Документ подписан простой электронной подписью
Информация о владельце:
ФИО: Махаева Наталья Юрьевна
Должность: Проректор по учебной и воспитательной работе, молодежной политике ФГБОУ ВО "Ярославский ГАУ"
Дата подписания: 02.02.2024 11:01:58
Уникальный программный ключ:
fa349ae3f25a45643d89cfb67187284ea10f48e8

Научная статья
УДК 631.461:631.5:631.8
doi:10.35694/YARCX.2021.55.3.003

МОНИТОРИНГ МИКОБИОТЫ ПОЧВ АГРОЦЕНОЗОВ ЯРОСЛАВСКОЙ ОБЛАСТИ ПРИ РАЗНЫХ СПОСОБАХ ОБРАБОТКИ И ВНЕСЕНИЯ УДРОБРЕНИЙ

И. Я. Колесникова (фото)
канд. биол. наук, доцент, доцент кафедры экологии
ФГБОУ ВО Ярославская ГСХА, г. Ярославль
Л. В. Воронин
д-р биол. наук, доцент, доцент кафедры биологии
и методики обучения биологии
ФГБОУ ВО «Ярославский государственный педагогический университет им. К. Д. Ушинского», г. Ярославль

Мониторинг, агроценозы, система обработки почвы, система удобрений, комплексы почвенных микромицетов

Monitoring, agrocoenosis, soil cultivation system, fertilization system, complexes of soil micromycetes

Согласно современным представлениям, микробиологический (включая микромицеты) мониторинг относится к приоритетным направлениям контроля качества окружающей среды [1; 2].

Для поиска принципов природопользования, прогноза последствий деградации почв и оценки степени их восстановления необходим анализ структуры сообществ почвенных микромицетов естественных и антропогенно изменённых экосистем (техногенных, сельскохозяйственных) [3].

Грибы – ведущие деструкторы растительного опада и отмерших растений. Они продуцируют широкий спектр экзоферментов и имеют развитую мицелиальную сеть в почвах, обладают высокой линейной скоростью роста, способны развиваться при низких температурах вплоть до отрицательных, благодаря чему оказывают большое влияние на формирование и функционирование наземных экосистем, в том числе почвенных.

В современных условиях всё большую силу влияния на биогеоценоз в целом и почвенные грибы в частности оказывают антропогенные факторы. Одним из факторов воздействия на микобиоту служит система сельскохозяйственного использования земель, в частности, культуры севооборота, обработка почвы, количество и вид удобрений, вносимых в неё [4; 5].

В агроэкосистемах микробиологические процессы разложения органических веществ резко интенсифицируются, убыстряя круговорот биогенных элементов. Достигнуть такой интенсификации процессов, осуществляемых почвенными микроорганизмами, можно при создании соответствующих условий. До определённых пределов это может рассматриваться как положительное явление.

Однако такого рода интенсификация в связи с хозяйственной деятельностью человека часто оказывается вредной. Происходит чрезмерно быстрое разрушение органического вещества, превращение

внесённых азотных удобрений в нитраты с последующим их вымыванием в грунтовые воды и реки, развитие процесса денитрификации, приводящего к газообразным потерям азота [6].

Роль различных групп почвенных микроорганизмов в этих процессах изучена недостаточно, в связи с чем нами были проведены исследования динамики видового состава и численности микромицетов в зависимости от основной обработки почвы и фона удобренности.

Материал и методика исследований

Мониторинг состояния микобиоты на опытном поле ФГБОУ ВО Ярославская ГСХА (д. Бекренево, Ярославского района) ведётся с 2005 г. по настоящее время. В статье приведён анализ данных за 2011–2015 гг.

На основании описания почвенного разреза установлено, что почва опытного участка дерново-среднеподзолистая глееватая среднесуглинистая на карбонатной морене. Почва пахотного горизонта содержит в среднем: гумуса – 2,10%, легкодоступного фосфора – 228,5 мг/кг почвы, обменного калия – 74,0 мг/кг почвы, гидролитическая кислотность – 1,52 мг-экв. на 100 г почвы, pH солевой вытяжки – 6,32.

