85 | 3,40 | 3,52 | – |
| 2018 г. – многолетние травы 2-го года пользования | 4,07 | 7,94 | 9,04 | 5,56 | 4,46 | 6,17 | 6,10 | 2,30 |
| 2019 г. – многолетние травы 3-го года пользования | 0,20 | 0,63 | 0,76 | 0,99 | 0,49 | 1,12 | 0,88 | 0,08 |
| Контрольное поле | | | | | | | | |
| 2013 г. – яровая пшеница | 1,56 | 1,99 | 1,24 | 1,90 | 1,68 | 1,92 | 2,09 | 0,40 |
| 2014 г. – рапс яровой | 3,26 | 2,45 | 2,44 | 2,72 | 2,10 | 1,89 | 2,30 | 0,60 |
| 2015 г. – озимая рожь | 3,13 | 3,13 | 2,91 | 2,80 | 3,02 | 3,13 | 3,05 | – |
| 2016 г. – овес + многолетние травы | 2,79 | 2,97 | 3,20 | 3,01 | 3,13 | 3,13 | 2,80 | 0,44 |
| 2017 г. – многолетние травы 1-го года пользования | 3,11 | 4,81 | 5,01 | 4,51 | 3,45 | 3,54 | 2,79 | 1,40 |
| 2018 г. – многолетние травы 2-го года пользования | 3,33 | 3,37 | 5,45 | 6,08 | 5,76 | 9,79 | 7,60 | 1,48 |
| 2019 г. – многолетние травы 3-го года пользования | 0,28 | 0,30 | 0,55 | 0,63 | 0,41 | 0,56 | 0,68 | 0,08 |

Примечание: * агромикрорландшафты 1 – транзитно-аккумулятивный южного склона, 2 – транзитный южного склона, 3 – элювиально-транзитный южного склона, 4 – элювиально-аккумулятивный, 5 – элювиально-транзитный северного склона, 6 – транзитный северного склона, 7 – транзитно-аккумулятивный северного склона.

Table 1
**The aftereffect of multi-purpose compost on the productivity of crop rotation (t/ha of feed units)
 in various agromicrolandscape conditions**

| Crop rotation | Agromicrolandscapes* | | | | | | | LSD ₀₅ |
|---------------------------------------|----------------------|------|------|------|------|------|------|-------------------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | |
| Test field | | | | | | | | |
| 2013 – spring wheat | 1.89 | 2.13 | 1.41 | 2.53 | 2.27 | 2.00 | 2.55 | 0.39 |
| 2014 – spring rape | 3.77 | 4.38 | 4.84 | 4.20 | 4.48 | 3.10 | 3.79 | 1.00 |
| 2015 – winter rye | 2.80 | 3.01 | 3.79 | 4.04 | 4.10 | 3.01 | 3.36 | 0.50 |
| 2016 – oats + perennial herbs | 2.00 | 2.69 | 3.50 | 3.28 | 3.08 | 2.73 | 3.03 | – |
| 2017 – perennial herbs 1 year of use | 3.86 | 7.16 | 6.56 | 7.52 | 6.85 | 3.40 | 3.52 | – |
| 2018 – perennial herbs 2 years of use | 4.07 | 7.94 | 9.04 | 5.56 | 4.46 | 6.17 | 6.10 | 2.30 |
| 2019 – perennial herbs 3 years of use | 0.20 | 0.63 | 0.76 | 0.99 | 0.49 | 1.12 | 0.88 | 0.08 |
| Control field | | | | | | | | |
| 2013 – spring wheat | 1.56 | 1.99 | 1.24 | 1.90 | 1.68 | 1.92 | 2.09 | 0.40 |
| 2014 – spring rape | 3.26 | 2.45 | 2.44 | 2.72 | 2.10 | 1.89 | 2.30 | 0.60 |
| 2015 – winter rye | 3.13 | 3.13 | 2.91 | 2.80 | 3.02 | 3.13 | 3.05 | – |
| 2016 – oats + perennial herbs | 2.79 | 2.97 | 3.20 | 3.01 | 3.13 | 3.13 | 2.80 | 0.44 |
| 2017 – perennial herbs 1 year of use | 3.11 | 4.81 | 5.01 | 4.51 | 3.45 | 3.54 | 2.79 | 1.40 |
| 2018 – perennial herbs 2 years of use | 3.33 | 3.37 | 5.45 | 6.08 | 5.76 | 9.79 | 7.60 | 1.48 |
| 2019 – perennial herbs 3 years of use | 0.28 | 0.30 | 0.55 | 0.63 | 0.41 | 0.56 | 0.68 | 0.08 |

Note: * agromicrolandscapes 1 – transit-accumulative southern slope, 2 – transit southern slope, 3 – eluvial-transit southern slope, 4 – eluvial-accumulative, 5 – eluvial-transit northern slope, 6 – transit northern slope, 7 – transit accumulative northern slope.

