

УДК 631.461

ИЗМЕНЕНИЯ МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОЧВ ПРИ ВНЕСЕНИИ ИЛОВ СТОЧНЫХ ВОД

*Кулагина В. И., Сунгатуллина Л. М., Кольцова Т. Г., Шагидуллин Р. Р.,
Рязанов С. С., Андреева А. А.*

*Институт проблем экологии и недропользования АН РТ, Казань, Россия
E-mail: viksoil@mail.ru*

Изучено воздействие внесения обработанных илов бытовых сточных вод в серую лесную почву на численность трофических групп микроорганизмов и направление процессов минерализации/иммобилизации азота в почве. Проведен 42-дневный вегетационный лабораторный опыт с внесением 7 т/га, 14 т/га, и 28 т/га илов сточных вод под посевы трех сельскохозяйственных культур. Показано, что изменение общей численности микроорганизмов в результате внесения в почву гранулята илов сточных вод не превышает размаха колебаний численности под различными культурами без внесения илов. Численность амилотических и автохтонных микроорганизмов, актиномицетов и микромицетов при внесении в почву гранулята илов сточных вод увеличивалась, хотя максимальная численность микроорганизмов под тремя разными культурами наблюдалась при разных дозах. Внесение илов сточных вод в почву привело к усилению процессов минерализации азота.

Ключевые слова: почва, илы сточных вод, численность микроорганизмов, трофические группы микроорганизмов, коэффициент минерализации.

ВВЕДЕНИЕ

Ежегодно в России образуется до 2,6 млн. т осадков сточных вод в пересчете на сухое вещество [1]. Самым логичным способом утилизации такого количества отходов с высоким содержанием органических веществ и элементов питания растений является внесение их в почву, разумеется, при соответствии требованиям ГОСТ Р 17.4.3.07-2001 и ГОСТ Р 54534-2011.

Обычно последствия внесения илов сточных вод в почву изучаются с точки зрения влияния на содержание тяжелых металлов в почвах и растениях, а также урожайность сельскохозяйственных культур [1–5].

Однако внесение в почву иловых осадков сточных вод в количестве нескольких тонн на гектар неизбежно приводит и к другим изменениям: изменению состояния почвенной биоты, направления и интенсивности микробиологических процессов, численности трофических групп микроорганизмов, что не всегда является положительным моментом. Прежде, чем рекомендовать внесение илов сточных вод в почву, необходимо понять изменения, происходящие не только с урожайностью растений, но и с микробиологическими параметрами почв, попытаться выяснить направления развития микробиологических процессов.

Численность трофических групп микроорганизмов – наиболее динамичный и чувствительный параметр. Несмотря на высокую вариабельность, данный параметр

имеет ряд преимуществ при оценке эколого-биологического состояния почв [6]. В частности очень быструю реакцию. Численность трофических групп микроорганизмов в почвах изменяется и под воздействием возделываемых культур [7] и при внесении удобрений [8], и при внесении в почву загрязняющих веществ [6]. Часто при этом изменяется и баланс процессов минерализации-иммобилизации азота в почве.

Между тем воздействие илов сточных вод на микробиологические свойства почвы до сих пор изучено слабо, а имеющиеся данные носят противоречивый характер [8–10].

Целью работы было установить воздействие внесения илов бытовых сточных вод г. Казани на численность трофических групп микроорганизмов и направление процессов минерализации/иммобилизации азота в почве.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Объектом исследования послужили гранулированные илы бытовых сточных вод (гранулят) г. Казани после сушки и термической обработки – сухой сыпучий продукт, не содержащий патогенных микроорганизмов.

С целью определения воздействия илов сточных вод на микробиологические свойства почв был проведен вегетационный лабораторный опыт в соответствии с ГОСТ Р ИСО 22030-2009.

В эксперименте использовалась серая лесная почва со следующими базовыми характеристиками: гранулометрический состав – средний суглинок, содержание гумуса – 3,1 %, рН солевой вытяжки 5,4.

В вегетационные сосуды помещали 400 г смеси почвы с гранулятом из расчета 7 т/га, 14 т/га, 28 т/га. Доза рассчитывалась так, чтобы содержание тяжелых металлов не превышало ПДК в почвах. В качестве контроля использовалась почва без илов сточных вод.

В каждый вегетационный сосуд высевалось по 12 семян одно- и двудольных растений: гречихи посевной (*Fagopyrum esculentum Moench*), гороха посевного (*Pisum sativum L.*) и полбы (*Triticum dicoccum L.*).

В сосудах поддерживалась влажность 65 % от полной влагоемкости. Опыт продолжался 42 дня и проводился в 3-кратной повторности.