Многолетний опыт заложен методом расщеплённых делянок с рендомизированным размещением вариантов в повторениях. Схема трёхфакторного (4 х 6 х 2) опыта включает 48 вариантов.

Почвенные микромицеты исследовались на вариантах с отвальной (ежегодная вспашка на 20–22 см с предварительным лущением на 8–10 см) и поверхностно-отвальной (вспашка на 20–22 см с предварительным лущением на 8–10 см 1 раз в 4 года + однократная поверхностная обработка на 6–8 см в остальные 3 года) системами обработки на фонах «Без удобрений» и «Солома 3 т/га + NPK» (действие и последействие соломы + экологически допустимые нормы минеральных удобрений, рассчитанные на планируемую прибавку урожая). Весной 2013 года проведена вспашка, в предыдущие и последующие два года – поверхностная обработка.

Выращивались: в 2011 году – вика полевая Ярославская 136 и овёс посевной Лев; в 2012 году – ячмень яровой Эльф; в 2013 году – рапс яровой Ратник; в 2014 году – рожь озимая Татьяна; в 2015 году – ячмень яровой Нур.

Почвенные образцы отбирались с глубины 0–10 см и 10–20 см, так как горизонты почвы разнородны по наличию питательных веществ и поступлению кислорода. Контролем являлся вариант с отвальной системой обработки почвы без внесения удобрений.

Для сравнения были проведены фрагментарные исследования микобиоты естественных биоценозов в перелеске между опытными полями, а также на грунтовой дороге (2014 г.).

Образцы почвы для определения микологических характеристик (видовой состав, частота встречаемости, численность) отбирались в период вегетации растений (июнь). Анализ образцов включал разведение, посев, учёт грибов на твёрдых питательных средах с добавлением антибиотиков и их выделение в чистые культуры.

Результаты исследований

Всего за период мониторинговых наблюдений нами выявлено 22 рода (*Mortierella, Mucor, Rhizopus* из отдела Zygomycota, *Acremonium, Alternaria, Aspergillus, Aureobasidium, Byssochlamys, Botrytis, Cladosporium, Cylindrocarpon, Emericellopsis, Fusarium, Gliocladium, Neosartorya, Penicillium, Phialophora, Phoma, Stemphylium, Trichoderma, Trichothecium, Verticillium* – анаморфные формы аскомицетов) и 101 вид микроскопических грибов.

Для выявления качественного состава микобиоты почв, характеризуя их различия и сходства, удобнее пользоваться термином «комплексы грибов» [7; 8]. Он позволяет избежать недопонимания при анализе на видовом уровне, когда близкородственные по таксономическому и функционально-физиологическому положению виды сменяют друг друга.

Для выявления комплекса типичных видов нами были использованы показатели пространственной встречаемости и массовости (обилия); рассчитан индекс значимости (ИЗ) грибов в ранге рода для пахотного горизонта почвы. ИЗ рассчитывается как сумма относительной частоты встречаемости и относительного обилия вида (рода); его максимально возможное значение равно 2,0 [9].

Состав доминирующей группы в целом за время исследования почвы опытного поля почти не изменялся – доминировали виды рода *Penicillium*. В зоне дерново-подзолистых почв преобладают именно они над другими видами (ИЗ равен 0,40–1,08, в некоторых вариантах в 2011 г. и 2015 г. ИЗ был 0,14–0,37). Кроме разных видов рода *Penicillium* типичными для дерново-подзолистых почв, согласно Т. Г. Мирчинк (1988), считаются виды родов *Mortierella, Chrysosporium, Verticillium, Trichoderma, Mucor, Paecilomyces* [10].

Наши исследования показали, что в дерново-подзолистой почве агроценозов типичным является несколько другой комплекс грибов. Это может говорить о том, что не только тип почвы влияет на видовой состав почвенной микобиоты, но и культуры, возделываемые на ней, а также применяемые агроприёмы. И влияние последних факторов

на распространение и доминирование существенно.

Например, среди обнаруженных грибов рр. *Fusarium, Aspergillus*, *Cladosporium, Verticillium* могут встречаться фитопатогены, которые обнаруживаются как при выращивании зерновых культур, так и при возделывании викоовсяной смеси (2011 г.) и рапса (2013 г.), попадая с внесённой в почву соломой.

