



## ВЛИЯНИЕ РЕКУЛЬТИВАЦИИ ТЕХНОГЕННО НАРУШЕННЫХ ПОЧВ НА ЧИСЛЕННОСТЬ ОТДЕЛЬНЫХ ПРЕДСТАВИТЕЛЕЙ МИКРО- И МЕЗОФАУНЫ, СОСТАВ И ПРОДУКТИВНОСТЬ ЛУГОВОГО ЦЕНОЗА

Е.И. Семенова, И.О. Митянин, А.А. Ветчинников, А.Ю. Корниенков

ФГБОУ ВО «Нижегородская государственная сельскохозяйственная академия», г. Нижний Новгород, Россия

Цель исследований состояла в оценке флористического состава и продуктивности наземного фитоценоза луговой экосистемы, а также ее способности к восстановлению численности основных представителей микро- и мезофауны после проведения биологического этапа рекультивации светло-серой лесной почвы, подвергшейся техногенному нарушению. Эксперимент проведен на исследовательском полигоне лугового ценоза, техногенно нарушенного в 2011 г., на котором в 2012 г. выполнены работы по технической, а в 2013 г. — по биологической рекультивации, путем сравнения результатов оценки состояния фитоценоза и численности представителей педобионтов в период после проведения рекультивационных мероприятий (2014-2017 гг.). Анализ выполнены по стандартным методам, принятым при оценке биотической составляющей экосистемы. Отмечено, что рекультивация способствует более активному заселению техногенно нарушенных почв микрофауной в варианте с внесением органических удобрений и извести, особенно — по орбатидам, с сохранением этой тенденции во времени. Численность олигохет при этом возросла в 1,7 раза. На неудобренном участке полигона к 2017 г. на долю злаков, бобового компонента и разнотравья приходится 51, 12 и 37%, а на удобренном участке их доля выражается в 38, 30 и 32% соответственно. Установлено, что заселение нарушенных почв орбатидами идет активнее в варианте с внесением агрохимикатов, но первыми на нарушенные участки приходят коллемболы. Отмечено положительное влияние удобрений на восстановление численности олигохет. Продуктивность изучаемого фитоценоза на фоне применения удобрений была обеспечена равным участием злаков, бобовых и разнотравья, а на неудобренной почве — злаковым компонентом и сорно-рудеральной растительностью.

**Ключевые слова:** луговой ценоз, техногенно нарушенные почвы, коллемболы, орбатиды, олигохеты, продуктивность.

Почвенная фауна является важнейшей составляющей частью любого биогеоценоза, участвуя в процессах почвообразования и обеспечивая массэнергоперенос между составными элементами почвенной биоты и различными компонентами экосистемы, формируя, в конечном итоге, ее продуктивность, что отмечают многие исследователи [1]. Все это способствует поддержанию экологической устойчивости почвенно-биотического комплекса и возвращению землям их народно-хозяйственной значимости. Однако при техногенном нарушении почв, все увеличивающемся в последние годы, происходит нарушение всех функций почвы, что приводит к ухудшению условий существования педобионтов [3]. В связи с этим рекультивация земель после техногенного воздействия на строение почвенного профиля, как обязательный этап возвращения деградированных земель в активное использование, может стать позитивным фактором обеспечения приемлемых условий существования почвенной биоты и формирования продуктивности биоценоза.

Исследования в данной области устанавливают тесную связь между педобионтами и такими показателями почвы, как плотность твердой фазы, почвенный гидрорежим, наличие и качество органического вещества и элементов питания в минеральной форме, кислотность почвы и, несомненно, растительный покров [4]. Известно, что регулярное внесение азотсодержащих минеральных удобрений приводит к некоторому сокращению численности почвообитающих водорослей, коллембол, нематод и личинок насекомых в верхнем слое почвы, но благоприятствует увеличению количества и видового разнообразия клещей [5]. Есть свидетельства [4], что педобионты, проводя механическое перемешивание верхних почвенных горизонтов, ускоряют минерализацию растительного материала, спо-

собствуют процессам химической трансформации органики, перемешивания органического вещества с минеральной частью почвы, приводя, тем самым, к перераспределению в профиле почвы. Помимо этого, выделения педобионтов и их остатки приводят к появлению очагов повышенной концентрации как органического вещества, так и потенциально усвояемых культурными растениями макро- и микроэлементов [6].

В последние годы количество научных исследований по данной тематике, значительно увеличилось [7], а характеристики комплекса педобионтов можно рассматривать в качестве биологических индикаторов степени техногенной трансформации почв, а также направленности и интенсивности почвенно-восстановительных работ при проведении рекультивационных мероприятий.

