

УДК:57.083.1:431.427.2 (476.2-37 Хойники)

Основные физиологические группы микроорганизмов торфяной почвы зоны отчуждения ЧАЭС

Е.А. ТАНКЕВИЧ¹, И.И. КОНЦЕВАЯ², А.Н. НИКИТИН¹

В работе исследуется численность основных физиологических групп микроорганизмов в составе торфяной почвы зоны отчуждения Чернобыльской АЭС. Установлено, что торфяная почва пробного участка I характеризуется большей степенью обогащенности почвы микроорганизмами. Это связано, во-первых, с повышенным содержанием воды (коэффициент влажности – 57,41 %) в образце торфа пробного участка I, что способствует быстрому росту микробонаселения почвы, во-вторых, определяется большим количеством корней растений. Наиболее чувствительными к ионизирующему излучению являются эукариотические микроорганизмы – микромицеты, что наблюдалось в обоих опытных вариантах.

Ключевые слова: почвенные ассоциации микроорганизмов, радиоактивное загрязнение, зона отчуждения Чернобыльской АЭС.

The quantitative analysis of main physiological groups of soil microorganisms in the peat soil from exclusion zone of the Chernobyl NPP is presented in the article. It was found that the peat soil of the test site I is characterized by a higher degree of soil enrichment with microorganisms. This is due, firstly, to the increased water content (humidity coefficient – 57,41 %) in the sample of peat of the test site I, which contributes to the rapid growth of soil microbopulation, and secondly, is determined by a large number of plant roots. The most sensitive to ionizing radiation are eukaryotic microorganisms-micromycetes, which was observed in both experimental variants.

Keywords: associations of soil microorganism, radioactive contamination, exclusion zone of Chernobyl NPP.

Введение. Основными источниками радиоактивного загрязнения почвенно-растительного покрова являются глобальные радиоактивные выпадения из атмосферы долгоживущих радионуклидов после ядерных испытаний, а также выбросы техногенных радионуклидов, связанные с работой промышленных предприятий, аварий на АЭС. Загрязнение системы «почва-растение» различными химическими веществами, а главным образом твердыми, жидкими и газообразными отходами промышленности, продуктами топлива и т. д. приводит к изменению химического состава почв.

Почва является средой обитания микроорганизмов. Количественный и качественный состав микрофлоры различных почв значительно колеблется в зависимости от химического состава почвы, ее физических свойств, реакции, влагоемкости, степени аэрации. Существенно влияют также климатические условия, время года, способы сельскохозяйственной обработки почвы, характер растительного покрова и многие другие факторы [1]. Микрофлора играет важную роль в преобразовании физико-химического состояния радионуклидов в почве. В зависимости от типа почвы, а, соответственно, и населяющего его микробоценоза, эти процессы могут как ускоряться, так и тормозиться. Данный вопрос требует комплексного подхода, с организацией долгосрочного мониторинга. Тем не менее, в этом направлении получены данные. В частности, был изучен качественный и количественный состав бактерий в различных экосистемах зоны отчуждения ЧАЭС. Было установлено, что селективный стресс длительного действия ядерной радиации на почвенные бактерии в зоне ЧАЭС проявился как изменение их качественного и количественного состава [2].

Цель работы: выявить количественный состав основных физиологических групп микроорганизмов в торфяной почве зоны отчуждения Чернобыльской АЭС.

Материал и методы исследований. Объектом исследования явилась загрязненная радионуклидами торфяная почва. Отбор почвенных образцов проводили в июле 2020 г. согласно стандартным методикам [3] на двух площадках: 1) бывшего населенного пункта Масаны (М-3) (Гомельская область, Беларусь, Полесский государственный радиационный экологиче-

ский заповедник) и 2) урочище Майдан (Ma-1), отличающихся по степени загрязненности радионуклидами. Географические координаты и радиационная характеристика пробных участков представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Географические координаты и радиационная характеристика пробных участков