Помимо пенициллов в число содоминантов в комплексах микромицетов входят зигомицетовые сапротрофы: *Rhizopus nigricans* Ehrenb., *Mucor hiemalis* Wehmer и др., виды рода *Mortierella.* Они сменяются по годам: в обычные по температурным условиям и влажности годы преобладают мукоры (ИЗ 0,10–0,24), в годы с повышенным температурным режимом – ризопусы (ИЗ 0,82–1,24) и виды рода *Mortierella* (ИЗ 0,17–0,29).

Довольно часто в комплексах микромицетов значительную роль играют виды рр. *Trichoderma,* обычно *T. viride* Pers. (ИЗ 0,04–0,96), *Cladosporium* (0,06–0,58), *Phialophora* (0,04–0,20), *Acremonium* (0,05–0,09), *Phoma* (0,04–0,10), *Fusarium* (0,04–0,32) и реже другие.

Следует отметить практически ежегодную встречаемость видов р. *Aspergillus* (ИЗ 0,06–0,17), характерных для почв более южных регионов. Значительное место грибов этого рода в комплексах микромицетов показал сравнительный анализ видового разнообразия исследуемых агроценозов с расположенными на прилежащей территории естественным (перелесок) и антропогенно изменённым (дорога) биоценозами. В почве, отобранной в перелеске, ИЗ варьировал в диапазоне 0,17–1,25; в почве грунтовой дороги был равен 1,32. Отмечено, что в целом комплексы грибов перелеска отличаются более богатым, а дороги – более бедным видовым составом, но с теми же доминантами.

Известно, что некоторые грибы не образуют никакого спороношения, или оно у них встречается очень редко. В цикле их развития имеются только вегетативный мицелий и склероции, т.е. их можно зафиксировать как стерильные мицелии. В почве опытного участка они отмечены почти во всех вариантах, преимущественно в верхнем слое почвы.

Для оценки таксономического разнообразия микромицетов в изучаемых вариантах опыта были рассчитаны индекс биоразнообразия Шеннона и индекс выравненности экологических сообществ Пиелу (табл. 1).

При поверхностно-отвальной системе обработки наиболее низкие значения индекса Шеннона получены в год вспашки (2013 г.) и последующий за ней год. По всей видимости, вспашка, проведённая после четырёх лет поверхностной обработки с одновременным запахиванием соломы, резко изменила условия существования грибов, в результате чего образовалось новое «стрессовое» медленно развивающееся сообщество микромицетов, которое характеризовалось низким уровнем разнообразия два года подряд.

Индекс Пиелу, который рассчитывается на основе индекса Шеннона и изменяется от 0 до 1, равным единице получается при равнозначном обилии всех видов [11; 12]. В вариантах с поверхностно-отвальной системой обработки в рассматриваемые два года он самый низкий, что свидетельствует о сильном доминировании определённой группы микромицетов в комплексе (рр. *Rhizopus, Penicillium*) и малом количестве редких видов.

Наряду с мониторингом видового состава почвенных грибов проводился учёт их численности.

На вариантах с ежегодной вспашкой численность КОЕ микромицетов была более низкой по сравнению с системой поверхностно-отвальной

Таблица 1 – Индексы биологического разнообразия почвенных грибов в вариантах опыта по годам

Год	Вариант							
	Отвальная, без удобрений		Отвальная, солома 3 т/га + NPK		Поверхностно-отвальная, без удобрений		Поверхностно-отвальная, солома 3 т/га + NPK	
	Индекс биоразнообразия							
	ИШ	*ИП*	*ИШ*	*ИП*	*ИШ*	*ИП*	*ИШ*	ИП
2011	1,33	0,74	1,39	0,78	1,30	0,73	1,32	0,74
2012	1,35	0,62	1,47	0,76	1,31	0,63	1,65	0,72
2013	1,44	0,69	1,71	0,65	0,89	0,50	0,83	0,40
2014	1,23	0,56	0,76	0,43	0,88	0,49	0,35	0,19
2015	2,27	0,80	2,07	0,86	2,36	0,89	2,23	0,87

Примечание: ИШ – Индекс Шеннона; ИП – Индекс Пиелу (выравненность Пиелу).