Таблица 2

Некоторые биологические показатели почв в различных агроландшафтных условиях после окончания ротации севооборота

| Показатели | Агромикрорландшафты* | | | | | | | НСР ₀₅ |
|--|----------------------|------|------|------|------|------|------|-------------------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | |
| Тестовое поле | | | | | | | | |
| Микроорганизмы, использующие органический азот, млн/г | 3,3 | 4,2 | 2,7 | 5,9 | 2,4 | 5,9 | 12,0 | 0,84 |
| Микроорганизмы, использующие минеральный азот, млн/г | 16,7 | 26,4 | 14,0 | 32,4 | 8,6 | 50,5 | 26,1 | 5,55 |
| Фосфатмобилизующие микроорганизмы, млн/г | 18,3 | 40,1 | 12,6 | 30,7 | 10,5 | 36,1 | 33,1 | 7,62 |
| Коэффициент минерализации | 5,1 | 6,3 | 5,2 | 5,5 | 5,0 | 8,6 | 2,2 | 1,11 |
| Каталазная активность, см ³ O ₂ /г/мин | 0,50 | 0,49 | 0,46 | 0,48 | 0,48 | 0,56 | 0,58 | 0,05 |
| Дегидрогеназная активность, мГТФФ/г/сут | 1,70 | 1,65 | 1,86 | 1,81 | 1,68 | 2,85 | 2,03 | 0,20 |
| Окислительно-восстановительный коэффициент | 1,43 | 1,45 | 1,22 | 1,32 | 1,41 | 0,97 | 1,41 | 0,14 |
| Контрольное поле | | | | | | | | |
| Микроорганизмы, использующие органический азот, млн/г | 2,1 | 3,4 | 4,0 | 4,7 | 2,8 | 4,3 | 4,5 | 0,88 |
| Микроорганизмы, использующие минеральный азот, млн/г | 13,6 | 11,7 | 21,9 | 12,0 | 22,5 | 12,5 | 33,0 | 4,19 |
| Фосфатмобилизующие микроорганизмы, млн/г | 26,9 | 21,8 | 38,2 | 19,4 | 14,9 | 13,5 | 21,4 | 4,99 |
| Коэффициент минерализации | 6,5 | 3,4 | 5,5 | 2,6 | 8,0 | 2,9 | 7,3 | 1,86 |
| Каталазная активность, см ³ O ₂ /г/мин | 0,42 | 0,35 | 0,41 | 0,40 | 0,34 | 0,39 | 0,45 | 0,05 |
| Дегидрогеназная активность, мГТФФ/г/сут | 1,55 | 1,55 | 1,54 | 1,61 | 1,81 | 1,93 | 2,04 | 0,15 |
| Окислительно-восстановительный коэффициент | 1,33 | 1,11 | 1,31 | 1,23 | 0,92 | 0,99 | 1,08 | 0,11 |

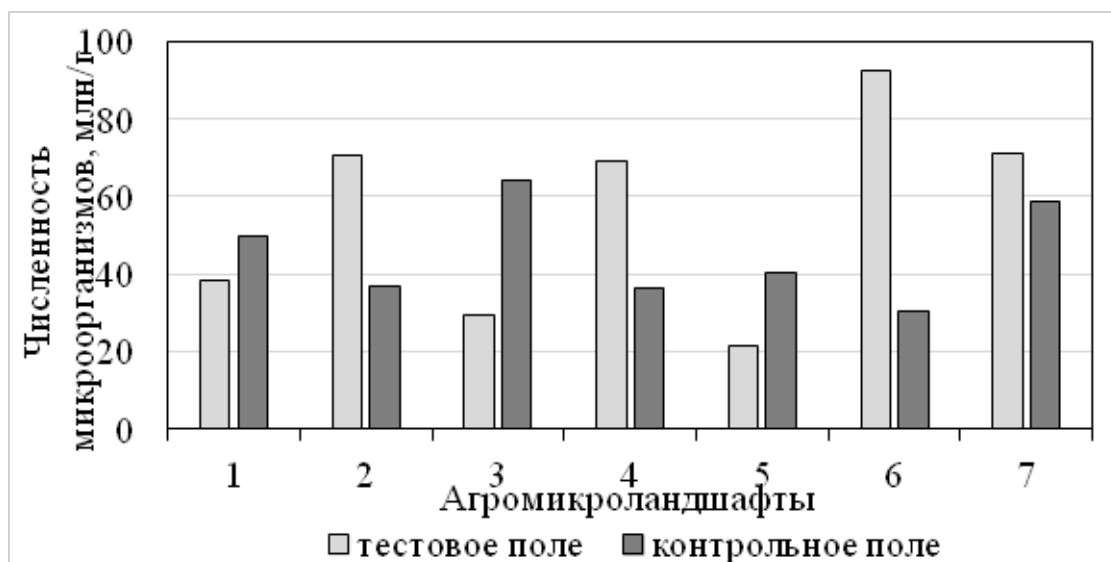
Примечание: * агромикрорландшафты – см. таблицу 1.