Наиболее многочисленной группой в микрофауне, вносящей наибольший вклад в ход почвообразовательных процессов, являются орбатиды, участвующие в минерализации растительных остатков и, тем самым, способствующие процессам гумификации растительных остатков. Их наличие в почве является косвенным признаком наличия в почве органического вещества [8]. В минерализации органических соединений, привнесенных в почву, и их преобразовании в гумус, участвуют также коллемболы. В сильной степени этому способствует их взаимодействие с микробной популяцией почвы, а также способность коллембол к активизации процессов накопления в почве гумуса, представляющего собою, по большей части, экскременты этих мелких членистоногих.

Мезо- и микрофауна способствуют процессам восстановления и поддержания почвенного плодородия за счет оптимизации структуры почвы [9] и стимуляции протекания различных почвенных процессов на биохимической основе.

Техногенное влияние на природные экосистемы обычно напрямую влияет и на фитоценоз, вызывая его нарушения и обеднение видового состава [10], а мероприятия, направленные на восстановление почвенного плодородия, предусматривающие внесение агромультиплексов и создание культурного травостоя на основе многолетних и однолетних растений, способствуют постепенному восстановлению почвенного плодородия и народно-хозяйственной ценности земель. Экосистемы, которые формируются на нарушенных землях при минимальных энергетических затратах на залужение, как отмечается в [11], являются более устойчивыми к дальнейшим техногенным воздействиям [12], чем искусственно созданные при биологической рекультивации, и отличаются высокой продуктивностью фитоценоза и способностью к восстановлению биоразнообразия.

Цель исследований состояла в оценке флористического состава и продуктивности наземного фитоценоза луговой экосистемы, а также ее способности к восстановлению численности основных представителей микро- и мезофауны после проведения биологического этапа рекультивации механически нарушенной светло-серой лесной почвы.

Новизна проводимой работы связана с тем, что в настоящее время подобных исследований в России практически не проводится, хотя эти данные способствовали бы более качественному описанию процессов восстановления почвенного плодородия техногенно нарушенных земель. В связи с этим актуальность исследований обусловлена необходимостью выявления направленности взаимосвязи технологии рекультивации нарушенных почв лугового ценоза с ходом восстановления численности микроарthropод (коллемболы и орбатиды) и дождевых червей (представители мезофауны), что позво-



лит в дальнейшем уточнить набор рекультивационных мероприятий.

### Методика исследования

Исследования проведены на исследовательском полигоне кафедры агрохимии и агроэкологии Нижегородской государственной сельскохозяйственной академии, который находится в Дальне-Константиновском районе, на востоке Нечерноземной зоны Европейской части России в Средне-Русской провинции южной подзоны таежно-лесной зоны. Климат в месте проведения исследований характеризуется как умеренно континентальный. Зима холодная и многоснежная, лето — жаркое. Среднегодовая температура -3,3°C, годовая сумма осадков — 450-500 мм, а гидротермический коэффициент — 1,2. Почвы полигона — светло-серые лесные легкосуглинистые на лессовидных суглинках, подстилаемых флювиогляциальными песками.

Исследовательским полигоном является естественный многолетний луг, используемый в качестве сенокоса. Растительность можно охарактеризовать как луговое разнотравье. Площадь участка — 5 га. Данный участок в 2011 г. подвергся техногенному механическому воздействию, связанному с нарушением сложения почвенного профиля при проведении строительно-ремонтных работ на магистральном нефтепроводе. Почвенный покров полигона представлен светло-серыми лесными легкосуглинистыми почвами, сформированными на лессовидных суглинках. После окончания строительных работ (весной 2012 г.) был завершен технический этап рекультивации (выравнивание территории, чистовая планировка). Для проведения биологического этапа рекультивации нарушенную территорию разделили на 2 равных участка. На первом участке из стандартного набора мероприятий, проводимых в рамках биологического этапа рекультивационных работ, в начале 2013 г. были внесены доломитовая мука, торфонавозный компост в дозе 80 т/га и посеяны многолетние бобово-злаковые травы (вариант «Удобрения + Залужение»). На другой части участка выполнено только залужение техногенно нарушенного почвенного покрова (подсев трав), без глубокой обработки почвы, внесения удобрений и известкования (вариант «Залужение»). В состав травосмеси для данного объекта были включены клевер красный, тимopheвка луговая, овсяница луговая. В качестве варианта сравнения использовали луг,

не затронутый строительными работами на магистральном трубопроводе, расположенный на расстоянии 650 м от границы нарушенной территории (вариант «Контроль»).