обработки (рис. 1, 2). Это можно объяснить тем, что при вспашке плугом с оборотом пласта слои неравномерно перемешиваются, и численность грибов не успевает восстанавливаться. Ежегодное глубокое переворачивание пластов почвы нарушает вертикальную структуру комплексов почвенных микромицетов, и некоторые грибы, характерные не для начальных, а для более поздних

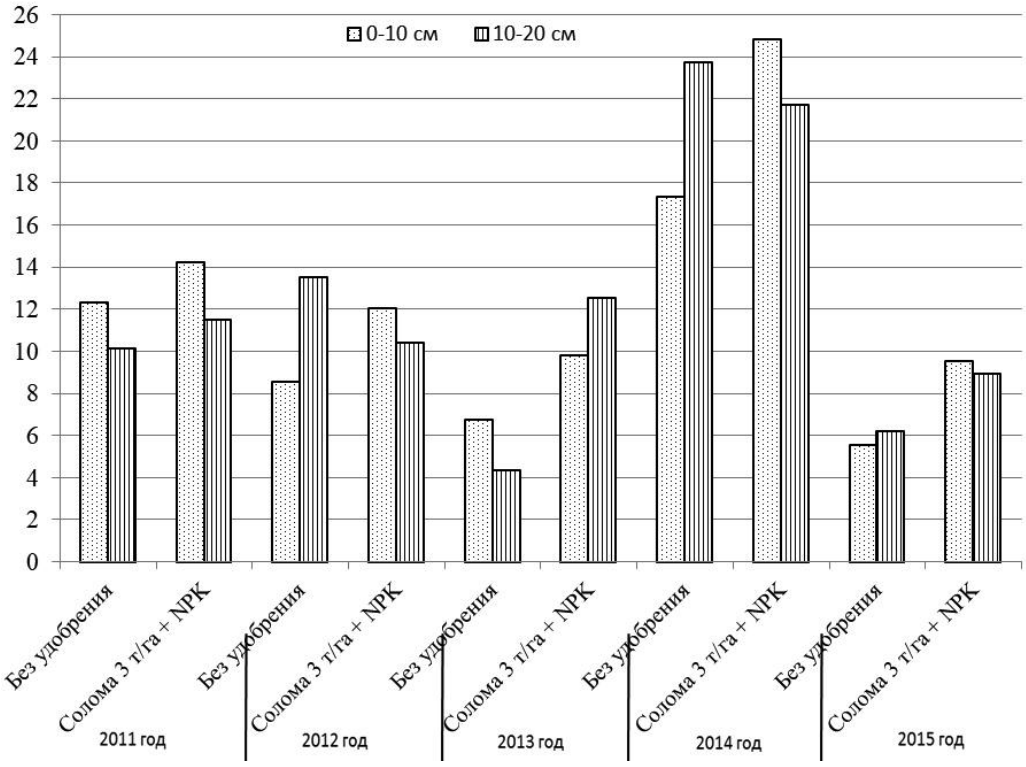

Рисунок 1 – Численность диаспор грибов при отвальной системе обработки почвы (тыс. КОЕ в 1 г воздушно-сухой почвы)

этапов сукцессии, оказываются в поверхностном слое почвы (например, такие как *Phialophora, Fusarium*) [4].

Подобное снижение КОЕ грибов, особенно на неудобренном фоне, отмечено в год вспашки и при поверхностно-отвальной системе обработки, что также можно связать с более существенной перестройкой комплексов за счёт перемещения видов, обитающих в разных по глубине слоях почвы (рис. 2).

В целом наблюдается несколько особенностей изменения численности, выявленных при обеих системах основной обработки почвы.

1) Численность КОЕ почвенных грибов в слое 0–10 см в основном выше, чем в слое 10–20 см, что можно объяснить созданием более благоприятных условий для положительно реагирующих на улучшение аэрации видов – представителей родов *Mucor, Rhizopus, Penicillium* и др. Однако в отдельных вариантах в разные годы отмечено превышение численности грибов в слое 10–20 см по сравнению со слоем 0–10 см, чаще на фоне без удобрений.