Определение численности групп микроорганизмов проводилось при помощи посева разведениями почвенных взвесей на плотных питательных средах:

- 1) общая численность микроорганизмов (ОМЧ) – на мясо-пептонный агар (МПА);
- 2) амилитических - на крахмал-аммиачный агар (КАА);
- 3) актиномицетов – посев также на КАА, но подсчитывались отдельно;
- 4) микроскопических грибов (микромикетов) – на среду Чапека;
- 5) автохтонных микроорганизмов на нитритный агар.

Среди эколого-трофических индексов был выбран коэффициент минерализации/иммобилизации по Е. Н. Мишустину [11].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Общая численность микроорганизмов (ОМЧ).

Проведенные исследования показали, что на контроле, в почве без внесения

илов сточных вод, общая численность микроорганизмов определяется особенностями выращиваемых растений (рис. 1). На контроле ОМЧ статистически значимо отличается в почве под посевами гороха и двух других культур (тест Стьюдента, $p < 0,05$). Согласно шкале Звягинцева [12] почва под посевами полбы богата микроорганизмами, под гречихой – очень богата. При этом под посевами гороха общая численность микроорганизмов в 56 раз выше, чем под посевами полбы и 27 раз выше, чем под посевами гречихи. И это никак не связано с загрязнением или влиянием илов сточных вод, которые на контроле не вносились.

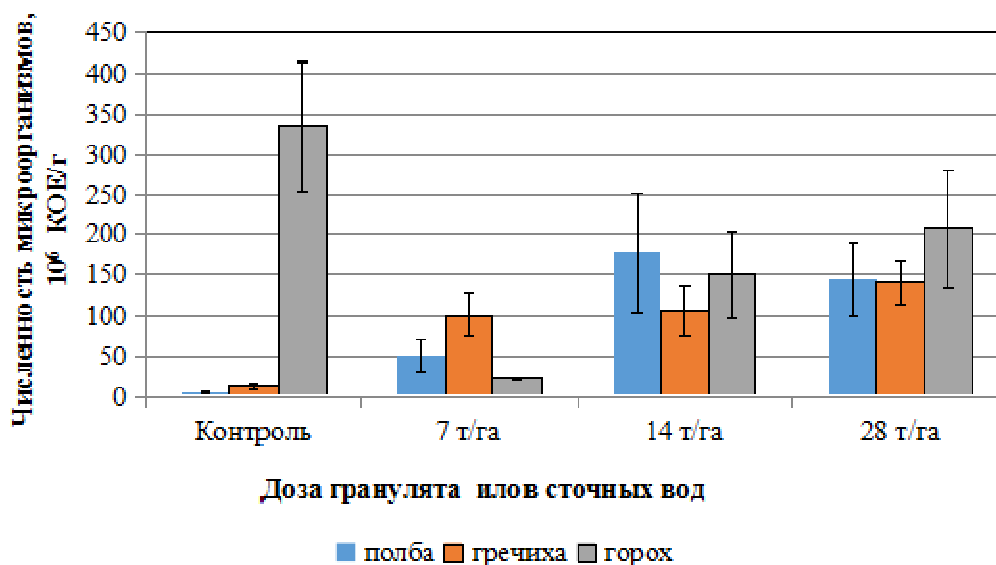


Рис. 1. Общая численность микроорганизмов ($M \pm m$) при разных дозах гранулята илов сточных вод в почве под посевами гречихи посевной (*Fagopyrum esculentum* Moench), гороха посевного (*Pisum sativum* L.) и полбы (*Triticum dicoccum* L.).

Подобный всплеск общей численности микроорганизмов под посевами гороха можно объяснить наличием у бобовых культур симбиотических азотфиксирующих бактерий, способствующих увеличению содержания в почве органического азота. При определении ОМЧ как раз учитываются микроорганизмы, способные использовать азот органических соединений. Полученный результат согласуется с данными У. С. Бекеновой с соавторами, приводившими в своей работе данные, что с ростом числа симбиотических бактерий, возрастает и ОМЧ почвы в целом [13]. Сходный результат был получен Т. Х. Гордеевой с соавторами, показавшими, что максимальная численность микроорганизмов, способных трансформировать азотсодержащие органические соединения, наблюдается под смешанными посевами с участием гороха [7].

Общая численность микроорганизмов под посевами полбы и гречихи возрастала с увеличением количества вносимых илов сточных вод (рис. 1). Коэффициент корреляции 0,78 и 0,88 соответственно, что свидетельствует о

высокой взаимосвязи между признаками.

Под посевами гороха наблюдалась несколько другая картина. Максимальная ОМЧ наблюдалась на контроле, то есть в почве без внесения илов сточных вод. При внесении илов в количестве 7 т/га общая численность микроорганизмов под посевами гороха уменьшалась по сравнению с контролем в 14,5 раз, а затем увеличивалась с увеличением дозы илов, но так и не достигла значений на контроле. Коэффициент корреляции между дозой гранулята и ОМЧ в вариантах с горохом равен -0,14, то есть корреляционная зависимость отсутствовала.