Номер образца почвы (шифр пробной площади)	Координаты		МЭД, мкЗв·ч ⁻¹	
	Широта	Долгота	На поверхности	На расстоянии 1 м от поверхности
I (M-3)	51° 30' 23,9''	30° 01' 22,7''	9,60 ± 0,96	7,50 ± 0,90
II (Ma-1)	51°30'47,5"	30°01'10,3"	1,90 ± 0,29	1,30 ± 0,20

Фитоценоз пробной площадки M-3 (рисунок 1, а) – сосняк мшистый, почва торфяная. Древостой составляет сосна обыкновенная высотой 20 м, возраст 70 лет. В подростово-подлесочном ярусе довольно часто встречается дуб, крушина встречается реже, рябина – единично. Подрост сосны отсутствует. Проективное покрытие живого напочвенного покрова составляет 60 % площади пробного участка. Доминирующий вид – мох Шребера (*Pleurozium schreberi*). Довольно часто встречается мох Дикранум многоножковый (*Dicranum polysetum*).

Фитоценоз пробной площадки Ma-1 (рисунок 1, б) – черноольшаник крапивный с примесью дуба, крушины. Проективное покрытие живого напочвенного покрова составляет 90 % площади пробного участка. Почва торфянисто-подзолистая, глеевая.



а



б

Рисунок 1 – Общий вид пробных площадей: а – M-3, б – Ma-1

Агрохимические показатели почв исследуемых участков представлены в таблице 2. Определение показателей в почвенных образцах осуществляли по ГОСТам [4]–[10].

Как видно из таблицы 2, по степени кислотности исследуемые почвы относятся к сильнонокислым (рН в KCl равна 3,5–3,89). Необходимо отметить, что почвенная кислотность неблагоприятна для развития растений и микроорганизмов, плодородия почвы, что обусловлено недостатком кальция, изменением доступности для растений элементов питания, ухудшением физических свойств почвы [11].

Таблица 2 – Агрохимические показатели почв

Агрохимические показатели почвы, единицы измерения	Номер участка	
	I	II
рН (в KCl), ед.	3,89	3,5
Ca (обм), ммоль/100 г	10	12,5
Ca (обм), млн ⁻¹ (мг/кг)	2004	2505
Mg (обм, подв.), ммоль/100 г	4,38	5,00
Mg (обм, подв.), млн ⁻¹ (мг/кг)	532	608
P ₂ O ₅ (подв), млн ⁻¹ (мг/кг)	183	175
Зольность, %	48,73	32,42
S, сумма поглощённых оснований, ммоль/100 г	13,6	14,8
Hг, гидролитическая кислотность, ммоль/100 г	45,9	32,8
T, ёмкость поглощения, ммоль/100 г	59,5	47,6
V, степень насыщенности почв основаниями, %	22,86	31,09

Образцы почвы пробных участков по содержанию обменного кальция относятся к группе с низким (участок I) и средним (участок II) содержанием. Наличие обменного магния в почвенных образцах I и II (532 мг/кг и 608 мг/кг, соответственно) является избыточным. Почвы участка I и II имеют высокое содержание подвижных форм фосфора (183 мг/кг и 175 мг/кг). По степени зольности почвы обоих участков относятся к высокозольным (48,73 % и 32,42 % соответственно). По сумме поглощенных оснований оба образца почвы характеризуются средним уровнем (13,6–14,8 ммоль/100 г).

Коэффициент влажности торфяной почвы пробного участка I равен 57,41 %, торфяной почвы пробного участка II – 33,2 %.

Измерение экспозиционной дозы в месте отбора образцов выполняли с помощью дозиметра МКС-АТ1125. В отобранных образцах почвы определяли содержание изотопов ^{137}Cs методом гамма-спектрометрии с использованием детектора из высокочистого германия с расширенным энергетическим диапазоном в составе γ -спектрометрического комплекса Canberra.