2) Стабильно численность возрастала с применением удобрений. Запаханная на глубину пахотного слоя солома с минеральными удобрениями, являясь хорошим питательным субстратом, на большинстве вариантов привела к увеличению количества грибов как в верхнем, так и нижнем слоях почвы.

3) Значительное повышение КОЕ грибов в почвенных образцах 2014 года связано с внешними условиями периода отбора проб, когда температура воздуха была на 1–2°С выше средней многолетней, максимальная температура повышалась до 28–31°С, в сумме за месяц выпало 110–120% месячной нормы осадков. Данные условия оказались благоприятными для массового развития определённых видов грибов (*Rhizopus sp., Aspergillus sp.* и др.).

Выводы

При сельскохозяйственном использовании земель очень важно оценивать разнообразие, численность и динамику патогенных и факультативно-патогенных видов, вызывающих заболевания

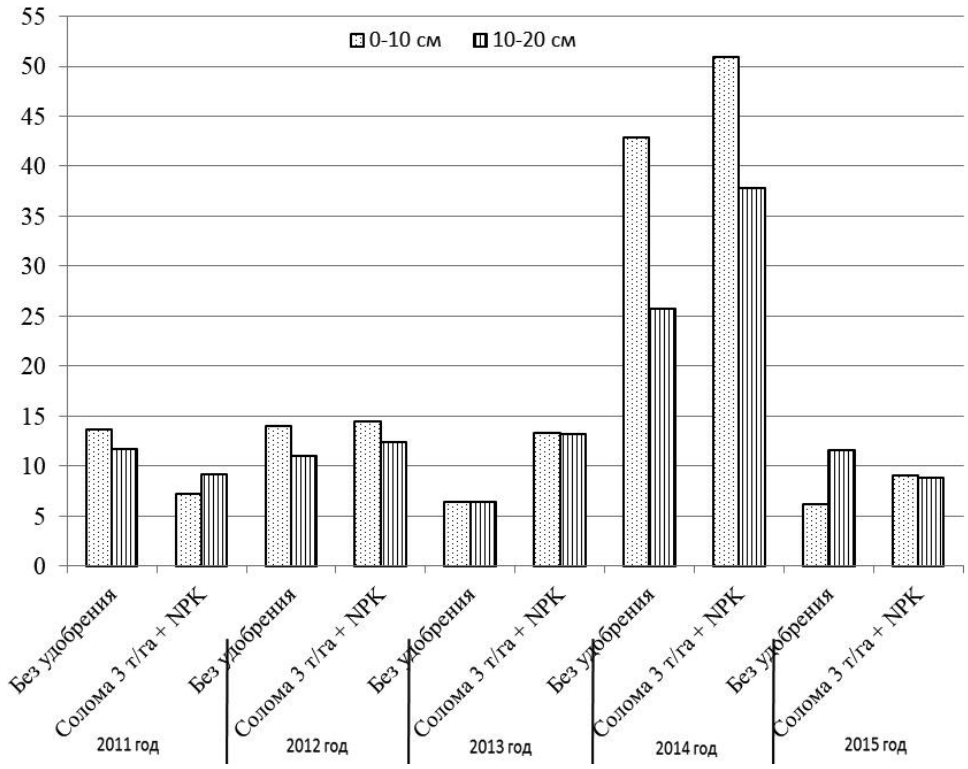

Рисунок 2 – Численность диаспор грибов при поверхностно-отвальной системе обработки почвы (тыс. КОЕ в 1 г воздушно-сухой почвы)

растений, что делается нами более 10 лет [13].

Результаты мониторинговых наблюдений показали, что значительным числом видов представлены факультативно фитопатогенные грибы (рр. *Alternaria, Cladosporium, Fusarium, Phoma, Phialophora, Verticillium*), способные как к сапротрофному развитию на растительных остатках, так и к активному поражению растений. Однако их встречаемость и численность не проявляют чёткой зависимости от таких факторов, как система обработки почвы и система удобрений.

Кроме того, при микологическом мониторинге почвы агрофитоценозов важно учитывать не только общую численность и разнообразие микромицетов и фитопатогенных видов, но и оценивать безопасность почвы для человека, анализируя распространение оппортунистических (потенциально-патогенных) видов. Проведённый нами анализ этой группы микромицетов показал незначительное число потенциально-патогенных грибов в исследуемой почве и отсутствие закономерности их распространения [14].