При внесении в почву илов в дозах 7 т/га, 14 т/га и 28 т/га отличия по общей численности микроорганизмов под посевами разных культур оказались статистически незначимыми (тест Стьюдента, $p < 0,05$). Внесение илов сточных вод нивелировало воздействие особенностей отдельных культур на ОМЧ.

Амилолитики. Данная трофическая группа отличается тем, что принадлежащие к ней микроорганизмы способны использовать минеральный азот почвы.

Распределение численности амилолитических микроорганизмов по вариантам опыта повторило результат, полученный для ОМЧ, а именно – под посевами полбы и гречихи численность микроорганизмов имела сильную положительную корреляционную взаимосвязь с дозой гранулята (коэффициент корреляции 0,77 и 0,72 соответственно), а под горохом корреляционной зависимости между этими признаками не обнаруживалось (коэффициент корреляции 0,06). Изменения численности амилолитиков под посевами гороха и двух других культур шли в противофазе (рис. 2). Например, при переходе от контроля к варианту с 7 т/га гранулята численность амилолитиков в почве под полбой и гречихой увеличивалась, а под горохом – уменьшалась.

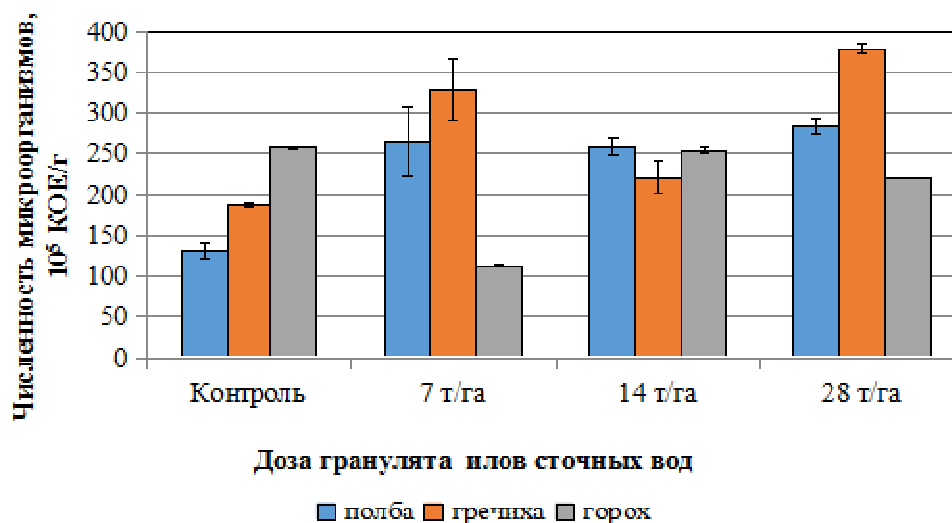


Рис. 2. Численность амилолитических микроорганизмов ($M \pm m$) при разных дозах гранулята илов сточных вод в почве под гречихой посевной (*Fagopyrum esculentum* Moench), горохом посевным (*Pisum sativum* L.) и полбой (*Triticum dicoccum* L.).

Максимальная численность амилोलитических микроорганизмов на контроле наблюдалась под посевами гороха. Полученные результаты согласуются с данными Гордеевой с соавторами, согласно которым под смешанными посевами с участием гороха численность амилолитиков превышала их численность на других вариантах [7].

Статистически значимая разница по численности амилолитических микроорганизмов под всеми тремя культурами отсутствовала только при внесении в почву 14 т/га илов сточных вод. На контроле и при других дозах внесения разница численности под различными культурами статистически значима.

Актиномицеты. Так называемые плесневидные бактерии. Относятся к трофической группе амилолитических, но имеют свои особенности, и часто изучаются отдельно [11].

Максимальная численность актиномицетов под посевами гречихи наблюдалась при дозе гранулята 28 т/га (рис. 3), а под посевами гороха и полбы при дозе гранулята 14 т/га.