Фаунистический комплекс почв довольно разнообразен и включает микро- и мезофауну. Одной из задач исследований, которая решалась на исследовательском полигоне, была оценка территории луга на заселенность микро- и мезофауны, наиболее изученными представителями которых на нарушенных почвах являются панцирные клещи, ногохвостки и малощетинковые черви [7]. Отбор проб почвы на заселенность микроартроподами (коллемболами, орибатидами) осуществляли в середине июля с глубины 0-10 см, металлическим пробоотборником прямоугольной формы (объем 0,125 дм<sup>3</sup>) из 20 точек двух пробных площадок размерами по 1 м<sup>2</sup>, размещенных на предварительно выбранных двух стационарных участках территории нарушенного лугового биоценоза после его дополнительного залужения, а также на двух фоновых площадках, расположенных на контрольном участке, не подвергшемся техногенному нарушению. Коллембол и орибатид из почвенных образцов выделяли стационарно в лаборатории по методу Тульгрена-Берлезе с подогревом электролампам мощностью 40 Вт в течение трех дней экспозиции. Экстрагированные экземпляры микроартропод учитывали визуально под бинокулярным микроскопом [14].

Представителей мезофауны (олигохеты) учитывали также в первом квартале июля, используя метод почвенных раскопок с последующей ручной разборкой проб. Отбор почвенных монолитов площадью 50×50 см (0,25 м<sup>2</sup>) проводили с глубины 0-50 см. Фиксация представителей мезофауны осуществлялась с помощью 4% формалина в этиловом спирте. Фитоценотические наблюдения проводили с использованием стандартных общепринятых геоботанических методов на пробных площадках размерами 1 м<sup>2</sup>, которые закладывали в 5-кратной повторности на каждом изучаемом участке [15]. Результаты исследования были математически обработаны с использованием метода описательной статистики [16].

### Результаты и обсуждение

В проведенной нами работе в качестве основных представителей микрофауны рассматриваются орибатиды, или панцирные клещи

(*Oribatei*), и коллемболы, или ногохвостки (*Collembola*), а в качестве представителей мезофауны использована культура дождевого червя — олигохеты (*Lumbricomorpha*).

Результаты учета численности представителей микро- и мезофауны в почвах лугового ценоза в динамике за ряд исследований приведены в таблице 1.

Установлено, что, как и в исследованиях В.Б. Колесникова, на пашне численность микроартропод на полосе отвода магистрального нефтепровода значительно зависит от уровня техногенного воздействия на почвенный покров [17]. В итоге можно констатировать, что заселение техногенно нарушенных почв после проведения рекультивационных работ микрофауной активнее идет в варианте 2 — «Удобрения + Залужение» (благодаря внесению известковых материалов и органических удобрений — более аналогично пахотным почвам), особенно данная тенденция характерна для орибатид. При этом данная тенденция сохраняется и во времени: сразу после проведения рекультивационных мероприятий численность панцирных клещей в почве второго варианта составила 4780 экз./м<sup>2</sup> против 1050 экз./м<sup>2</sup> в третьем варианте — «Залужение» (в 4,6 раза больше), а на конец периода наблюдений (в 2017 г.) — 5340 и 1260 экз./м<sup>2</sup> соответственно (в 3,9 раза больше).

В целом коллемболы значительно быстрее остальных представителей микрофауны восстанавливают численность [18], что отмечено и в проведенных нами исследованиях: разница между вариантами с внесением удобрений (вариант 2) и без них (вариант 3) после всех этапов рекультивации составила всего 130 экз./м<sup>2</sup> (7%) [7]. На заключительном этапе наблюдений восстановление в варианте «Залужение» (вариант 3) техногенно трансформированной луговой экосистемы по численности ногохвосток превзошло вариант «Удобрения + Залужение» (вариант 2), включающий более полный набор мероприятий — разница составила 140 экз./м<sup>2</sup>.

На этапе завершения строительства и начала биологического этапа рекультивации довольно резко сократилось количество панцирных клещей (орибатид) — в 2,7 раза в варианте 2 и в 12,2 раза — в варианте 3. Численность коллембол (ногохвосток), несмотря на их невысокую в целом устойчивость к антропогенному воздействию и довольно мелкие размеры [7], сократилась значительно меньше — в 1,6-1,7 раза.

