

УДК 579.64:631.46

DOI: 10.36305/2712-7788-2020-1-154-141-152

**БИОЛОГИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ ЭДАФОТОПОВ АНТРОПОГЕННО
ТРАНСФОРМИРОВАННЫХ ЭКОСИСТЕМ****Дмитрий Валерьевич Сыщиков¹, Ирина Владимировна Агурова¹,
Оксана Витальевна Сыщикова²**

¹Государственное учреждение «Донецкий ботанический сад», 283059, Донецкая
Народная Республика, г. Донецк, просп. Ильича, 110
E-mail: 2007dmitry@rambler.ru

²Государственная образовательная организация высшего профессионального
образования «Донецкий национальный медицинский университет им. М. Горького»,
283003, Донецкая Народная Республика, г. Донецк, просп. Ильича, 16

В результате проведенных исследований биологической активности эдафотопов антропогенно-трансформированных экосистем установлено, что наибольшей численностью бактерий и стрептомицетов характеризовался чернозем обыкновенный. Для почвенных горизонтов примитивных неразвитых фрагментарных почв зафиксирован наименьший процент общей численности микроорганизмов (в среднем 4-5 % по отношению к контролю). Количество стрептомицетов как в антропогенно трансформированных, так и в интразональных и зональных почвах варьирует по горизонтам. Однако нами отмечено, что в интразональных и антропогенно трансформированных почвах стрептомицеты в большинстве случаев концентрируются в нижележащих почвенных горизонтах. Нашими исследованиями по изучению количества микромицетов установлено, что эта группа микроскопических грибов занимает до 50 % от общей численности микробиоценоза, при этом наименьшее их количество зафиксировано в генетических горизонтах примитивных неразвитых почв на песчанике. Целлюлозоразрушающие микроорганизмы в микробиоценозе почв мониторинговых участков представлены в наименьшей степени.

Ключевые слова: антропогенно трансформированные экосистемы; эдафотоп; микроорганизмы; стрептомицеты; микромицеты; целлюлозоразрушающие микроорганизмы

Введение

Благодаря незаменимой роли микроорганизмов в наземных экосистемах, анализ разнообразия их сообществ, особенно в почве, считается одной из приоритетных проблем экологии (Bardgett *et al.*, 2008). Почвенные микроорганизмы составляют значительную часть любой экологической системы, включающей почву, и активно участвуют в ее жизнедеятельности. Обладая широкой экологической приспособляемостью, почвенные микроорганизмы выполняют существенную работу по деструкции попадающих в почву веществ, регулируя состав воздушного потока почв, содержание и доступность биогенных веществ, необходимых для роста и развития растений (Ильина и др., 2015; Казакова, Ильина, 2013). В почвах различных типов содержатся сообщества микроорганизмов с характерным видовым составом, разнообразием и количественным соотношением различных групп. В условиях повышенного антропогенного загрязнения структура микробных сообществ изменяется, при этом наблюдается уменьшение видового разнообразия почвенной микрофлоры, изменение представленности и появление не свойственных данным зональным условиям видов, утрата ряда особенностей пространственно-временной организации сообществ (Семенова и др., 2011). Вместе с этим, в каждой конкретной почве складываются своеобразные микробные ценозы, имеющие определенную

структуру. Наряду с активно функционирующими группами микроорганизмов в почве содержится огромное количество пассивных сообществ, так называемый микробный пул или запас микроорганизмов, не обеспеченных элементами питания и оптимальными физическими факторами среды, ожидающий благоприятных условий. Принимая во внимание вышеизложенное следует отметить, что, не имея представления об основных экологических, физиологических, морфологических группах почвенной микрофлоры невозможно объективно оценить состояние почвы, активность биологических процессов ее восстановления, что и являлось целью проведенных исследований.

Объекты и методы исследования

Для исследования почвенного микробоценоза деградированных экосистем были выбраны следующие мониторинговые участки. При их выборе учитывались такие факторы, как распространенность типа нарушения в пределах района исследований, степень антропогенной трансформации, возможность восстановления биологической продуктивности и потенциальный экологический эффект при проведении рекультивационных мероприятий. Предварительный выбор объектов для изучения базировался на анализе данных спутниковых снимков бесплатного картографического сервиса Google Maps с последующей идентификацией объектов и характера нарушений на местности.

Мониторинговый участок № 6. Территория, прилегающая к южной части отвала шахты № 12 «Наклонная» (Пролетарский район г. Донецк). Общее проективное покрытие 95-100 %. Доминируют *Elytrigia repens* (L.) Nevski и растущий группами *Vicia cracca* L. Рассеянно встречаются *Artemisia absinthium* L., *Verbascum lychnitis* L., *Achillea pannonica* Scheele, *Euphorbia virgata* Waldst. & Kit. Единично растут *Linaria vulgaris* L. и *Pilosella echinoides* (Lumn.) F. Schult. & Sch. Bip. Из эфемеров отмечены такие виды: довольно много *Holosteum umbellatum* L. и рассеянно *Lepidium perfoliatum* L.

Разрез № 6. Чернозем обыкновенный среднемощный среднегумусированный.

Н – 0-47 см. Свежий, темно-бурый однородный, легкосуглинистый, среднезернистый, умеренно плотный. Новообразований и включений не отмечено. Много корней. Переход в горизонт Нр ясный по цвету и структуре.