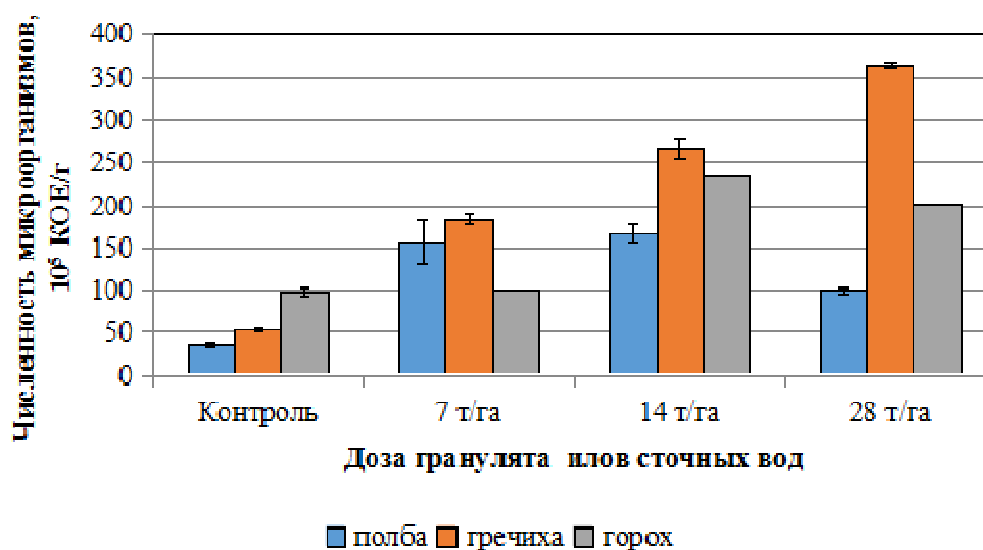


Рис. 3. Численность актиномицетов ($M \pm m$) при разных дозах гранулята илов сточных вод в почве под гречихой посевной (*Fagopyrum esculentum Moench*), горохом посевным (*Pisum sativum L.*) и полбой (*Triticum dicocum L.*).

В нашем исследовании наиболее тесная зависимость между количеством внесенного гранулята и численностью актиномицетов проявилась под посевами гречихи – коэффициент корреляции 0,97. Под горохом взаимосвязь этих двух признаков высокая – коэффициент корреляции 0,73, а в почве под посевами полбы практически отсутствовала – коэффициент корреляции равен 0,27. Хотя в последнем случае, вероятно, просто прослеживалось нормальное распределение численности микроорганизмов: то есть сначала с увеличением дозы илов численность актиномицетов возрастала, а при самых высоких дозах – уменьшалась.

Численность актиномицетов статистически значимо отличалась под посевами разных культур и на контроле, и на других вариантах опыта.

В литературе сведения об изменении численности актиномицетов при внесении в почву илов сточных вод немногочисленны. По данным Т. А. Спасской с соавторами (2021) численность актиномицетов при внесении в дерново-подзолистую почву 15 т/га илов сточных вод увеличивалась примерно в 1,5 раза по сравнению с контролем [9]. В нашем опыте численность актиномицетов при внесении в почву 14 т/га гранулята илов сточных вод увеличилась по сравнению с контролем в 2,5–5 раз. По-видимому, разница объясняется разной длительностью опыта.

Микромицеты. Микромицеты или, по-другому, микроскопические грибы, обладают мощным ферментативным аппаратом и способны к деструкции даже трудноразлагаемых органических остатков. Увеличение численности микромицетов при внесении в почву большого количества органических остатков является вполне закономерным. Например, при внесении в почву биоугля из илов сточных вод численность микромицетов увеличивается по сравнению с контролем [14].

В проведенном нами опыте при внесении в почву илов сточных вод, не подвергнутых пиролизу, численность микроскопических грибов также увеличилась по сравнению с контролем (рис. 4).

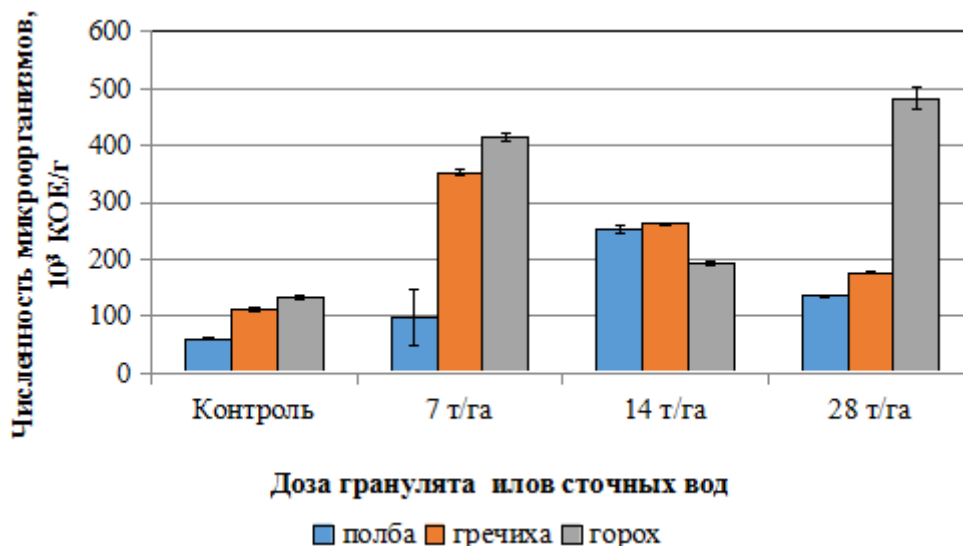


Рис. 4. Численность микромицетов ($M \pm m$) при разных дозах гранулята илов сточных вод в почве под гречихой посевной (*Fagopyrum esculentum Moench*), горохом посевным (*Pisum sativum L.*) и полбой (*Triticum dicoccum L.*).