Микробиологическую индикацию почвы выполняли согласно общепринятым в почвенной микробиологии методам [3], [12]. Использовали чашечный метод Коха, с помощью которого определяли численность аммонифицирующих, амилолитических, олигонитрофильных, олигокарбофильных, автохтонных микроорганизмов на селективных питательных средах: мясо-пептонном (МПА), крахмало-аммиачном (КАА), среда Эшби, голодном (ГА), нитритном (НА) агарах, соответственно. Все посеы проводили в трехкратной повторности. Численность микроорганизмов определяли в колониеобразующих единицах (КОЕ), пересчитывали на 1 г абсолютно сухой почвы. Расчет эколого-физиологических индексов и коэффициентов выполняли по [13].

Полученные данные обработаны статистически с использованием пакета прикладного программного обеспечения «Statsoft (USA) Statistica v.7.0».

Результаты исследований и их обсуждение. Исследуемые образцы торфяной почвы характеризуются различной плотностью загрязнения изотопами цезия-137. Как видно из рисунка 2, наибольшая удельная активность торфяной почвы по цезию-137 приходилась на пробный участок I – $68568,3 \pm 447,6$ Бк/кг (бывший населенный пункт Масаны).

В тоже время содержание данных изотопов в почвенных образцах пробной площадки II (урочище Майдан) было ниже в 9,5 раз, что составляло по удельной активности почвы по цезию-137 $7341,3 \pm 445,6$ Бк/кг.

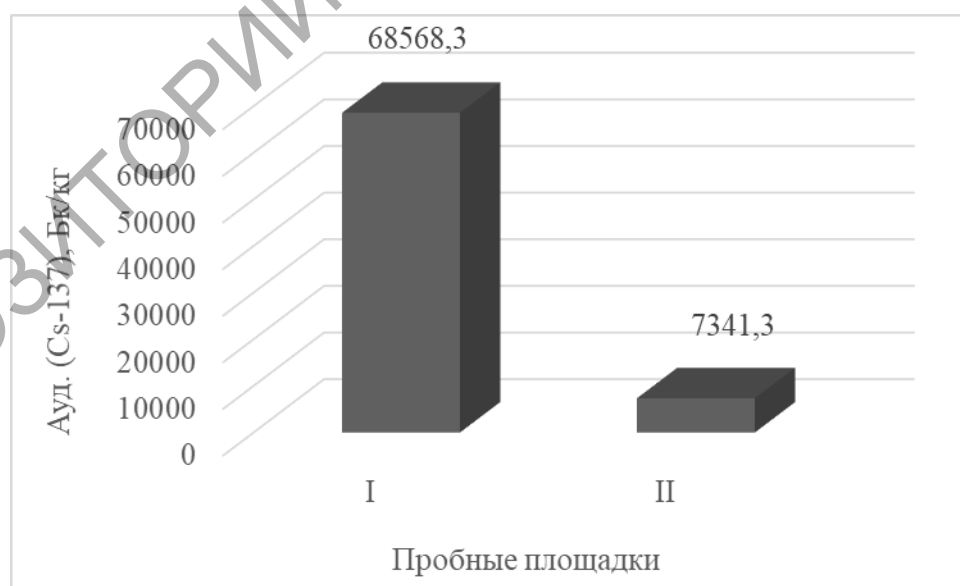


Рисунок 2 – Удельная активность Cs^{137} в почвенных образцах

В результате исследования численности основных физиологических групп почвенных микроорганизмов (рисунок 3) было установлено, что образец торфяной почвы участка I со-

держит большее количество микроорганизмов по всем исследуемым физиологическим группам микроорганизмов по сравнению с почвенным образцом пробного участка II. В образце II наибольшая численность характерна для аммонифицирующих микроорганизмов, далее в ряду по мере уменьшения представлены группы: споровые аммонификаторы, целлюлозоразрушающие аэробные, амилотитические, олигонитрофильные, олигокарбофильные, автохтонные, олиготрофы, фосфатмобилизующие, микромицеты.