Нр – 47-86 см. Свежий, светло-каштановый-коричневый, неоднородный, легкосуглинистый, среднезернистый, умеренно плотный. Новообразований и включений не отмечено. Редкие корни. Переход в горизонт hP резкий по цвету и структуре.

hP – 86-110 см. Суховатый, светло-каштановый, однородный, суглинистый, пластинчатый, умеренно плотный. Новообразований и включений не отмечено. Единичные корни. Переход в горизонт Р языковатый по цвету.

Р – глубже 110 см. Суховатый, коричневато-оранжевый, однородный, суглинистый, пластинчатый, плотный. Новообразований и включений не отмечено. Корни отсутствуют.

Данный участок рассматривался нами в качестве контрольного.

Мониторинговый участок № 7. Склон отвала шахты № 12 «Наклонная» восточной экспозиции (Пролетарский район г. Донецк). Моновидовая группировка *Oberna behen* (L.) Ikonn. Общее проективное покрытие 10-15 %.

Разрез № 7-о. Примитивные неразвитые фрагментарные почвы.

Н – 0-27 см. Сухой, темно-серый, однородный, бесструктурный, порошистый, безкарбонатный, рыхлый. Новообразований не отмечено, каменистость 10 % от

мелкообломочной фракции. Густо пронизан корнями. Переход в горизонт Р неясный, по цвету.

Р 27-60 см. – Сухой, темно-коричневый, однородный, бесструктурный, порошистый, рыхлый. Новообразований не отмечено, каменистость 50%. Единичные корни.

В профиле наблюдается первичное агрегатообразование по корням растений, накопление гумуса не имеет морфологического выражения вследствие слабого развития глинистой составляющей. Имеющийся гумус «замаскирован» серым цветом измельченной породы.

Мониторинговый участок № 8. Склон отвала шахты № 12 «Наклонная» северной экспозиции (Пролетарский район г. Донецк). Общее проективное покрытие 25-30 %. Довольно много *Echium vulgare* L., *Oenothera biennis* L. Рассеянно произрастают *Ambrosia artemisiifolia* L., *Artemisia absinthium* L., *Daucus carota* L., *Centaurea diffusa* Lam., *Linaria genistifolia* (L.) Mill., *Holosteum umbellatum* L. и *Senecio vernalis* Waldst. & Kit., единично встречаются *Rumex crispus* L. и однолетние всходы *Acer negundo* L. В нижней части участка добавляются *Achillea pannonica* Scheele и *Chondrilla juncea* L.

Разрез № 8-о. Примитивные неразвитые почвы.

Н – 0-20 см. Свежий, темно-бурый, однородный, бесструктурный, порошистый, рыхлый. Новообразований не отмечено, каменистость 25 %. Густо пронизан корнями. Переход в горизонт Р ясный по цвету.

Р 20-45 см. – Суховатый, темно-серый, однородный, бесструктурный, порошистый, рыхлый. Новообразований не отмечено, каменистость 40 %. Единичные корни.

Мониторинговый участок № 9. Территория, прилегающая к северо-восточной части отвала шахты № 12 «Наклонная» (Пролетарский район г. Донецк). Рассеянное произрастание *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud., особи угнетенные, высота произрастающих по руслу ручья экземпляров не превышала 40 см. В месте отбора проб на относительно просушем участке отмечены только мертвые особи с наростами соли.

Разрез № 9. Гидроморфный солончак.

Нs – 0-43 см. Сырой, темно-серый, неоднородный, с беловатыми выцветами солей до глубины 8 см. Среднесуглинистый, плитчатый, плотно сложенный. Отмечаются органические новообразования (корневины), включений не отмечено. Переход в горизонт Нрс постепенный, волнистый по структуре и цвету.

Нрс – 43-55 см. Сырой, черный, однородный, тяжелосуглинистый, мелко зернистый, плотно сложенный. Новообразований и включений не отмечено. Корни отсутствуют.

Ниже 55 см грунтовые воды.

Мониторинговый участок № 10. Свалка твердых бытовых отходов (ТБО) (Пролетарский район, г. Донецк). В фитоценозе доминируют *Festuca valesiaca* Gaudin и *Tanacetum millefolium* (L.) Tzvelev. Довольно много *Medicago romanica* Prodán, *Artemisia marschalliana* Spreng и *A. austriaca* Jacq. (группами). Рассеянно представлены *Eryngium campestre* L., *Plantago urvillei* Opiz, *Salvia tesquicola* Klovov & Pobed, *Marrubium praecox* Janka, *Stachys transsilvanica* Schur, *Holosteum umbellatum* L., *Euphorbia stepposa* Zoz ex Prokh., *E. seguieriana* Neck., *Senecio jacobaea* L., *Otites sibirica* (L.) Raf., *Ononis arvensis* L., *Thesium arvense* Horv., *Nonea rossica* Steven, *Thymus marschallianus* Willd., в нескольких экземплярах встречены *Hesperidium triste* (L.) G. Beck и единичной группой *Agropyron pectinatum* (M. Bieb.) P. Beauv. Общее проективное покрытие 80 %.

Разрез № 10. Примитивные неразвитые почвы на песчанике.