Однако численность микромицетов достигла максимальных значений при разных дозах илов сточных вод под посевами разных культур: под посевами гороха – при 28 т/га, под посевами полбы – при 14 т/га, под посевами гречихи – при 7 т/га (рис. 4).

Под посевами гороха наблюдалась средняя прямая зависимость между дозой гранулята и численностью микроскопических грибов – коэффициент корреляции

равен 0,68, под посевами полбы зависимость слабая (коэффициент 0,44), под посевами гречихи – отсутствует (коэффициент 0,003).

Численность микромицетов под посевами разных культур статистически значимо отличалась как на контроле, так и при внесении разных доз гранулята.

Автохтонные микроорганизмы. Трофическая группа почвенных микроорганизмов, способных разлагать гумусовые соединения. Обычно их численность увеличивается в условиях дефицита легкоразлагаемого органического вещества [15]

Полученные нами результаты представлены на рис. 5. Численность автохтонных микроорганизмов под посевами гороха последовательно возрастала с увеличением дозы илов сточных вод. Максимальная численность наблюдалась при внесении илов в количестве 28 т/га. Под посевами гороха корреляционная зависимость между численностью автохтонных микроорганизмов и дозой илов высокая (коэффициент корреляции равен 0,87).

Под посевами полбы и гречихи максимальная численность автохтонных микроорганизмов наблюдалась при дозе илов 7 га, а корреляция между численностью и количеством внесенных илов или отсутствовала, или была слабой (коэффициент соответственно 0,01 и 0,35).

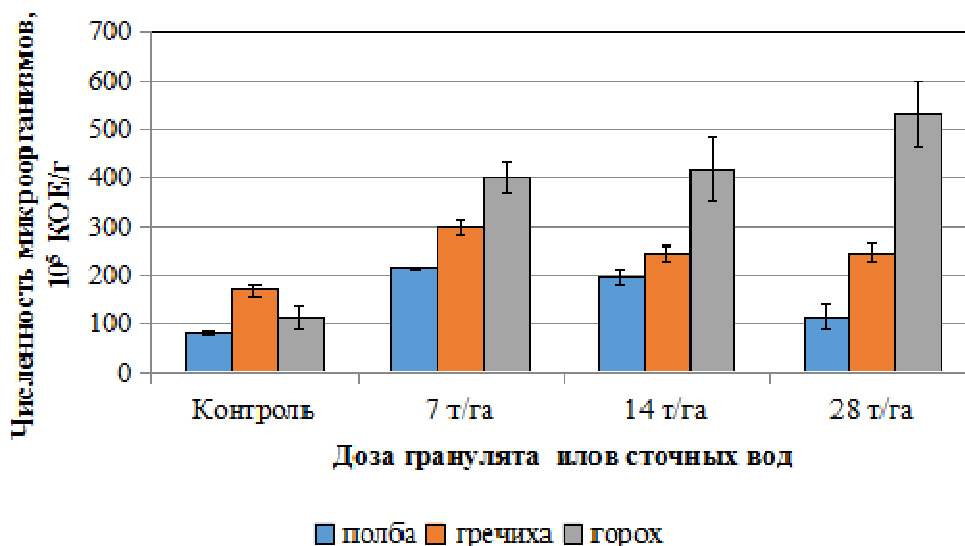


Рис. 5. Численность автохтонных микроорганизмов ($M \pm m$) при разных дозах гранулята илов сточных вод в почве под гречихой посевной (*Fagopyrum esculentum Moench*), горохом посевным (*Pisum sativum L.*) и полбой (*Triticum dicoccum L.*).

Такая разница в изменении численности автохтонных микроорганизмов под посевами разных культур может объясняться в свою очередь неоднородностью самой трофической группы, включающей все же отличающиеся по некоторым свойствам группы микроорганизмов [15]. По-видимому, под посевами бобовой культуры преобладали одни представители этой трофической группы, а под полбой

и гречихой – другие.

Коэффициент минерализации/иммобилизации. Коэффициент минерализации-иммобилизации рассчитывается как соотношение численности амилотических почвенных микроорганизмов к аммонифицирующим [11].

Проведенные исследования показывают, что самый высокий коэффициент минерализации/иммобилизации наблюдается на контроле под посевами полбы и гречихи (рис. 6). Здесь коэффициент минерализации/иммобилизации превышает единицу, что, согласно Е. Н. Мишустину, говорит о преобладании процессов иммобилизации азота в почве [11]. На всех остальных вариантах коэффициент минерализации/иммобилизации меньше единицы, что свидетельствует о преобладании процессов минерализации азота. Интересно, что коэффициент минерализации на контроле под посевами гороха также меньше единицы, что подтверждает версию о дополнительном поступлении азота в почву под бобовыми культурами.