Таблица 1

Численность представителей микро- и мезофауны в нарушенном луговом ценозе после проведения биологической рекультивации (в слое 0-50 см), экз./м<sup>2</sup>

Вариант	Показатели	<i>Collembola</i>		<i>Oribatei</i>		<i>Lumbricomorpha</i>	
		2014 г.	2017 г.	2014 г.	2017 г.	2014 г.	2017 г.
Контроль	Lim	2729-3224	2872-3353	11579-13952	11720-13694	23-28	24-28
	M ± m	2980±38	3070±36	12800±180	12600±156	25,2±0,4	25,8±0,3
	V, %	6	5	6	6	7	6
Удобрения + Залужение	Lim	1139-2554	1457-2404	3446-6163	4094-6383	34-51	35-48
	M ± m	1860 ±110	1930 ±74	4780 ±192	5340 ±186	43,0 ±1,2	39,4 ±0,9
	V, %	26	17	18	16	12	10
Залужение	Lim	1090-2415	1560-2535	745-1459	972-1499	7-13	15-21
	M ± m	1730 ±103	2070 ±64	1050 ±48	1260 ±38	9,4 ±0,4	16,7 ±0,4
	V, %	27	14	21	14	21	12
HCP <sub>05</sub>		205		567		2,4	

Здесь и в таблице 2: Lim — интервал варьирования признака; M ± m — среднее и ошибка среднего; V, % — коэффициент вариации признака; HCP<sub>05</sub> — наименьшая существенная разница.



Влияние восстановительных мероприятий на состав и продуктивность ранее нарушенной луговой экосистемы

Вариант	Число растений на 1 м <sup>2</sup> , шт.						Продуктивность, т/га	
	всего			в том числе			средняя	± к контролю
	Lim	M ± m	V, %	1	2	3		
<b>2014 г.</b>								
Контроль	367 — 441	402 ± 5	6	225	72	104	23,0	-
Удобрения + Залужение	112 — 154	129 ± 3	18	57	56	17	19,9	-3,1
Залужение	322 — 554	437 ± 14	27	197	162	79	25,0	2,0
НСР <sub>05</sub>								3,1
<b>2017 г.</b>								
Контроль	420 — 503	459 ± 7	5	271	78	110	23,6	-
Удобрения + Залужение	304 — 441	378 ± 9	24	144	113	121	21,3	-2,3
Залужение	236 — 351	293 ± 8	21	150	35	109	23,4	-0,2
НСР <sub>05</sub>								2,4

Примечание: 1 — злаки; 2 — бобовые; 3 — разнотравье.

В рамках проводимого исследования было установлено, что включение на биологическом этапе рекультивации мероприятий по внесению органических удобрений и известки способствует росту численности представителей как микроартропод, так и мезофауны, в качестве которых в данных исследованиях выступали дождевые черви — их количество увеличилось в 1,7 раза. Следует также отметить, что положительное влияние удобрений и известковых материалов сохранялось на протяжении всего этапа исследований, хотя и сократилось до 1,5-кратного увеличения численности олигохет.

Влияние рекультивационных мероприятий, проводимых на техногенно нарушенных почвах исследовательского полигона, на состав и продуктивность наземного фитоценоза приведено в таблице 2.

В литературе отмечают [7], что сукцессия антропогенно-преобразованных агроэкосистем протекает существенно быстрее на тех территориях, где в процессе техногенного нарушения сохраняется (хотя бы частично) пахотный горизонт, который, помимо прочего, содержит семена сорно-рудеральной растительности. Данные тенденции были отмечены и в проведенных нами исследованиях: на момент завершения технического этапа рекультивации на том участке полигона, где не проводилось глубокой обработки почвы (вариант 3), плотность (количество растений) травостоя была значительно выше, чем на том участке, где проводились вспашка и внесение органических удобрений и известковых материалов (вариант 2).

На момент завершения исследований (2017 г.) увеличение численности растений на 1 м<sup>2</sup> участка без внесения навоза идет за счет разнотравья и злаков: при этом злаковых трав в фитоценозе — 51%, бобовых — 12%, а разнотравья — 37%.

Применение мероприятий по внесению органических удобрений и известковых материалов на биологическом этапе рекультивации значительно изменяет соотношение между злаковыми, бобовыми и разнотравьем, и их долевое участие можно выразить как — 38:30:32, что в целом характеризует данный фитоценоз как более сбалансированный. На участке без внесения удобрений наибольшее участие в формировании травостоя принимали злаки (59%), и сорно-рудеральная растительность, на ее долю приходилось почти четверть биомассы расте-

ний (24%). Доля бобового компонента в данном варианте была минимальной и составляла 17%.

Продуктивность биомассы естественной луговой экосистемы за время проведения исследований значительно не изменилась.