Н – 0-18 см. Суховатый, темно-серый, однородный, супесчаный, мелкозернистый, слабо уплотненный. Новообразований и включений не отмечено. Много корней. Переход в горизонт Р резкий, волнистый, по цвету и структуре.

Р 18-40 см. – Сухой, белесоватый-темно-каштановый, неоднородный, песчаный, мелкокомковатый, рыхлый. Новообразований и включений не отмечено. Единичные корни.

Описание почвенных разрезов проводили по И.И. Назаренко и Н.И. Полупану (Назаренко и др., 2004; Полупан и др., 2005). Отбор почвенных образцов проводили по почвенным горизонтам в характерное для каждого сезона время, условно названные нами «весна», «лето», «осень». Так, весной образцы отбирали после выпадения осадков, летом – после продолжительной засухи с высокими температурными показателями, осенью – во время незначительного понижения температуры, сопровождающегося атмосферными осадками (Методы..., 1991).

При изучении микробоценоза разных почвенных горизонтов образцы отбирались из свежевыкопанного почвенного разреза. Образцы почвы, отобранные для микробиологического анализа, диспергировали путем растирания почвы, извлекали корни растений и включения. Для посева готовили почвенную суспензию (10 г почвы в 100 мл стерильной водопроводной воды), после чего готовили необходимое для посева разведение. Почвенную суспензию высевали на твердые питательные среды: крахмало-аммиачный агар – КАА (для выделения общего количества бактерий и стрептомицетов), среду Чапека (для выделения микромицетов) и агар Гетчинсона с нанесением фильтровальной бумаги как источника целлюлозы (для определения численности целлюлозоразрушающих микроорганизмов). Подсчет колоний проводили на 7-10-е сутки исследований. После подсчета количества колоний на 5 параллельных чашках производили перерасчет на 1 г сухой почвы по формуле:

$$A = B / (C \times D \times E),$$

где: А – количество колониеобразующих единиц (КОЕ) в 1 г почвы; В – количество колоний на чашке; С – разведение; D – объем почвенной суспензии, взятой для посева; Е – масса сухой почвы, взятой для посева (Методы..., 1991; Руководство..., 1995).

Статистическая обработка экспериментальных данных проводилась по общепринятым методам параметрической статистики на 95 % уровне значимости по Б.А. Доспехову и Ю.Г. Приседскому (Доспехов, 1985; Приседский, 1999).

Результаты и обсуждение

Анализ полученных экспериментальных данных позволил установить, что в весенний период исследований наибольшей численностью бактерий характеризовались почвенные горизонты чернозема обыкновенного, в которых, как это и характерно для зональных почв, количество бактерий постепенно уменьшалось при прохождении вниз по почвенному профилю (табл. 1). Однако, несмотря на это можно говорить о биологической деградации данной почвы, поскольку по шкале оценки степени обогащенности почв микроорганизмами при посеве на питательные среды, предложенной Д.Г. Звягинцевым она относится к «очень бедным» (Звягинцев, 1978). Минимальными показателями общей численности микроорганизмов характеризовались почвенные горизонты примитивных неразвитых фрагментарных почв на участке № 7, в которых количество не превышало 5 % по сравнению с аналогичными почвенными горизонтами контрольного участка. Полученные данные могут быть объяснены как низкой обогащенностью субстрата необходимыми для жизнедеятельности бактерий веществами, так и слабой степенью сформированности растительного покрова на этом участке, представленного моновидовой группировкой *Oberna behen* (L.) Ikonn. На

участке № 8 микробоценоз был развит в большей степени, свидетельством чего являются большие как абсолютные (количество КОЕ), так и относительные (процентное отношение к контрольному участку) показатели численности бактерий. Следует отметить, что на данном мониторинговом участке не зафиксировано отличий по количеству микроорганизмов на КАА между генетическими горизонтами (табл. 1). Высокое содержание подвижных солей в профиле гидроморфного солончака, а также значительная степень увлажнения почвы ограничивает широкое распространение большого количества видов бактерий и приводит к формированию специфического галофильного микробного сообщества. Микробоценоз данного участка характеризовался небольшой численностью (до 100 тыс. КОЕ/г сухой почвы), а по отношению к контрольным показателям составляло около 6 % как в органогенном, так и в переходном почвенном горизонте. Из почв, исследованных антропогенно трансформированных экосистем, микробное сообщество примитивных неразвитых почв на песчанике отличается наибольшими показателями общей численности бактерий, что вероятнее всего объясняется наличием легкодоступных элементов питания, привнесенных в почву при формировании полигона ТБО.

Таблица 1

Общая численность бактерий на КАА (тыс. КОЕ/ г сухой почвы) почв антропогенно трансформированных экосистем

Table 1

Total number of bacteria per SAA (thousand CFU/g dry soil) soils of anthropogenic transformed ecosystems