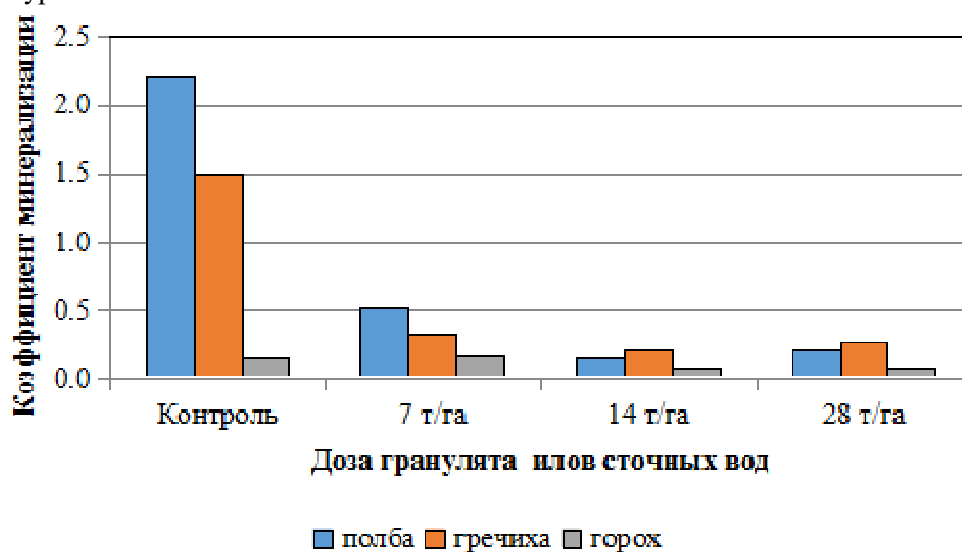


Рис. 6. Коэффициент минерализации/иммобилизации при разных дозах гранулята илов сточных вод в почве под гречихой посевной (*Fagopyrum esculentum Moench*), горохом посевным (*Pisum sativum L.*) и полбой (*Triticum dicoccum L.*).

Считается, что при соотношении в почве или субстрате C:N равном 20–25 процессы минерализации/иммобилизации находятся в равновесии, при увеличении соотношения преобладают процессы иммобилизации, при уменьшении соотношения – минерализации [15]. В нашем опыте дополнительное поступление азота за счет деятельности азотфиксирующих бактерий могло вызвать усиление процессов минерализации под посевами гороха даже без внесения илов сточных вод.

Под посевами полбы и гречихи при внесении гранулята илов сточных вод произошло изменение баланса двух противоположных процессов – иммобилизация сменилась минерализацией. По-видимому, это обусловлено поступлением азота с

илами сточных вод и изменением соотношения C:N.

Под посевами гороха процесс минерализации усилился при дозах илов сточных вод 14т/га и 28 т/га.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Размах колебаний общей численности микроорганизмов на контроле под воздействием различных культур и их симбиотических бактерий превышал изменения общей численности микроорганизмов в результате внесения гранулята илов бытовых сточных вод в дозах 7, 14 и 28 т/га. Это позволяет говорить об отсутствии негативного воздействия илов на общую численность микробного сообщества почв.

Численность трофических групп микроорганизмов при внесении различных доз илов изменялась по-разному под посевами полбы, гречихи и гороха. Особенности развития отдельных трофических групп микроорганизмов под посевами гороха, по-видимому, связаны с наличием у бобовых культур симбиотических азотфиксирующих бактерий и поступлением в почву дополнительных количеств азотсодержащих соединений.

В целом численность амилотических и автохтонных микроорганизмов, актиномицетов и микромицетов при внесении в почву гранулята илов сточных вод увеличивалась, хотя максимальная численность микроорганизмов под тремя разными культурами наблюдалась при разных дозах.

Внесение в серую лесную почву гранулята илов сточных вод привело к усилению процессов минерализации азота под всеми культурами, но в разной степени.

Изучение возможностей безопасного использования илов сточных вод в сельском хозяйстве должны быть продолжено.

Список литературы

1. Плеханова И. О. Степень самоочищения агродерново-подзолистых супесчаных почв, удобренных осадком сточных вод / И. О. Плеханова // Почвоведение. – 2017. – №4. – С. 506–512.
2. Чекаев Н. П. Изменение свойств чернозема выщелоченного под действием компостов из осадков сточных вод / Н. П. Чекаев // Нива Поволжья. – 2010. – № 1 (14). – С. 31–34.
3. Касатиков В. А. Последствие осадка городских сточных вод и действие торфогуминового удобрения на урожайность и макроэлементный состав яровой / В. А. Касатиков, Н. П. Шабардина, В. А. Раскатов // Плодородие. – 2019. – № 1 (106). – С. 44–46.
4. Чепрунова Ю. В. Влияние осадка сточных вод на урожайность сена овса при биологической рекультивации полигона твердых коммунальных отходов / Ю. В. Чепрунова, А. В. Тиньгаев, Р. П. Воробьева, В. Б. Шепталов, А. С. Давыдов // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2019. – № 12 (182). – С. 50–56.
5. Смирнова А. В. Использование осадков сточных вод в качестве удобрений / А. В. Смирнова // Матрица научного познания. – 2021. – № 11–1. – С. 76–78.
6. Казеев К. Ш. Биодиагностика почв: методология и методы исследований / К. Ш. Казеев, С. И. Колесников. – Ростов-на-Дону: Изд-во Южного федерального университета, 2012. – 260 с.
7. Гордеева Т. Х. Микрофлора почвы и смешанных бобово-злаковых агроценозов / Т. Х. Гордеева, С. И. Новоселов // Фундаментальные исследования. – 2014. – № 11–1. – С. 99–104.