Table 2

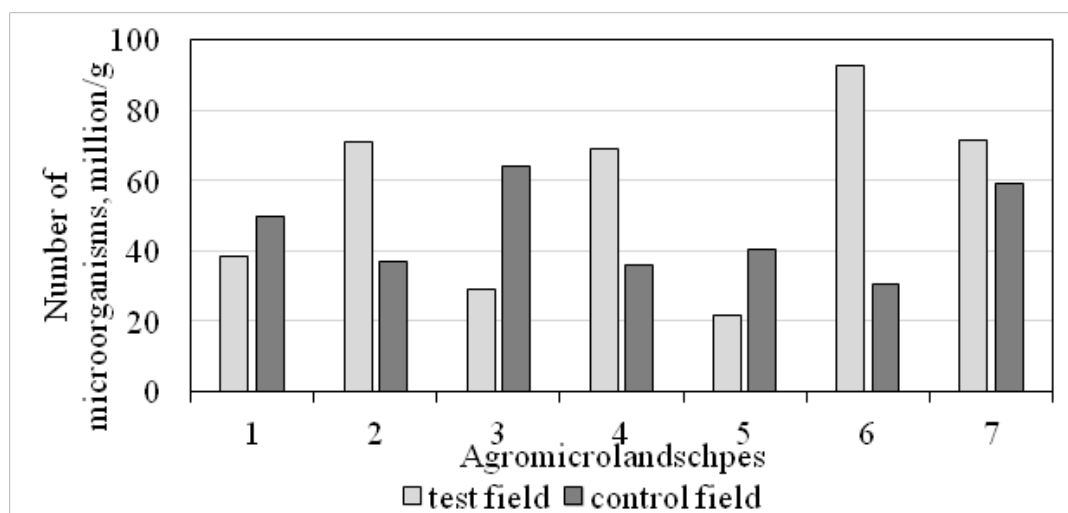
Some biological indicators of soils in various agrolandscape conditions after the end of crop rotation

| Indicators | Agromicrolandscapes* | | | | | | | LSD ₀₅ |
|--|----------------------|------|------|------|------|------|------|-------------------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | |
| Test field | | | | | | | | |
| Microorganisms using organic nitrogen, million/g | 3.3 | 4.2 | 2.7 | 5.9 | 2.4 | 5.9 | 12.0 | 0.84 |
| Microorganisms using mineral nitrogen, million/g | 16.7 | 26.4 | 14.0 | 32.4 | 8.6 | 50.5 | 26.1 | 5.55 |
| Phosphate mobilizing microorganisms, million/g | 18.3 | 40.1 | 12.6 | 30.7 | 10.5 | 36.1 | 33.1 | 7.62 |
| Coefficient of mineralization | 5.1 | 6.3 | 5.2 | 5.5 | 5.0 | 8.6 | 2.2 | 1.11 |
| Catalase activity, cm ³ O ₂ /g/min | 0.50 | 0.49 | 0.46 | 0.48 | 0.48 | 0.56 | 0.58 | 0.05 |
| Dehydrogenase activity, mg triphenyl formazan/g/day | 1.71 | 1.65 | 1.86 | 1.81 | 1.68 | 2.85 | 2.03 | 0.20 |
| Redox ratio | 1.43 | 1.45 | 1.22 | 1.32 | 1.41 | 0.97 | 1.41 | 0.14 |
| Control field | | | | | | | | |
| Microorganisms using organic nitrogen, million/g | 2.1 | 3.4 | 4.0 | 4.7 | 2.8 | 4.3 | 4.5 | 0.88 |
| Microorganisms using mineral nitrogen, million/g | 13.6 | 11.7 | 21.9 | 12.0 | 22.5 | 12.5 | 33.0 | 4.19 |
| Phosphate mobilizing microorganisms, million/g | 26.9 | 21.8 | 38.2 | 19.4 | 14.9 | 13.5 | 21.4 | 4.99 |
| Coefficient of mineralization | 6.5 | 3.4 | 5.5 | 2.6 | 8.0 | 2.9 | 7.3 | 1.86 |
| Catalase activity, cm ³ O ₂ /g/min | 0.42 | 0.35 | 0.41 | 0.40 | 0.34 | 0.39 | 0.45 | 0.05 |
| Dehydrogenase activity, mg triphenyl formazan/g/day | 1.55 | 1.55 | 1.54 | 1.61 | 1.81 | 1.93 | 2.04 | 0.15 |
| Redox ratio | 1.33 | 1.11 | 1.31 | 1.23 | 0.92 | 0.99 | 1.08 | 0.11 |

Note: * agromicrolandscapes – see table 1.



Варианты агромикрорландшафтов – см. таблицу 1
Рис. Суммарная численность исследуемых микроорганизмов



Options agromicrolandscapes – see table 1.
Fig. The total number of studied microorganisms

- 1) яровая пшеница;
- 2) рапс (на сидерат);
- 3) озимая рожь;
- 4) овес + травы;
- 5) травы 1-го года пользования;
- 6) травы 2-го года пользования;
- 7) травы 3-го года пользования.

В 2019 году, помимо определения продуктивности злакобобовых травостоев 3 г. п. (timoфеевка луговая «ВИК-9», клевер красный луговой «ВИК -7»), после окончания ротации севооборота на тестовом и контрольном полях в пределах каждого АМЛ было отобрано по одному усредненному образцу пахотного горизонта почв для определения некоторых биологических показателей (численности отдельных групп микроорганизмов и ферментативной активности).