Список источников

1. Терехова, В. А. Микромицеты в экологической оценке водных и наземных экосистем / В. А. Терехова. – Москва : Наука, 2007. – 214 с. – ISBN 5-02-034200-9. – Текст : непосредственный.

2. Марфенина, О. Е. Микологический мониторинг почв: возможности и перспективы / О. Е. Марфенина. – Текст : непосредственный // Почвоведение. – 1994. – № 1. – С. 75–80. – ISSN 0032-180X.

3. Хабибулина, Ф. М. Почвенная микобиота естественных и антропогенно нарушенных экосистем северо-востока Европейской части России : специальность 03.00.16 экология : автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора биологических наук / Флюза Мубараковна Хабибулина ; Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения РАН. – Сыктывкар, 2009. – 40 с. – Текст : непосредственный.

4. Воронин, Л. В. Инициированные комплексы почвенных грибов в агроценозах / Л. В. Воронин, И. Я. Колесникова. – Текст : непосредственный // Ярославский педагогический вестник. Т. III (Естественные науки). – 2012. – № 1. – С. 90–93. – ISSN 1813-145X.

5. Колесникова, И. Я. Использование комплексов почвенных микромицетов в качестве параметра биомониторинга сельскохозяйственных земель / И. Я. Колесникова. – Текст : непосредственный // Достижения науки агропромышленному комплексу : сборник научных трудов. – Кинель : Изд-во Самарская государственная сельскохозяйственная академия, 2014. – С. 106–110.

6. Звягинцев, Д. Г. Биология почв / Д. Г. Звягинцев, И. П. Бабьева, Г. М. Зенова. – 3-е изд., испр. и доп. – Москва : Изд-во МГУ, 2005. – 445 с. – ISBN 5-211-04983-7. – Текст : непосредственный.

7. Борисова, В. Н. Гифомицеты лесной подстилки в различных экосистемах / В. Н. Борисова. – Киев : Наукова думка, 1988. – 251 с. – ISBN 5-12-001147-0. – Текст : непосредственный.

8. Воронин, Л. В. Микобиота малых озер тундровой и лесной зон : монография / Л. В. Воронин. – Ярославль : Изд-во ЯГПУ, 2010. – 156 с. – ISBN 978-5-87555-342-4. – Текст : непосредственный.

9. Suberkropp, K. Fungi and bacteria associated with leaves during processing in a woodland stream / K. Suberkropp, M. J. Klug. – Text : unmediated // Ecology. – 1976. – Vol. 57, № 4. – P. 707–719.

10. Мирчинк, Т. Г. Почвенная микология / Т. Г. Мирчинк. – Москва : Изд-во МГУ, 1988. – 220 с. – ISBN 5-211-00157-5. – Текст : непосредственный.

11. Pielou, E. C. Shannon's formula as a measure of specific diversity: its use and misuse / E. C. Pielou. – Text : unmediated // The American Naturalist. – 1966. – Vol. 100, № 914. – P. 463–465.

12. Мэгарран, Э. Экологическое разнообразие и его измерение / Э. Мэгарран. – Москва : Мир, 1992. – 184 с. – ISBN 5-03-002404-2. – Текст : непосредственный.

13. Колесникова, И. Я. Влияние биопестицидов на комплексы почвенных микромицетов в агроценозах / И. Я. Колесникова, Л. В. Воронин. – Текст : непосредственный // Экосистемы. – 2019. – Выпуск 18. – С. 97–107. – ISSN 2414-4738.

14. Воронин, Л. В. Оппортунистические почвообитающие микромицеты при мониторинговом анализе агроценозов / Л. В. Воронин, И. Я. Колесникова. – Текст : непосредственный // Вестник АПК Верхневолжья. – 2020. – № 1 (49). – С. 27–31. – ISSN 1998-1635.

References

1. Terekhova, V. A. Mikromicety v jekologicheskoj ocenke vodnyh i nazemnyh jekosistem / V. A. Terekhova. – Moskva : Nauka, 2007. – 214 s. – ISBN 5-02-034200-9. – Tekst : neposredstvennyj.