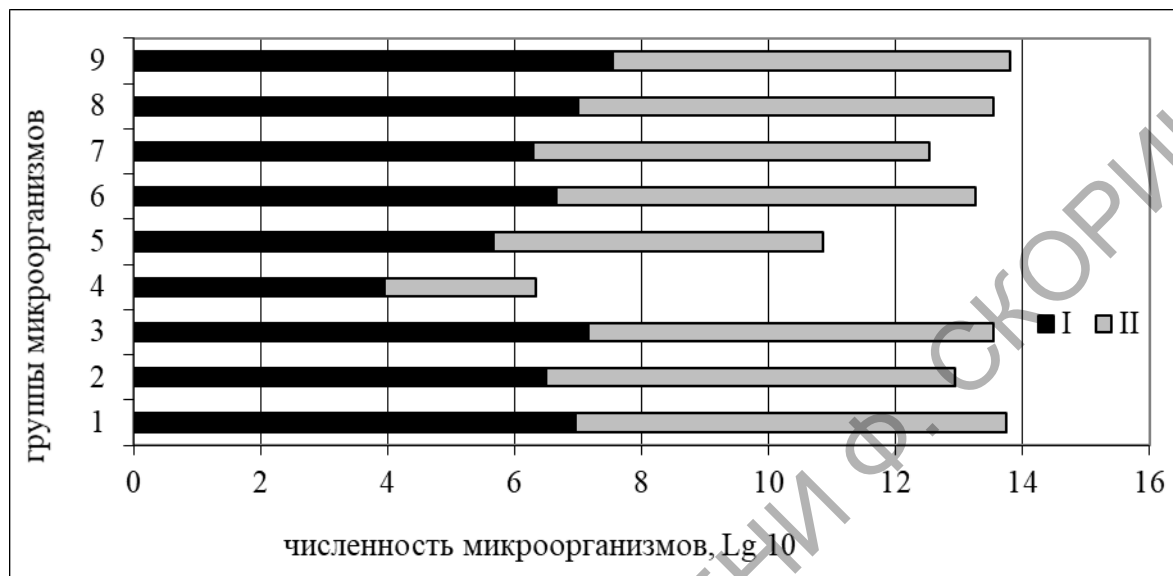


Рисунок 3 – Численность основных физиологических групп почвенных микроорганизмов
Группы микроорганизмов: 1 – аммонифицирующие, 2 – амилотитические, 3 – олигонитрофильные, 4 – микромицеты, 5 – фосфатмобилизующие, 6 – споровые аммонификаторы, 7 – автохтонные, олиготрофы, 8 – целлюлозоразрушающие аэробные, 9 – олигокарбофильные; I, II – номер участка

Следует отметить высокую численность олигокарбофильной группы микроорганизмов для торфяной почвы образца I, что составляло $35,5 \times 10^6$ КОЕ/г почвы.

Данная подгруппа олиготрофов обладает высокой окислительно-восстановительной ферментативной активностью и поэтому по биохимической принадлежности наиболее приближена к автохтонной части микробиоценоза почвы. В условиях минимального количества или полного отсутствия доступного углерода в почвенном растворе олигокарбофилы начинают трансформировать свободные и новообразованные фракции гумуса и, тем самым, участвовать в преобразовании специфического органического вещества почвы и изменять ее гумусовой режим [13]. Численность микроорганизмов олигокарбофильной группы в торфяной почве участка I выше в 19,7 раз, чем в почве опытного участка II, возможно, это связано с более высокими уровнями pH и влажности почвы, либо может свидетельствовать о замедлении процессов деструкции органического вещества и переходом изучаемого биоценоза в более устойчивое состояние.

В литературе имеются сведения о том, что наиболее чувствительными к ионизирующему излучению являются микроскопические грибы [2], [14]. При этом авторы акцентировали внимание на тот факт, что численность микромицетов не зависит напрямую от уровня радиоактивного загрязнения почвы, хотя негативные последствия на микробиоценоз отмечаются. В настоящем исследовании на торфяной почве, которая характеризуется большей плотностью загрязнения изотопами цезия-137 (образец I), наблюдали противоположные результаты: отмечено увеличение численности КОЕ грибных зачатков на 1 г почвы в 60 раз по сравнению с образцом почвы II. Можно предположить, что такой результат связан в первую очередь с меньшей, почти в два раза, влажностью почвы (коэффициент влажности составил 33,2 %) и более низким содержанием подвижных форм фосфора в образце торфяной почвы пробного участка II.