Численность микроорганизмов определяли методом посева на плотные питательные среды: использующие органический азот – на мясо-пептонном агаре; использующие минеральный азот – на крахмало-аммиачном агаре, микроорганизмы; мобилизующие фосфорорганические соединения – на питательной среде Менкиной. Интенсив-

ность минерализационных процессов в почве оценивали по значению условного коэффициента минерализации, определяемого через отношение численности микроорганизмов, потребляющих минеральные формы азота, к численности микроорганизмов, потребляющих органические формы азота.

Ферментативную активность почвы исследовали на примере окислительно-восстановительной пары ферментов – каталазы и НАДН₂-дегидрогеназы. Активность каталазы определялась газометрическим методом; метод определения активности дегидрогеназы основан на определении количества красного трифенилформазана, образующего под воздействием этого фермента бесцветную соль трифенилтетразолия хлористого. Определением соотношения каталазной и дегидрогеназной активности, выраженных в условных единицах, находили окислительно-восстановительный коэффициент (ОВК), который наглядно демонстрировал изменения, происходящие в почве: преобладание либо процессов распада органики (ОВК > 1), либо процессов ее синтеза (ОВК < 1). Наиболее устойчивой почвенной системой считается значение ОВК, близкое к 1.

Статистическую обработку экспериментальных данных проводили с помощью компьютерных программ Microsoft Excel 2003, STATGRAPHICS Centurion XVI.И.

Результаты (Results)

Внесение органических удобрений или компостов в первую очередь направлено на повышение продуктивности возделываемых культур. В исследуемом севообороте продуктивность культур зависела и от действия компоста, и от условий агромикрорландшафтов [14, с. 20–21].

Поскольку максимальный эффект от КМН, как и от любого органического удобрения, в отличие от минерального, проявляется несколько позже, то первый год сложно считать показательным. Однако далее на элювиальных и элювиально-транзитных позициях тестового поля на протяжении нескольких лет наблюдалась практически самая высокая продуктивность культур, причем на второй и пятый год ее увеличение достигало 100 % (таблица 1). На контрольном поле каких-либо четких закономерностей выявлено не было.

В 2018 и 2019 годах определенную зависимость не выявили, однако максимальная и высокая урожайность сена многолетних трав была получена на транзитных агромикрорландшафтах. Следовательно, наблюдалось ослабление комплексного влияния КМН и агромикрорландшафтов на продуктивность возделываемых культур. По-видимому, постепенное затухание воздействия КМН привело к усилению влияния других факторов, которые в последние годы стали ключевыми при формировании урожайности.

Известно [15, с. 152], что длительное применение органических удобрений оказывает влияние на микробное сообщество в почве, его биологическую активность и определяет направленность почвенных процессов.

Анализ численности отдельных групп микроорганизмов и активности оксидоредуктаз в почве всех исследуемых агромикрорландшафтов позволил установить, что в почве тестового поля определяемые показатели в целом превышали контрольное поле (таблица 2). Тем не менее достоверных различий для каждого конкретного показателя между рассматриваемыми полями не выявили. Исключение составила каталазная активность, достоверное увеличение которой на тестовом поле подтвердил дисперсионный анализ ($HCp_{05} = 0,045$).

Численность исследуемых микроорганизмов на всех агромикрорландшафтах тестового поля, за исключением верхних частей склонов обеих экспозиций и нижней части южного склона, в сравнении с контрольным полем была выше.

Так, на транзитных местоположениях последствие КМН в первую очередь отразилось на развитии амилотических и фосфатмобилизирующих микроорганизмов – их суммарная численность на южном склоне приблизительно в 2 раза выше, чем на соответствующем агромикрорландшафте контрольного поля, а на северном склоне – более чем в 3 раза. Напротив, на элювиально-транзитной позиции (верхней части склона) контрольного поля суммарная численность азоттрансформирующих и фосфатмобилизирующих микроорганизмов примерно в 2 раза выше, чем в аналоге по фону КМН (см. рисунок). Такое снижение чис-

ленности исследуемых микроорганизмов на седьмой год после внесения компоста, возможно, связано с тем, что преимущественно на элювиально-транзитных позициях верхних частей склонов в предыдущие годы была получена максимальная урожайность возделываемых культур и, соответственно, происходил более высокий вынос питательных элементов.

Рисунок наглядно демонстрирует, что на седьмой год после внесения КМН наибольшая суммарная численность исследуемых микроорганизмов наблюдается на плоской вершине и в транзитных местоположениях, причем максимальная – на транзитном АМЛ северного склона. На данном агромикрорландшафте выявлена и максимальная активность оксидоредуктаз.

Ферментативную активность почв можно рассматривать как интегральный показатель функциональной активности микрофлоры в различных экологических условиях. Каталазная активность на тестовом поле выше, чем на контрольном, усиление под воздействием КМН, дегидрогеназной активности наблюдалось только на южном склоне. При этом дегидрогеназная активность контрольного поля на южном склоне практически не меняется в пространстве, а на северном плавно увеличивается вниз по склону (таблица 2).