2. Marfenina, O. E. Mikologicheskij monitoring pochv: vozmozhnosti i perspektivy / O. E. Marfenina. – Tekst : neposredstvennyj // Pochvovedenie. – 1994. – № 1. – S. 75–80. – ISSN 0032-180X.

3. Khabibulina, F. M. Pochvennaja mikobiota estestvennyh i antropogenno narushennyh jekosistem severo-vostoka Evropejskoj chasti Rossii : special'nost' 03.00.16 jekologija : avtoreferat dissertacii na soiskanie uchenoj stepeni doktora biologicheskih nauk / Flyuza Mubarakovna Khabibulina ; Institut biologii Komi nauchnogo centra Ural'skogo otdelenija RAN. – Syktyvkar, 2009. – 40 s. – Tekst : neposredstvennyj.

4. Voronin, L. V. Iniciirovannye kompleksy pochvennyh gribov v agrocenozah / L. V. Voronin, I. Ya. Kolesnikova. – Tekst : neposredstvennyj // Jaroslavskij pedagogicheskij vestnik. T. III (Estestvennye nauki). – 2012. – № 1. – S. 90–93. – ISSN 1813-145X.

5. Kolesnikova, I. Ya. Ispol'zovanie kompleksov pochvennyh mikromicetov v kachestve parametra biomonitoringa sel'skohozjajstvennyh zemel' / I. Ya. Kolesnikova. – Tekst : neposredstvennyj // Dostizhenija nauki agropromyshlennomu kompleksu : sbornik nauchnyh trudov. – Kinel' : Izd-vo Samarskaja gosudarstvennaja sel'skohozjajstvennaja akademija, 2014. – S. 106–110.

6. Zvyagintsev, D. G. Biologija pochv / D. G. Zvyagintsev, I. P. Bab'eva, G. M. Zenova. – 3-e izd., ispr. i dop. – Moskva : Izd-vo MGU, 2005. – 445 s. – ISBN 5-211-04983-7. – Tekst : neposredstvennyj.

7. Borisova, V. N. Gifomicety lesnoj podstilki v razlichnyh jekosistemah / V. N. Borisova. – Kiev : Naukova dumka, 1988. – 251 s. – ISBN 5-12-001147-0. – Tekst : neposredstvennyj.

8. Voronin, L. V. Mikobiota malyh ozer tundrovoj i lesnoj zon : monografija / L. V. Voronin. – Jaroslavl' : Izd-vo JaGPU, 2010. – 156 s. – ISBN 978-5-87555-342-4. – Tekst : neposredstvennyj.

9. Suberkropp, K. Fungi and bacteria associated with leaves during processing in a woodland stream / K. Suberkropp, M. J. Klug. – Text : unmediated // Ecology. – 1976. – Vol. 57, № 4. – P. 707–719.

10. Mirchink, T. G. Pochvennaja mikologija / T. G. Mirchink. – Moskva : Izd-vo MGU, 1988. – 220 s. – ISBN 5-211-00157-5. – Tekst : neposredstvennyj.

11. Pielou, E. C. Shannon's formula as a measure of specific diversity: its use and misuse / E. C. Pielou. – Text : unmediated // The American Naturalist. – 1966. – Vol. 100, № 914. – P. 463–465.

12. Mehgarran, Eh. Jekologicheskoe raznoobrazie i ego izmerenie / Eh. Mehgarran. – Moskva : Mir, 1992. – 184 s. – ISBN 5-03-002404-2. – Tekst : neposredstvennyj.

13. Kolesnikova, I. Ya. Vlijanie biopesticidov na kompleksy pochvennyh mikromicetov v agrocenozah / I. Ya. Kolesnikova, L. V. Voronin. – Tekst : neposredstvennyj // Jekosistemy. – 2019. – Vypusk 18. – S. 97–107. – ISSN 2414-4738.

14. Voronin, L. V. Opportunisticheskie pochvoobitajushhie mikromicety pri monitoringovom analize agrocenozov / L. V. Voronin, I. Ya. Kolesnikova. – Tekst : neposredstvennyj // Vestnik APK Verhnevolzh'ja. – 2020. – № 1 (49). – S. 27–31. – ISSN 1998-1635.