8. Мосина Л. В. Микробиологическая диагностика состояния системы почва-растение на сенокосах при внесении компостов на основе осадков сточных вод / Л. В. Мосина, Г. Е. Мерзлая // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. – 2010. – № 1. – С. 18–27.
9. Спасская Т. А. Вариабельность почвенной микробиоты дерно-подзолистых супесчаных почв в условиях применения нетрадиционных удобрений / Т. А. Спасская, Ю. В. Леонова, Д. Г. Свириденко, М. В. Тютюнькова // Агропромышленные технологии Центральной России. – 2021. – № 1 (19). – С. 60–64.
10. Яппаров А. Х. Агрехимический и микробиологический мониторинг серой лесной почвы при внесении осадков сточных вод / А. Х. Яппаров, Ш. А. Алиев, И. А. Дегтярева, Т. Х. Ишкаев, М. М. Ильясов, С. Ю. Селивановская // Журнал экологии и промышленной безопасности. – 2010. – № 2 (46). – С. 41–46.
11. Мишустин Е. Н. Микроорганизмы и плодородие почвы / Е. Н. Мишустин. – М.: Изд-во АН СССР, 1956. – 342 с.
12. Звягинцев Д. Г. Биологическая активность почв и шкалы для оценки некоторых ее показателей / Д. Г. Звягинцев // Почвоведение. – 1978. – № 6. – С. 48–54.
13. Бекенова У. С. Изучение микробиологического режима почвы при инокуляции семян люцерны / У. С. Бекенова, М. Б. Жакеева, Ж. Ш. Жумадилова, Е. Ж. Шорабаев, А. К. Саданов // Фундаментальные исследования. – 2014. – № 9–7. – С. 1538–1541.
14. Рязанов С. С. Влияние биоуглей из илов сточных вод на рост растений, почвенные микроорганизмы и содержание азота в серых лесных почвах / С. С. Рязанов, В. И. Кулагина, А. Н. Грачев, Л. М. Сунгатуллина, С. А. Забелкин, Р. Р. Шагидуллин // Принципы экологии. – 2020. – № 4 (38). – С. 54–70.
15. Емцев В. Т. Микробиология / В. Т. Емцев, Е. Н. Мишустин. – М.: Дрофа, 2005. – 445 с.

CHANGES IN THE MICROBIOLOGICAL PROPERTIES OF SOILS DUE TO APPLICATION OF SEWAGE SLUDGE

***Kulagina V. I., Sungatullina L. M., Koltcova T. G., Shagidullin R. R.,
Ryazanov S. S., Andreeva A. A.***

*Research Institute for Problems of Ecology and Mineral Wealth Use of Tatarstan Academy of
Sciences, Kazan, Republic of Tatarstan, Russia
E-mail: viksoil@mail.ru*

One of the most promising ways to dispose of domestic sewage sludge is to introduce them into the soil, provided that this does not harm the ecological state of the soil. The study of the impact of sewage sludge on the microbiological properties of soils is an urgent task, since the microbial community of soils is very sensitive to any changes that occur with the soil. The purpose of this work was to establish the impact of the application of sludge from domestic wastewater in the city of Kazan on the population of trophic groups of microorganisms and the direction of the processes of mineralization/immobilization of nitrogen in the soil. The object of the study was granulated sludge from domestic wastewater (granulate) in the city of Kazan after drying and heat treatment – a dry bulk product that does not contain pathogenic microorganisms. A 42-day vegetative laboratory experiment was carried out with the application of 7 t/ha, 14 t/ha, and 28 t/ha of granulate for sowing three crops: buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench), pea (*Pisum sativum* L.) and farro (*Triticum dicoccum* L.). The dose was calculated so that the content of