В транзитном агромикрорландшафте северного склона наблюдались наиболее оптимальные значения ОВК, что свидетельствует о взаимосвязанных процессах распада сложных веществ и синтеза вторичных метаболитов. При этом на контрольном поле, судя по развитию исследуемых микроорганизмов и коэффициенту минерализации, интенсивность почвенных процессов трансформации существенно ниже, чем на тестовом поле (таблица 2).

Максимальная урожайность сена многолетних трав 3-го года пользования в 2019 году на тестовом поле была получена на транзитном агромикрорландшафте северного склона – там, где выявлены максимальная численность исследуемых микроорганизмов и наиболее высокая активность окислительно-восстановительной пары ферментов (каталазы и дегидрогеназы) при оптимальном значении рассчитанного ОВК.

Сопоставление всех полученных результатов и проведение корреляционного анализа показали, что внесение КМН изменяет характер связей в микробоценозе. На тестовом поле в отличие от контрольного нами обнаружено несколько достоверных корреляционных зависимостей между исследуемыми параметрами: например, между численностью микроорганизмов, использующих органический азот, и каталазной активностью почвы ($r = 0,82$); между численностью микроорганизмов, использующих минеральный азот, и дегидрогеназной активностью почвы ($r = 0,82$); между численностью фосфатмобилизирующих микроорганизмов и использующих минеральный азот ($r = 0,79$) и др. При этом урожайность многолетних трав на седьмой год после внесения КМН достоверно связана с суммой N -трансформирующих микроорганизмов ($r = 0,78$) и, в частности, с содержанием микроорганизмов, использующих минеральный азот ($r = 0,76$). Обнаружение на тестовом поле тесных взаимосвязей между микрооргани-

мами, их биохимической активностью и урожайностью позволяет предположить, что внесенный в 2013 году КМН сформировал достаточно устойчивую почвенную систему.

Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

Проведенный мониторинг последствий компоста многоцелевого назначения на продуктивность исследуемого севооборота показал, что влияние КМН на растения и почвы сопряжено с агромикрорландшафтными условиями: на протяжении пяти лет стабильно высокая продуктивность возделываемых культур получена в вариантах с элювиальными почвенными процессами. Далее зависимость «агромикрорландшафт – КМН – продуктивность культур» ослабевала.

КМН способствовал сохранению почвенного плодородия, которое во многом определяется численностью почвенной микрофлоры, интенсивностью и направленностью ее биохимической деятельности. Исследование отдельных биологических показателей почвы после окончания ротации севооборота позволило установить, что КМН и спустя семь лет после внесения обладал пролонгированным действием, продолжая интенсифицировать почвенные процессы: численность определяемых микроорганизмов и активность оксидоредуктаз во всех исследуемых агромикрорландшафтах в целом выше по сравнению с контрольным полем. На тестовом поле под влиянием КМН была сформирована весьма устойчивая почвенно-микробная система, что подтверждают обнаруженные корреляционные зависимости.

Библиографический список

1. Завьялова Н. Е., Широких И. Г., Косолапова А. И., Широких А. А. Микробная трансформация органического вещества дерново-подзолистой почвы Предуралья при различном использовании и внесении минеральных удобрений // Теоретическая и прикладная экология. 2019. № 1. С. 102–110. DOI: 10.25750/1995-4301-2019-1-102-110.
2. Dobrovolskaya T. G., Zvyagintsev D. G., Chernov I. Y., Golovchenko A. V., Zenova G. M., Lysak L. V., Manucharova N. A., Marfenina O. E., Polyanskaya L. M., Stepanov A. L., Umarov M. M. The Role of Microorganisms in the Ecological Functions of Soils // Eurasian Soil Science. 2015. Vol. 48. No. 9. Pp. 959–967. DOI: 10.1134/S1064229315090033.
3. Никитин Д. А., Чернов Т. И., Железова А. Д., Тхакахова А. К., Никитина С. А., Семенов М. В., Ксенофонтова Н. А., Кутовая О. В. Сезонная динамика биомассы микроорганизмов в дерново-подзолистой почве // Почвоведение. 2019. № 11. С. 1356–1364. DOI: 10.1134/S0032180X19110078.
4. Gorobtsova O. N., Gedgafova F. V., Uligova T. S., Tembotov R. K. A Comparative Assessment of the Biological Properties of Soils in the Cultural and Native Cenoses of the Central Caucasus (Using the Example of the Terskii variant of Altitudinal Zonality in Kabardino-Balkaria) // Eurasian Soil Science. 2016. Vol. 49. No. 1. Pp. 89–94. DOI: 10.1134/S1064229316010063.
5. Иванов А. И., Иванова Ж. А., Цыганова Н. А. Эффективность дифференциации доз удобрений в зернопаровом звене севооборота // Вестник российской сельскохозяйственной науки. 2019. № 1. С. 20–24.
6. Антоненко Д. А., Белюченко И. С., Гукалов В. В., Корунчикова В. В., Мельник О. А., Никифорова Ю. Ю., Ткачук Л. Н. Сложный компост и его влияние на свойства почвы и продуктивность сельскохозяйственных культур: монография / Под ред. И. С. Белюченко. Краснодар: Кубанский государственный аграрный университет им. И. Т. Трубилина, 2018. 181 с.
7. Ковалев Н. Г., Рабинович Г. Ю., Полозова В. Г. Научное обеспечение развития экологически безопасных систем переработки и использования навоза и помета // Вестник ВНИИМЖ. 2015. № 2 (18). С. 73–80.
8. Иванов Д. А., Ковалев Н. Г., Рублюк М. В., Карасева О. В. Влияние компоста многоцелевого назначения на продуктивность звена севооборота в различных ландшафтных условиях // Использование мелиорированных земель – современное состояние и перспективы развития мелиоративного земледелия: материалы международной научно-практической конференции. Тверь, 2015. С. 30–33.
9. Рублюк М. В., Иванов Д. А. Влияние ландшафтных условий на биологические свойства почвы в посевах покровного овса // Адаптивно-ландшафтные системы земледелия – основа эффективного использования мелиорированных земель: материалы международной научно-практической конференции. Тверь, 2017. С. 145–151.
10. Иванов Д. А. Влияние компоста многоцелевого назначения на биологическую активность почв агроландшафта // Международный научно-исследовательский журнал. 2018. № 6 (72). С. 11–16.
11. Болтаев С. М., Назаров Р. С. Последствие органо-минеральных компостов на плодородие почвы и продуктивность растений // Актуальные проблемы современной науки. 2016. № 1 (86). С. 174–178.
12. Никифорова Ю. Ю. Последствие сложного компоста на почвенную мезофауну и свойства чернозема обыкновенного // Экологический вестник Северного Кавказа. 2019. Т. 15. № 1. С. 83–89.
13. Мерзлая Г. Е., Федулова А. Д., Постников Д. А. Влияние систем удобрения с использованием навоза и компостов в последствии на микробиологическую активность почвы и урожайность овса // Экологические проблемы развития агроландшафтов и способы повышения их продуктивности: сборник статей по материалам научной экологической конференции. Краснодар, 2018. С. 132–135.
14. Иванов Д. А., Карасева О. В. Оценка эффективности компоста многоцелевого назначения на осушаемых землях // Экологические проблемы развития агроландшафтов и способы повышения их продуктивности: сборник статей по материалам научной экологической конференции. Краснодар, 2018. С. 19–22.