Участок Site	Весна Spring		Лето Summer		Осень Autumn	
	M ± m	%	M ± m	%	M ± m	%
№ 6 Н	1753,2±52,4	—	1177,4±125,3	—	1365,7±47,4	—
№ 6 Нp	1194,2±80,3	—	938,4±59,6	—	1263,3±64,5	—
№ 6 hP	799,0±25,7	—	747,9±46,5	—	848,9±33,1	—
№ 6 P	693,2±35,5	—	660,3±72,1	—	672,6±40,8	—
№ 7 Н	34,6±2,0*	2,0	27,8±1,6*	2,4	29,6±1,4*	2,2
№ 7 P	29,4±1,4*	4,2	23,9±0,9*	3,6	24,3±0,7*	3,6
№ 8 Н	55,2±3,1*	3,1	44,6±3,0*	3,8	52,8±1,3*	3,9
№ 8 P	50,4±5,6*	7,3	40,2±0,3*	6,1	46,7±0,8*	6,9
№ 9 Нs	99,7±2,9*	5,7	69,6±6,5*	5,9	83,7±2,6*	6,1
№ 9 Нps	69,1±2,9*	5,8	57,5±3,5*	6,1	70,1±3,2*	5,5
№ 10 Н	197,9±8,6*	11,3	147,2±7,5*	12,5	156,3±8,1*	11,4
№ 10 P	71,1±10,6*	10,3	82,9±5,7*	12,6	72,3±4,8*	10,7

Примечание. Здесь и в таблицах 2-3 % – процент превышения значений по отношению к аналогичным почвенным горизонтам участка № 6, * – различия статистически достоверны при $p < 0,05$

С увеличением длительности мониторинговых исследований нами отмечено снижение общей численности бактерий в почвах всех участков по сравнению с весенним периодом, причем наиболее выраженным данный процесс был в органогенных почвенных горизонтах (табл. 1). Следует отметить, что показанное уменьшение численности не повлияло на распределение микробного населения почв мониторинговых участков и процентное соотношение количественных показателей по отношению к условному контролю практически не изменилось по сравнению с весенним периодом исследований. Осенью зафиксировано восстановление общей численности бактерий, причем в нижележащих почвенных горизонтах, слабо подверженных влиянию температурного фактора, оно достигало значений, отмеченных весной.

Неотъемлемым компонентом почвенного микробного сообщества являются стрептомицеты – грамположительные, спорообразующие, аэробные мицелиальные бактерии. Стрептомицеты участвуют в накоплении в почве биологически активных веществ и формировании азотного баланса почв (Широких и др., 2017; Niner *et al.*, 1996). Их участие в образовании гумусовых веществ почвы подтверждается способностью к образованию темноокрашенных пигментов – меланинов, которые являются их предшественниками. Однако, ведущей функцией стрептомицетов в почве является деструкция трудноразлагаемых органических субстратов: лигнин, хитин, ксилан, целлюлоза, которые они утилизируют на поздних этапах микробной сукцессии, благодаря продукции экзогидролаз (Железова, Чернов, 2012). Стрептомицеты выявлены во всех известных почвах мира, однако их численность, роль в биоценозах и биохимическая активность изменяются в зависимости от эколого-географических условий.

Нами показано, что в почвенном профиле чернозема обыкновенного, как и для общей численности бактерий, количество стрептомицетов максимально среди исследованных мониторинговых участков, однако их численность находится на крайне низком уровне, не превышая 300 тыс. КОЕ/г почвы в органогенных горизонтах. Также отмечено их снижение в более глубоких почвенных горизонтах (табл. 2).

Таблица 2

Численность стрептомицетов (тыс. КОЕ/ г сухой почвы) почв антропогенно трансформированных экосистем

Table 2

Number of streptomycetes (thousand CFU/g dry soil) soils of anthropogenic transformed ecosystems

Участок Site	Весна Spring		Лето Summer		Осень Autumn	
	M ± m	%	M ± m	%	M ± m	%
№ 6 Н	299,8±16,7	–	178,7±19,9	–	250,2±17,4	–
№ 6 Нр	130,4±10,8	–	105,6±15,1	–	111,6±9,6	–
№ 6 hP	66,6±7,5	–	44,7±8,2	–	53,8±5,8	–
№ 6 P	41,8±3,5	–	27,3±3,0	–	36,4±3,1	–
№ 7 Н	3,7±0,3*	1,2	1,9±0,5*	1,1	2,3±0,4*	0,9
№ 7 P	1,6±0,3*	3,8	1,3±0,3*	5,0	1,5±0,3*	4,1
№ 8 Н	17,9±3,4*	6,0	7,7±1,0*	4,3	14,9±0,9*	6,0
№ 8 P	8,9±0,6*	21,2	4,7±0,5*	17,2	7,2±0,6*	19,8
№ 9 Нs	6,8±0,8*	2,3	5,7±1,3*	3,2	6,0±0,3*	2,4
№ 9 Нps	4,5±0,9*	3,5	3,1±0,3*	2,9	3,8±0,1*	3,4
№ 10 Н	71,1±1,3*	23,7	47,6±5,5*	26,6	62,8±2,7*	25,1
№ 10 P	37,9±2,9	90,7	26,7±1,5	97,9	31,5±1,4	86,5

В примитивных неразвитых фрагментарных почвах участка № 7 и солончаке количество стрептомицетов было наиболее низким и не превышало 4 % по отношению к аналогичным почвенным горизонтам чернозема обыкновенного. По нашему мнению, в первом случае снижение численности бактерий данной эколого-трофической группы обусловлено недостатком источников углерода и азота (содержание гумуса 0,3-0,4 %), а во втором – высоким содержанием растворимых солей (3,8-5,6 мг/100 г почвы при натриево-сульфатном типе засоления). В примитивных неразвитых почвах участка № 8 зафиксирован несколько больший уровень численности стрептомицетов, достигающий в горизонте Н до 18 тыс. КОЕ/г сухой почвы, что вероятно связано с большей развитостью растительного покрова на данном мониторинговом участке. Примитивные неразвитые почвы на песчанике характеризовались самыми высокими показателями численности стрептомицетов среди нарушенных экосистем, а для горизонта P не

установлено статистически достоверных различий по сравнению с контролем (табл. 2). Следует отметить, что в интразональных почвах и в почвах антропогенно трансформированных экосистем в отличие от зональной почвы (чернозем обыкновенный) отмечается приуроченность стрептомицетов к нижележащим почвенным горизонтам, свидетельством чего являются большие относительные значения их численности.