heavy metals did not exceed the maximum allowable concentrations in soils. Soil without sewage sludge was used as a control. Determination of populations of microorganisms groups was carried out by sowing dilutions of soil suspensions on dense nutrient media. It is shown that the change in the total number of microorganisms as a result of the sewage sludge granulate application into the soil does not exceed the range of fluctuations in the number under various crops without the introduction of sludge. The total population of microorganisms in the control under pea crops was 56 times higher than under farro crops and 27 times higher than under buckwheat crops. Since sludge was not introduced in the control, the differences are due to the effect of root exudates and symbiotic nitrogen-fixing microorganisms. The total number of microorganisms under the crops of farro and buckwheat increased with an increase in the amount of sewage sludge introduced. The correlation coefficient was 0.78 and 0.88, respectively, which indicates a high relationship between the indicators. There was no significant correlation under pea crops. The maximum total number of microorganisms under pea crops was observed in the control. The number of amyolytic and autochthonous microorganisms, actinomycetes and micromycetes increased when granulated sewage sludge was introduced into the soil, although the maximum number of microorganisms under three different cultures was observed at different doses. The mineralization/immobilization coefficient of nitrogen under different crops differed the most in the control. Under crops of farro and buckwheat, the coefficient was greater than 1, which indicated the predominance of nitrogen immobilization processes. Under pea crops, the coefficient was less than 1, which indicated the predominance of mineralization processes. The reason, apparently, was the additional supply of nitrogen to the soil due to the activity of symbiotic bacteria. The introduction of sewage sludge into the soil led to an increase in the processes of nitrogen mineralization under all crops. Under the crops of farro and buckwheat, after the application of sewage sludge, the balance of two opposite processes changed – immobilization was replaced by mineralization. Apparently, this is due to the influx of nitrogen with sewage sludge and a change in the C:N ratio. Under pea crops, the mineralization process intensified at doses of sewage sludge of 14 t/ha and 28 t/ha.

Keywords: soil, sewage sludge, microorganisms population, trophic groups of microorganisms, mineralization coefficient.

References

1. Plekhanova I. O., The degree of self-purification of agro-podzolic sandy loamy soils fertilized with sewage sludge, *Soil science*, **4**, 506 (2017).
2. Chekaev N. P., Changes in the properties of leached chernozem under the action of composts from sewage sludge, *Niva of the Volga region*, **1 (14)**, 31 (2010).
3. Kasatkov V. A., Shabardina N. P. and Raskatov V. A., The aftereffect of urban sewage sludge and the effect of peat-humic fertilizer on the yield and macroelement composition of spring crops, *Fertility*, **1 (106)**, 44 (2019).
4. Cheprunova Yu. V., Tingaev A. V., Vorobiev R. P., Sheptalov V. B., Davydov A. S. Influence of sewage sludge on the yield of oat hay during biological reclamation of a solid municipal waste landfill, *Bulletin of the Altai State Agrarian University*, **12 (182)**, 50 (2019).
5. Smirnova A. V., The use of sewage sludge as fertilizers, *Matrix of scientific knowledge*, **11-1**, 76 (2021).
6. Kazeev K. Sh., Kolesnikov S. I. *Biodiagnostics of soils: methodology and research methods*. 260. (Publishing House of the Southern Federal University, 2012).

7. Gordeeva T. Kh. and Novoselov S. I. Soil microflora and mixed legume-cereal agrocenoses, *Fundamental research*, **11-1**, 99 (2014).
8. Mosina L. V. and Frozen G. E. Microbiological diagnostics of the state of the soil-plant system in hayfields during the introduction of composts based on sewage sludge, *Proceedings of the Timiryazev Agricultural Academy*, **1**, 18 (2010).
9. Spasskaya T. A., Leonova Yu. V., Sviridenko D. G., Tyutyunkova M. V. Variability of soil microbiota in sod-podzolic sandy loamy soils under the conditions of application of non-traditional fertilizers, *Agro-industrial technologies of Central Russia*, **1 (19)**, 60 (2021).
10. Yapparov A. Kh., Aliev Sh. A., Degtyareva I. A., Ishkaev T. Kh., Ilyasov M. M., Selivanovskaya S. Yu., Agrochemical and microbiological monitoring of gray forest soil during the introduction of sewage sediments, *Journal of Ecology and Industrial Safety*, **2 (46)**, 41 (2010).
11. Mishustin E. N. *Microorganisms and soil fertility*, 342. (Publishing House of the USSR Academy of Sciences, 1956).
12. Zvyagintsev D. G. Biological activity of soils and scales for assessing some of its indicators, *Soil science*, **6**, 48 (1978).
13. Bekenova U. S., Zhakeeva M. B., Zhumadilova Zh. Sh., Shorabaev E. Zh., Sadanov A. K. The study of the microbiological regime of the soil during the inoculation of alfalfa seeds, *Fundamental research*, **9-7**, 1538 (2014).
14. Ryzanov S. S., Kulagina V. I., Grachev A. N., Sungatullina L. M., Zabelkin S. A., Shagidullin R. R. Influence of biochars from sewage sludge on plant growth, soil microorganisms and nitrogen content in gray forest soils, *Principles of ecology*, **4 (38)**, 54 (2020).
15. Emtsev V. T., Mishustin E. N. *Microbiology*. 445 (Drofa, 2005).