Вариант проведения рекультивации, включающий внесение навоза и известковых материалов (вариант 2) не смог в полной мере восстановить нарушенный фитоценоз. Урожайность биомассы трав в данном варианте значительно уступала контрольному (фон). Однако на момент завершения исследований и окончания рекультивации, урожайность высеванных после внесения навоза и известковых материалов трав практически достигла уровня контроля. Вариант, включающий только подсев трав (без внесения навоза) позволил сохранить травостой и общую продуктивность на уровне контрольного варианта.

### Выводы

Создание в ходе проведения биологического этапа рекультивации более благоприятных условий для существования микро- и мезофауны путем внесения удобрений и агрохимикатов предохраняет их от возможного катастрофического снижения численности. Использование органических удобрений на известкованном фоне вызывает более активное восстановление численности микроартропод в сравнении с вариантом, в котором использовался исключительно подсев трав и не вносились удобрения. При этом численность олигохет, как представителей мезофауны, на участках с нарушенным плодородным слоем после проведения работ по рекультивации, включающих использование органических удобрений и известкование, превышает их численность в контрольном варианте (на фоновой почве).

Общая продуктивность фитоценоза трав, высеванных на участках с использованием удобрений, равно как и травостоя на необоженных участках, на момент окончания рекультивации (спустя 4 года) сравнялись и не отличались от продуктивности трав фоновой участка. Общая продуктивность на участках с применением удобрений была обусловлена равным соотношением злакового, бобового и сорно-рудерального компонента (38, 30 и 32% соответственно), а в варианте без использования органических удобрений — злаками и разнотравьем (51 и 37% соответственно).

### Литература

1. Роль почвы в формировании и сохранении биологического разнообразия / под ред. В.Г. Добровольского, И.Ю. Чернова. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2011. 273 с.
2. Копцева Е.М. Устойчивость растительного покрова тундр к механическим нарушениям на внутриценотическом и надценотическом уровнях // Ботанический журнал. 2014. Т. 99. № 4. С. 402-417.
3. Булгакова М.А. Состав и численность дождевых червей как косвенный показатель физических свойств почв степных агроценозов Предуралья // Современные проблемы науки и образования. 2017. № 2. С. 227.
4. Жигжитова И.А. Влияние источников азота на биомассу членистоногих (насекомых-фитофагов, паразитов и хищников) в агроэкосистеме сорго, возделываемого при нулевой и традиционной обработке почвы. (США) // Экологическая безопасность в АПК. Реферативный журнал. 2000. № 1. С. 128.
5. Samoilova E.S., Kostinab N.V., Striganova B.R. Effects of the Vital Activity of Soil Insect Larvae on Microbial Processes in the Soil. Biology Bulletin. 2015. Vol. 42. No. 6. Pp. 563-569.
6. G. Lakshmi, Ammini Joseph. Soil microarthropods as indicators of soil quality of tropical home gardens in a village in Kerala, India. Agroforestry Systems. 2017. Vol. 91. Issue 3. Pp. 439-450.
7. Вершинина С.Д. Структура почвенной мезофауны в градиенте урбанизации // Вестник Удмуртского университета. 2011. Вып. 2. С. 84-89.
8. Бессолицына Е.П. Устойчивость сообщества почвенных беспозвоночных Южнотаежных геосистем Нижнего Приангарья в условиях антропогенного воздействия // География и природные ресурсы. 2011. № 1. С. 100-106.
9. Артемьева Т.И. Комплексы почвенных животных и вопросы рекультивации техногенных территорий. М.: Наука, 1989. 109 с.
10. Капелькина Л.П. О естественном зарастании и рекультивации нарушенных земель Севера // Успехи современного естествознания. 2012. № 11. С. 98-102.
11. Агроэкологическое состояние и перспективы использования земель России, выбывших из активного сельскохозяйственного оборота / под ред. Г.А. Романенко. М.: Росинформгротех, 2008. 64 с.
12. Ермилов С.Г. Лабораторное культивирование орибатидных клещей надсемейства Орибатиды (Classei Crotoniidae (Acarí, Oribatida) с целью изучения их развития. Н.Новгород: Вектор ТИС, 2008. 54 с.
13. Методы почвенно-зоологических исследований / под ред. М.С. Гилярова. М.: Наука, 1975. 280 с.
14. Ярошенко П.Д. Геоботаника. М.: Просвещение, 1969. 200 с.
15. Дмитриев Е.А. Математическая статистика в почвоведении. М.: Изд-во МГУ, 1995. 320 с.
16. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М.: Альянс, 2011. 352 с.