В летний период исследований зафиксировано снижение количества стрептомицетов на 16-57 % как в черноземе обыкновенном, так и в почвах антропогенно трансформированных экосистем по сравнению с весенним отбором проб (табл. 2). Следует отметить, что, как и для общей численности микроорганизмов, показанное снижение наиболее ярко проявлялось в верхних почвенных горизонтах. Наряду с этим, характер соотношения количества стрептомицетов по сравнению с контрольными показателями не претерпел существенных изменений. С увеличением длительности мониторинговых исследований нами зафиксирована тенденция к возрастанию численности стрептомицетов практически до весеннего уровня при том что характер их распределения, как по мониторинговым участкам, так и по генетическим горизонтам почв, не изменился.

Одними из основных компонентов биоты, имеющих непосредственное отношение к процессам почвообразования и круговорота веществ в экосистемах, являются почвенные микромицеты (Хабибуллина, Кузнецова, 2014). Это обусловлено тем, что, во-первых, с почвой связано большое количество фитопатогенов; во-вторых, микромицеты с сапротрофным типом питания участвуют в деструкции органических остатков; в-третьих, грибы-антагонисты обеспечивают антифитопатогенный потенциал (Колесникова, Труфанов, 2017).

Анализ полученных экспериментальных данных позволил установить, что вклад микроскопических грибов в формирование микробного сообщества чернозема обыкновенного еще ниже, чем стрептомицетов (рис. 1). Так в весенний период исследований в генетических горизонтах чернозема количество микромицетов постепенно снижалось в нижележащих горизонтах от 41,7 до 8,9 тыс. КОЕ/г сухой почвы. В отличие от этого в примитивных неразвитых почвах отвала (участки № 7 и 8) до 50 % численности занимают представители именно этой эколого-трофической группы микроорганизмов. Данный факт, скорее всего, объясняется способностью микромицетов к утилизации наиболее труднодоступных источников вещества и энергии, что в условиях бедных субстратов отвала дает им преимущество перед другими группами микроорганизмов. Наряду с этим, количество микромицетов в гумусоаккумулятивных почвенных горизонтах достигало 45-50 % по отношению к контролю, а в нижележащих почвенных горизонтах превышало контрольные показатели в 1,9-2 раза (рис. 1, а). В структуре микробоценоза гидроморфного солончака галофильные микроскопические грибы составляют малую часть, чем и обусловлена их низкая численность, составляющая 7-15 % по сравнению с аналогичными почвенными горизонтами чернозема обыкновенного. Наименьшими количественными показателями микромицетов (1,2-1,8 тыс. КОЕ/г сухой почвы) характеризовались примитивные неразвитые почвы на песчанике.

Отмеченное снижение численности микроскопических грибов в летний период в меньшей степени проявлялось в почвах отвала, что привело к возрастанию их относительных количественных показателей. Так, в органогенных горизонтах примитивных неразвитых почв процентное содержание микромицетов по отношению к контролю возросло до 63 %, а в горизонтах Р превышало аналогичные показатели в 2,8-3 раза (рис. 1, б). В почвах других мониторинговых участков не было установлено существенных отличий в характере профильного распределения микроскопических

грибов по сравнению с предыдущим периодом исследований. Как и для других рассмотренных групп микроорганизмов осенью зафиксировано восстановление общей численности микромицетов как в зональной почве, так и в почвах антропогенно трансформированных экосистем.