Для установления особенностей взаимоотношений отдельных групп микроорганизмов, участвующих в общем процессе разложения органического вещества почвы, был произведен расчет эколого-трофических индексов и коэффициентов почвы (рисунок 4).

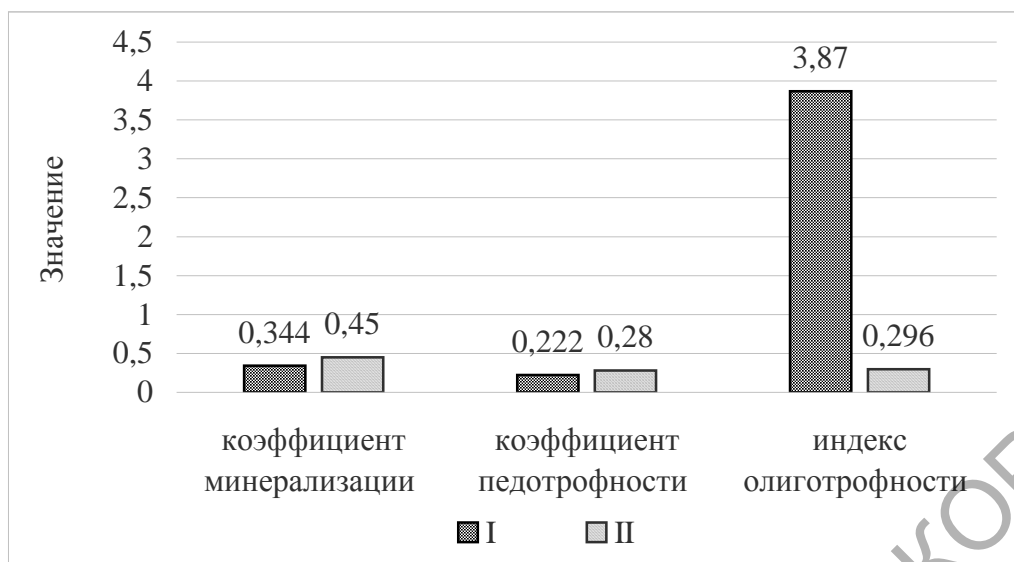


Рисунок 4 – Эколого-трофические индексы органического вещества почвы

Параметры коэффициента минерализации и коэффициента педотрофности несколько ниже в образце торфяной почвы пробного участка I по сравнению с почвой пробного участка II. Тем не менее, в обоих образцах преобладают, согласно установленным значениям коэффициента минерализации и иммобилизации Мишустина, процессы минерализации, что и было ожидаемо для июля месяца, когда проводили отбор почвы.

Значения коэффициента педотрофности указывают, что изучаемые фитоценозы находятся в состоянии дисбаланса и слабо устойчивы к внешним стрессовым факторам. Очевидно, из-за более высокой плотности загрязнения почвы изотопами цезия-137 микробное сообщество образца торфяной почвы пробного участка I сформировало фитоценоз, который характеризуется уменьшением содержания в почве подвижных органических веществ по сравнению с фитоценозом пробного участка II.

Индекс олиготрофности фитоценоза участка II в 13 раз ниже по сравнению с фитоценозом I. Данный индекс показывает активность олиготрофной части микробоценоза почвы [13]. Такой результат для фитоценоза II в том числе подтверждается не только соотношением автохтонных олигокарбофильных бактерий к аммонифицирующим, но и содержанием микробных зачатков микромицетов, которые являются одними из главных деструкторов органического вещества.