15. Завьялова Н. Е., Широких И. Г., Ямалдинова В. Р. Микробиологическое состояние дерново-подзолистой почвы Предуралья при длительном применении органических и минеральных удобрений // Теоретическая и прикладная экология. 2020. № 1. С. 151–159. DOI: 10.25750/1995-4301-2020-1-151-159.

Об авторах:

Дмитрий Анатольевич Иванов¹, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, член-корреспондент РАН, главный научный сотрудник отдела мониторинга состояния и использования осушаемых земель ВНИИМЗ – филиала ФИЦ «Почвенный институт им. В. В. Докучаева», ORCID 0000-0002-2588-272X, AuthorID 110044;

+7 920 693-27-57, volok234@yandex.ru

Галина Юрьевна Рабинович¹, доктор биологических наук, профессор, директор ВНИИМЗ – филиала ФИЦ «Почвенный институт им. В. В. Докучаева», ORCID 0000-0002-5060-6241, AuthorID 111233; +7 (4822) 378-544, vniimz@list.ru

Наталья Викторовна Фомичева¹, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник отдела биотехнологий ВНИИМЗ – филиала ФИЦ «Почвенный институт им. В. В. Докучаева», ORCID 0000-0002-2272-7767, AuthorID 111239; +7 910 841-85-41, nvfomi@mail.ru

Ольга Николаевна Анциферова¹, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник отдела биотехнологий ВНИИМЗ – филиала ФИЦ «Почвенный институт им. В. В. Докучаева», ORCID 0000-0001-5494-710X, AuthorID 110045; +7 930 174-17-45, 2016vniimz-noo@list.ru

¹ ФИЦ «Почвенный институт им. В. В. Докучаева», Москва, Россия

Monitoring the aftereffect of multi-purpose compost in various agromicrolandscape conditions