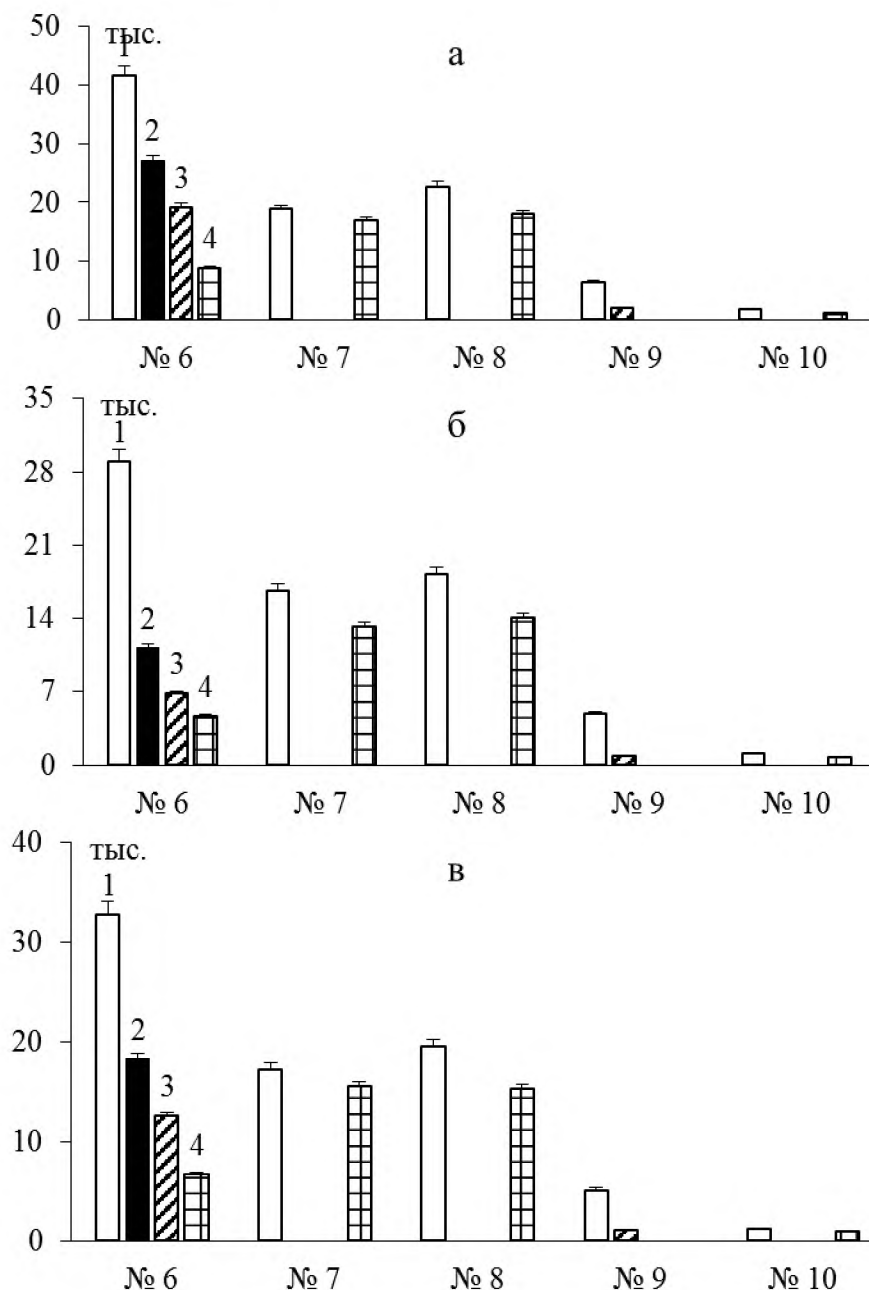


Рис. 1 Численность микромицетов (тыс. КОЕ/г сухой почвы) почв антропогенно трансформированных экосистем, а – весна, б – лето, в – осень, 1 – горизонт Н, 2 – горизонт Нp, 3 – горизонт hP, 4 – горизонт P

Fig. 1 Number of micromycetes (thousand CFU/g dry soil) soils of anthropogenic transformed ecosystems, а – spring, б – summer, в – autumn, 1 – horizon Н, 2 – horizon Нp, 3 – horizon hP, 4 – horizon P

Целлюлозоразрушающие микроорганизмы представляют собой единое звено в трофической цепи почвенных экосистем, осуществляя функции микробов-редуцентов. Основная роль их состоит в разложении целлюлозы, которая всегда присутствует в почве. Поскольку целлюлоза составляет основную часть растительных остатков, то

целлюлозолитические микроорганизмы, по-видимому, оказывают большое влияние на ход биологического круговорота микроэлементов, высвобождая их из растительных остатков (Наплекова, 2010).

Проведенные исследования показывают, что целлюлозоразрушающие микроорганизмы в микробоценозе почв мониторинговых участков представлены в наименьшей степени, а их численность не превышает 0,16 тыс. КОЕ/г сухой почвы (табл. 3). В черноземе обыкновенном, отмеченный нами характер их распределения типичен для зональных почв – постепенное снижение количества в более глубоких почвенных горизонтах.

Таблица 3

Численность целлюлозоразрушающих микроорганизмов (тыс. КОЕ/г сухой почвы) почв антропогенно трансформированных экосистем

Table 3

Number of cellulose-destroying microorganisms (thous and CFU/g dry soil) soils of anthropogenic transformed ecosystems

Участок Site	Весна Spring		Лето Summer		Осень Autumn	
	M ± m	%	M ± m	%	M ± m	%
№ 6 Н	0,16±0,009	—	0,1±0,009	—	0,14±0,01	—
№ 6 Нр	0,13±0,008	—	0,07±0,003	—	0,09±0,005	—
№ 6 hP	0,1±0,009	—	0,06±0,002	—	0,07±0,002	—
№ 6 P	0,07±0,005	—	0,02±0,001	—	0,04±0,001	—
№ 7 Н	0,02±0,006*	12,5	0,01±0,002*	10,0	0,01±0,002*	7,1
№ 7 P	0,01±0,002*	14,3	0,009±0,001*	45,0	0,01±0,003*	25,0
№ 8 Н	0,14±0,01	87,5	0,04±0,003*	40,0	0,08±0,005*	57,1
№ 8 P	0,1±0,008*	142,9	0,02±0,001	100,0	0,06±0,004*	150,0
№ 9 Нs	0,01±0,007*	6,3	0,009±0,001*	9,0	0,009±0,001*	6,4
№ 9 Нps	0,006±0,001*	4,6	0,004±0,001*	5,7	0,004±0,001*	4,4
№ 10 Н	0,11±0,004*	68,8	0,06±0,005*	60,0	0,09±0,005*	64,3
№ 10 P	0,07±0,005	100,0	0,03±0,002*	150,0	0,06±0,004	150,0