Выводы. В ходе исследования установлено, что торфяная почва пробного участка I по сравнению с почвенным образцом пробного участка II характеризуется большей степенью обогащенности почвы микроорганизмами по всем основным физиологическим группам. Это связано, во-первых, с большим содержанием воды в торфяной почве I (57,41 %), что способствует быстрому росту микробонаселения почвы, во-вторых, оно определяется большим количеством корней растений.

Отмечена высокая численность олигокарбофильной группы микроорганизмов для торфяной почвы образца I, что составляло $35,5 \times 10^6$ КОЕ/г почвы.

В свою очередь, выявленная плотность загрязнения радионуклидами торфяной почвы в меньшей степени оказывает влияние на количественное содержание в ней большинства изученных физиологических групп микроорганизмов. Наиболее чувствительными к ионизирующему излучению являются эукариотические микроорганизмы – микромицеты, что наблюдалось в обоих опытных вариантах.

Литература

1. Мишустин, Е. Н. Микроорганизмы и продуктивность земледелия / Е. Н. Мишустин. – М. : Агропромиздат, 1972. – 342 с.
2. Романовская, В. А. Чувствительность к стрессовым факторам почвенных бактерий, изолированных из зоны отчуждения Чернобыльской АЭС / В. А. Романовская, П. В. Рокитко, Ю. Р. Малащенко, Н. А. Чорная // Микробиология. – 1999. – Т. 68, № 4. – С. 534–539.

3. Основные микробиологические и биохимические методы исследования почв / под ред. Ю. М. Возняковской. – Л. : ВНИИСХМ, 1987. – 47 с.
4. Приготовление солевой вытяжки и определение ее рН по методу ЦИНАО : ГОСТ 26483-85 : введ. 01.07.1986. – М. : Издательство стандартов, 1986. – 6 с.
5. Определение гидролитической кислотности по методу Каппена в модификации ЦИНАО : ГОСТ 26212-91 : введ. 01.07.1993. – М. : Издательство стандартов, 1993. – 7 с.
6. Определение суммы поглощенных оснований по методу Каппена : ГОСТ 27821-88 : введ. 01.01.1990. – М. : Издательство стандартов, 1988. – 7 с.
7. Определение обменного кальция и обменного (подвижного) магния методами ЦИНАО : ГОСТ 26487-85 : введ. 01.07.1986. – М. : Издательство стандартов, 1986. – 14 с.
8. Определение подвижных соединений фосфора и калия по методу Кирсанова в модификации ЦИНАО : ГОСТ 26207-91 : введ. 01.07.1993. – М. : Издательство стандартов, 1993. – 13 с.
9. Определение нитратов ионометрическим методом : ГОСТ 26951-86 : введ. 30.06.1986. – М. : Государственный комитет СССР по стандартам, 1986. – 7 с.
10. Методы определения органического вещества : ГОСТ 26213-91. – Взамен ГОСТ 26213-84 ; введ. 01.07.1993. – М. : Издательство стандартов, 1993. – 9 с.
11. Марчик, Т. П. Почвоведение с основами растениеводства : учеб. пособие / Т. П. Марчик, А. Л. Ефремов. – Гродно : ГрГУ, 2006. – 248 с.
12. Теппер, Е. З. Практикум по микробиологии / Е. З. Теппер, В. К. Шильникова, Г. И. Переверзева. – 3-е изд., перераб. и доп. – М. : Агропромиздат, 1987. – 239 с.
13. Титова, В. И. Методы оценки функционирования микробоценоза почвы, участвующего в трансформации органического вещества : науч. метод. пособие / В. И. Титова, А. В. Козлов. – Н. Новгород : Нижегород с.-х. акад., 2012. – 192 с.
14. Панахова, А. А. Влияние гамма-излучения на микробиологические свойства почвы (на примере серо-бурой почвы Абшерона) / А. А. Панахова // Вакі университетинин хәбәрләри : Тәбиәт елмләри серијасы. – 2009. – № 4. – С. 92–96.

¹Институт радиобиологии
НАН Беларуси

²Гомельский государственный
университет им. Ф. Скорины

Поступила в редакцию 12.04.2021