D. A. Ivanov¹, G. Yu. Rabinovich¹, N. V. Fomicheva¹, O. N. Antsiferova¹✉

¹ Federal Research Centre V. V. Dokuchaev Soil Science Institute, Moscow, Russia

✉E-mail: 2016vniimz-noo@list.ru

Abstract. At All-Russian Research Institute of Reclaimed Lands – a branch of the FRC V. V. Dokuchaev Soil Science Institute developed and successfully used multi-purpose compost obtained by fermentation of organic raw materials. **The purpose** of this work was to monitor the aftereffect of KMN, which consists in studying the productivity of seven-year crop rotation in various agrolandscape conditions and determining some biological indicators of soils at the end of rotation. **Methodology and research methods.** The studies were carried out on the agroecological transect of the All-Russian Research Institute of Reclaimed Lands testing ground, which intersects all landscape micropositions of the end moraine hill. The transect is divided into two parallel options (test field and control), identical in landscape terms. On the test field, under the laying of a seven-year grain-grass crop rotation, 12 t / ha of multi-purpose compost was added. Subsequent agrotechnological operations on the options were the same. **Results.** It has been established that over several years the highest productivity of crop rotation crops was obtained at eluvial and eluvial-transit positions of the test field. Further, the dependence of agromicrolandscape – multi-purpose compost – productivity of cultivated crops weakened. After the rotation of the crop rotation was completed, some biological indicators of soils were monitored. It was found that the number of nitrogen-transforming and phosphate-mobilizing microorganisms, as well as the activity of catalase and dehydrogenase enzymes in the test field is generally higher than in the control. Correlation analysis revealed several reliable relationships between the studied parameters on the test field. The main conclusion is that the effective aftereffect of multi-purpose compost is limited to five years of cultivating crops on soils with eluvial processes. Moreover, the application of KMN for seven years contributed to the preservation of soil fertility, ensured the formation of a more stable soil-microbial system, which is confirmed by the revealed correlation dependencies. **Scientific novelty.** New knowledge was gained about the long-term effect of compost on crop rotation productivity and biological indicators of soil properties at the end of rotation.

Keywords: monitoring, multi-purpose compost, aftereffect, soil, agromicrolandscapes, crop rotation productivity, microorganisms, enzymatic activity, correlation dependence.

For citation: Ivanov D. A., Rabinovich G. Yu., Fomicheva N. V., Antsiferova O. N. Monitoring posledeystviya komposta mnogotselevogo naznacheniya v razlichnykh agromikrolandshaftnykh usloviyakh [Monitoring the aftereffect of multi-purpose compost in various agromicrolandscape conditions] // Agrarian Bulletin of the Urals. 2020. No. 08 (199). Pp. 9–18. DOI: ... (In Russian.)

Paper submitted: 15.06.2020.