Высокая напряженность экологических факторов привела к тому, что в весенний период исследований сообщество целлюлозоразрушающих микроорганизмов примитивных неразвитых фрагментарных почв и гидроморфного солончака отличалось наиболее низкой численностью, которая по отношению к контролю составляла в среднем 13 и 5 % соответственно. Наряду с этим, в почвах участка № 8 количество микроорганизмов данной эколого-трофической группы в верхнем почвенном горизонте статистически достоверно не отличалось от контроля, а в нижележащем превышало контрольные показатели в 1,4 раза (табл. 3). Полученные данные вероятнее всего объясняются высоким вкладом в формирование микробоценоза почв этого мониторингового участка мицелиальных микроорганизмов и в первую очередь микромицетов, способных к разложению трудногидролизуемых соединений. Аналогичный характер распределения целлюлозоразрушающих микроорганизмов, однако с меньшими значениями численности, зафиксирован и в примитивных неразвитых почвах на песчанике.

При увеличении длительности мониторинговых исследований практически для всех участков отмечено снижение количества микроорганизмов-деструкторов целлюлозы в летний период с его возрастанием к осени (табл. 3). Исключение составляет лишь микробное сообщество гидроморфного солончака, отличающееся не только наименьшим количеством 4-10 КОЕ/г сухой почвы, но и для которого не

отмечено темпоральной вариации численности целлюлозоразрушающих микроорганизмов.

Выводы

1. В черноземе обыкновенном отмечены как максимальная общая численность бактерий, так и количество стрептомицетов. Минимальными микробиологическими показателями численности (4-5 % по отношению к контролю) характеризовались почвенные горизонты примитивных неразвитых фрагментарных почв. В интразональных почвах и в почвах антропогенно трансформированных экосистем, в отличие от зональной почвы (чернозем обыкновенный), отмечается приуроченность стрептомицетов к нижележащим почвенным горизонтам.

2. Установлено, что в примитивных неразвитых почвах отвала микромицеты занимают до 50 % численности микробоценоза. Наименьшими количественными показателями микроскопических грибов (1,2-1,8 тыс. КОЕ/г сухой почвы) характеризовались примитивные неразвитые почвы на песчанике.

3. Целлюлозоразрушающие микроорганизмы в микробоценозе почв мониторинговых участков представлены в наименьшей степени. Микробное сообщество гидроморфного солончака отличается не только их очень низким количеством (4-10 КОЕ/г сухой почвы), но и отсутствием сезонной вариации численности микроорганизмов-деструкторов целлюлозы.

Литература / References

Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М.: Агропромиздат, 1985. 351 с.

[*Dospikhov B.A.* The methodology of field experience (with the basics of statistical processing of research results). Moscow: Agropromizdat, 1985. 351 p.]

Железова А.Д., Чернов Т.И. Вертикально-ярусная структура гидролитических микробных комплексов лесного биогеоценоза // Материалы по изучению русских почв. Вып. 7 (34): сб. науч. докл. / ред. Б.Ф. Апарина. СПб.: Изд-во С.-Петерб. ун-та, 2012. С. 60-65.

[*Zhelezova A.D., Chernov T.I.* The vertical-tier structure of hydrolytic microbial complexes of forest biogeocenosis // Materials on the study of Russian soils. Vol. 7 (34): Sat scientific doc. / ed. B.F. Aparin. SPb.: Publishing House of St. Petersburg. University, 2012. P. 60-65.]

Звягинцев Д.Г. Биологическая активность почв и шкалы для оценки некоторых ее показателей // Почвоведение. № 6. 1978. С. 48-54.

[*Zvyagintsev D.G.* Biological activity of soils and scales for assessing some of its indicators // Soil Science. No. 6. 1978. P. 48-54.]

Ильина Н.А., Фуфаева Т.В., Казакова Н.А. Влияние химического вещества (толуол) на почвенную микрофлору // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. Т. 17, № 4 (4). 2015. С. 793-796.

[*Ilyina N.A., Fufaeva T.V., Kazakova N.A.* The effect of a chemical substance (toluene) on soil microflora // Bulletin of the Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences. Vol. 17. No. 4 (4). 2015. P. 793-796.]

Казакова Н.А., Ильина Н.А. Микробный ценоз почв как индикатор трансформации почвенного покрова // Международный научно-исследовательский журнал. № 6. 2013. С. 30-31.

[*Kazakova N.A., Ilyina N.A.* Microbial cenosis of soils as an indicator of soil cover transformation // International Scientific Journal. No. 6. 2013. P. 30-31.]

Колесникова И.Я., Труфанов А.М. Экологическая роль почвенных микромицетов в изменении биохимических показателей плодородия // Вестник АПК Верхневолжья. № 2 (38). 2017. С. 19-26.

[*Kolesnikova I.Ya., Trufanov A.M.* The ecological role of soil micromycetes in changing biochemical indicators of fertility // Bulletin of the AIC of the Upper Volga. No. 2 (38). 2017. P. 19-26.]

Методы почвенной микробиологии и биохимии / под. ред. Д.Г. Звягинцева. М.: МГУ, 1991. 304 с.

[Methods of soil microbiology and biochemistry / under. ed. D.G. Zvyagintsev. Moscow: Moscow State University, 1991. 304 p.]

Назаренко И.И., Польчина С.М., Никорич В.А. Грунтознавство. Чернівці: Книги-XXI, 2004. 400 с.

[*Nazarenko I.I., Polchina S.M., Nikorich V.A.* Pedology. Chernivtsi: Books-XXI, 2004. 400 p.]

Наплекова Н.Н. Метаболиты аэробных целлюлозоразрушающих микроорганизмов и их роль в почвах. Новосибирск: Новосибирский государственный аграрный университет, 2010. 228 с.

[*Napleкова N.N.* Metabolites of aerobic cellulose-destroying microorganisms and their role in soils. Novosibirsk: Novosibirsk State Agrarian University, 2010. 228 p.]

Полупан М.И., Соловей В.Б., Величко В.А. Класифікація ґрунтів України. К.: Аграрна наука, 2005. 300 с.

[*Polupan M.I., Solovey V.B., Velichko V.A.* Soil classification of Ukraine. Kiev: Agrna Nauka, 2005. 300 p.]

Приседський Ю.Г. Статистична обробка результатів біологічних експериментів. Донецьк: Касіопія, 1999. 210 с.

[*Prisedsky Yu.G.* Statistical processing of results of biological experiments. Donetsk: Cassiopia, 1999. 210 p.]

Руководство к практическим занятиям по микробиологии / под ред. Н.С. Егорова. М.: Изд-во МГУ, 1995. 224 с.

[Handbook of practical training in microbiology / ed. N.S. Egorov. Moscow: Moscow State University Publishing House, 1995. 224 p.]

Семенова И.Н., Ильбулова Г.Р., Суюндуков Я.Т. Изучение эколого-трофических групп почвенных микроорганизмов в зоне влияния горнорудного производства // Фундаментальные исследования. № 11, Ч. 2. 2011. С. 410-414.

[*Semenova I.N., Ilbulova G.R., Suyundukov Ya.T.* Studying of ecological-trophic groups of soil microorganisms in the zone of influence of mining production // Fundamental researches. No. 11, Part 2. 2011. P. 410-414.]

Хабибуллина Ф.М., Кузнецова Е.Г. Характеристика почвенной микобиоты во вторичных лиственных лесах подзоны средней тайги (Республика Коми) // Известия Самарского научного центра РАН. № 1-3. 2014. С. 891-895.

[*Khabibullina F.M., Kuznetsova E.G.* Characterization of soil mycobiota in secondary deciduous forests of the middle taiga subzone (Komi Republic) // Izvestiya Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences. № 1-3. 2014. P. 891-895.]

Широких И.Г., Товстик Е.В., Широких А.А., Ашихмина Т.Я. Функциональное разнообразие стрептомицетов в почвах лесных и луговых фитоценозов техногенных территорий // Теоретическая и прикладная экология. № 4. 2017. С. 74-81.

[*Shirokikh I.G., Tovstik E.V., Shirokikh A.A., Ashikhmina T.Ya.* Functional diversity of streptomycetes in soils of forest and meadow phytocenosis of technogenic territories // Theoretical and applied ecology. No. 4. 2017. P. 74-81.]

Bardgett R.D., Freeman C., Ostle N.J. Microbial contributions to climate change through carbon cycle feedbacks // *Isme Journal*. Vol. 2, № 8. 2008. P. 805-814.

Niner B.M., Brandt J.P., Villegas M. Analysis of partial sequences of genes coding for 16 S rRNA of actinomycetes isolated from *Casuarina eguiseitfolia* modules in Mexico // *Microbiol.* Vol. 62 (8). 1996. P. 3034-3036.

Статья поступила в редакцию 18.11.2019 г.

Syshchykov D.V., Agurova I.V., Syshchykova O.V. Biological activity of edaphotopes of anthropogenic transformed ecosystems // *Plant Biology and Horticulture: theory, innovation*. 2020. № 1(154). P. 141-152.

As a result of the carried out studies of biological activity of edaphotopes of anthropogenic transformed ecosystems, it was found that the largest number of microorganisms and streptomycetes it was characteristic for common chernozem. For the soil horizons of primitive undeveloped fragmented soils, was recorded the lowest percentage of the microorganisms number (on average 4-5% relative to the control). The number of streptomycetes in both intrazonal and soils of anthropogenic transformed soils and zonal soils varies in horizons. However, we have noted that in intrazonal and anthropogenic transformed soils streptomycetes are in most cases concentrated in underlying soil horizons. Our studies on micromycetes have found that this group of microscopic fungi accounts for up to 50% of the total number of microbiocenosis, with the smallest number recorded in the genetic horizons of primitive undeveloped soils on sandstone. Cellulose-destroying microorganisms in the soil microbiocenosis of monitoring sites are least represented.

Key words: *anthropogenic transformed ecosystems; edaphotope; microorganisms; streptomycetes; micromycetes; cellulose-destroying microorganisms*