References

1. Zav'yalova N. E., Shirokikh I. G., Kosolapova A. I., Shirokikh A. A. Mikrobnaya transformatsiya organicheskogo veshchestva dernovo-podzolistoy pochvy Predural'ya pri razlichnom ispol'zovanii i vnesenii mineral'nykh udobreniy [Microbial transformation of organic matter of sod-podzolic soils in the Pre-Urals under conditions of different use and application of mineral fertilizers] // Theoretical and Applied Ecology. 2019. No 1. Pp. 102–110. DOI: 10.25750/1995-4301-2019-1-102-110 (In Russian.)
2. Dobrovol'skaya T. G., Zvyagintsev D. G., Chernov I. Y., Golovchenko A. V., Zenova G. M., Lysak L. V., Manucharova N. A., Marfenina O. E., Polyanskaya L. M., Stepanov A. L., Umarov M. M. The Role of Microorganisms in the Ecological Functions of Soils // Eurasian Soil Science. 2015. Vol. 48. No. 9. Pp. 959–967. DOI: 10.1134/S1064229315090033.
3. Nikitin D. A., Chernov T. I., Zhelezova A. D., Tkhakakhova A. K., Nikitina S. A., Semenov M. V., Ksenofontova N. A., Kutovaya O. V. Sezonnaya dinamika biomassy mikroorganizmov v dernovo-podzolistoy pochve [Seasonal dynamics of microbial biomass in soddy-podzolic soil] // Pochvovedeniye. 2019. No. 11. Pp. C. 1356–1364. doi: 10.1134/S0032180X19110078 (In Russian.)
4. Gorobtsova O. N., Gedgafova F. V., Uligova T. S., Tembotov R. K. A Comparative Assessment of the Biological Properties of Soils in the Cultural and Native Cenoses of the Central Caucasus (Using the Example of the Terskii variant of Altitudinal Zonality in Kabardino-Balkaria) // Eurasian Soil Science. 2016. Vol. 49. No. 1. Pp. 89–94. DOI: 10.1134/S1064229316010063.
5. Ivanov A. I., Ivanova Zh. A., Tsyganova N. A. Effektivnost' differentsiatsii doz udobreniy v zernoparovom zvene sevooborota [Effectiveness of differentiation of fertilizers doses in grain fallow crop rotation link] // Vestnik of the Russian agricultural science. 2019. No. 1. Pp. 20–24. (In Russian.)
6. Antonenko D. A., Belyuchenko I. S., Gukalov V. V., Korunchikova V. V., Mel'nik O. A., Nikiforenko YU. YU., Tkachuk L. N. Slozhnyy kompost i yego vliyaniye na svoystva pochvy i produktivnost' sel'skokhozyaystvennykh kul'tur: monografiya [Complex compost and its effect on soil properties and crop productivity: monograph] / Under the editorship of I. S. Belyuchenko. Krasnodar: Kubanskiy gosudarstvennyy agrarnyy universitet im. I. T. Trubilina, 2018. 181 p. (In Russian.)
7. Kovalev N. G., Rabinovich G. Yu., Polozova V. G. Nauchnoye obespecheniye razvitiya ekologicheskii bezopasnykh sistem pererabotki i ispol'zovaniya navoza i pometa [Scientific support for the development of environmentally friendly systems for the processing and use of manure and litter] // Vestnik VNIIMZH. 2015. No. 2 (18). Pp. 73–80. (In Russian.)
8. Ivanov D. A., Kovalev N. G., Rublyuk M. V., Karaseva O. V. Vliyaniye komposta mnogotselevogo naznacheniya na produktivnost' zvena sevooborota v razlichnykh landshaftnykh usloviyakh [The effect of multi-purpose compost on the productivity of a crop rotation link in various landscape conditions] // Ispol'zovaniye meliorirovannykh zemel' – sovremennoye sostoyaniye i perspektivy razvitiya meliorativnogo zemledeliya: materialy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. Tver, 2015. Pp. 30–33. (In Russian.)
9. Rublyuk M. V., Ivanov D. A. Vliyaniye landshaftnykh usloviy na biologicheskkiye svoystva pochvy v posevakh pokrovnogo ovsa [Influence of landscape conditions on the biological properties of the soil in cover oats] // Adaptivno-landshaftnyye sistemy zemledeliya – osnova effektivnogo ispol'zovaniya meliorirovannykh zemel': materialy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. Tver, 2017. Pp. 145–151. (In Russian.)
10. Ivanov D. A. Vliyaniye komposta mnogotselevogo naznacheniya na biologicheskuyu aktivnost' pochv agrolandshafta [Influence of multipurpose compost on biological activity of soils of cultivated land] // International Research Journal. 2018. No. 6 (72). Pp. 11–16. (In Russian.)
11. Boltayev S. M., Nazarov R. S. Posledeystviye organomineral'nykh kompostov na plodorodiye pochvy i produktivnost' rasteniy [The effect of organic mineral composts on soil fertility and plant productivity] // Aktual'nyye problemy sovremennoy nauki. 2016. No. 1 (86). Pp. 174–178. (In Russian.)
12. Nikiforenko Yu. Yu. Posledeystviye slozhnogo komposta na pochvennyuyu mezofaunu i svoystva chernozema obyknovennogo [The consequences of complex compost on soil mesofauna and properties of the chernozeme of the general] // The North Caucasus Ecological Herald. 2019. T. 15. No. 1. Pp. 83–89. (In Russian.)
13. Merzlaya G. E., Fedulova A. D., Postnikov D. A. Vliyaniye sistem udobreniya s ispol'zovaniyem navoza i kompostov v posledeystvii na mikrobiologicheskuyu aktivnost' pochvy i urozhaynost' ovsa [The effect of fertilizer systems using manure and compost in the aftermath on the microbiological activity of the soil and the yield of oats] // Ekologicheskkiye problemy razvitiya agrolandshaftov i sposoby povysheniya ikh produktivnosti: sbornik statey po materialam nauchnoy ekologicheskoy konferentsii. Krasnodar, 2018. Pp. 132–135. (In Russian.)
14. Ivanov D. A., Karaseva O. V. Otsenka effektivnosti komposta mnogotselevogo naznacheniya na osushayemykh zemlyakh [Evaluation of the effectiveness of multi-purpose compost on drained lands] // Ekologicheskkiye problemy razvitiya agrolandshaftov i sposoby povysheniya ikh produktivnosti: sbornik statey po materialam nauchnoy ekologicheskoy konferentsii. Krasnodar, 2018. Pp. 19–22. (In Russian.)
15. Zav'yalova N. E., Shirokikh I. G., Yamaltdinova V. R. Mikrobiologicheskoye sostoyaniye dernovo-podzolistoy pochvy Predural'ya pri dlitel'nom primenenii organicheskikh i mineral'nykh udobreniy [Microbiological status of the Pre-Urals sod-podzolic soil with long-term use of organic and mineral fertilizers] // Theoretical and Applied Ecology. 2020. No 1. Pp. 151–159. DOI: 10.25750/1995-4301-2020-1-151-159 (In Russian.)

Authors' information:

Dmitriy A. Ivanov¹, doctor of agricultural sciences, corresponding member of the Russian Academy of Sciences, professor, chief researcher of department for monitoring the status and use of drained lands All-Russian Research Institute of Reclaimed Lands – a branch of the FRC V. V. Dokuchaev Soil Science Institute, ORCID 0000-0002-2588-272X, AuthorID 110044; +7 920 693-27-57, volok234@yandex.ru

Galina Yu. Rabinovich¹, doctor of biological science, professor, director of All-Russian Research Institute of Reclaimed Lands – a branch of the FRC V. V. Dokuchaev Soil Science Institute, ORCID 0000-0002-5060-6241, AuthorID 111233; +7 (4822) 378-544, vniimz@list.ru

Natalia V. Fomicheva¹, candidate of biological scienceS, senior researcher of department of biotechnology of All-Russian Research Institute of Reclaimed Lands – a branch of the FRC V. V. Dokuchaev Soil Science Institute, ORCID 0000-0002-2272-7767, AuthorID 111239; +7 910 841-85-41, nvfomi@mail.ru

Olga N. Antsiferova¹, candidate of agricultural sciences, leading researcher of department of biotechnology of All-Russian Research Institute of Reclaimed Lands – a branch of the FRC V. V. Dokuchaev Soil Science Institute, ORCID 0000-0001-5494-710X, AuthorID 110045; +7 930 174-17-45, 2016vniimz-noo@list.ru

¹ Federal Research Centre V. V. Dokuchaev Soil Science Institute, Moscow, Russia