

## ВЛИЯНИЕ РЕКРЕАЦИОННОЙ НАГРУЗКИ НА СОСТОЯНИЕ ПОЧВЕННО-ЖИВОТНОГО КОМПЛЕКСА СОСНОВЫХ ФИТОЦЕНОЗОВ

*В рекреационных хвойных насаждениях в составе лесной подстилки и верхних почвенных слоев встречаются различные представители насекомых, которые играют важную роль в разложении растительных остатков и являются основными действующими элементами биоты рекреационных экосистем. С целью выяснения некоторых особенностей почвенно-животных комплексов рекреационных лесов проводилось биохимическое исследование биогенного состава и активности некоторых ферментов в тканях *Insecta: Carabus portensis L., Carabus nemoralis Mull., Geotrupes stercorarius Scr.**

### Введение

Оценивать состояние природных экосистем в условиях постоянно изменяющейся рекреационно-техногенной нагрузки и погодно-климатических условий необходимо по параметрам естественных биоценозов на основе физико-химических анализов состояния окружающей среды и загрязняющих компонентов, по оценке биоразнообразия фитоценозов, специфике местообитания, условиям роста, развития, критериям структуры, параметрам компонентов, по жизнеспособности, продуктивности, биомассе живых организмов, их энзиматической активности, где конечный этап контроля – информационно-логический анализ, моделирование прогноза потребностей функционирования биоты [1, 2].

Требования, предъявляемые к биомониторам (биологическим тест организмам), – достаточно высокая встречаемость в контролируемых экосистемах, определенная степень сопряженности с объектом индикации, толерантность к индицируемому фактору и относительная устойчивость к временным колебаниям экологических параметров [2, 3]. Педобионты, благодаря тесной связи с почвой и наличию ответной реакции на изменения среды обитания, представляют перспективный тест-объект, позволяющий на разных стадиях антропогенной трансформации обнаружить отклонения в функционировании почвенного блока и природного комплекса в целом. Контроль за биотой может осуществляться на видо-

вом, популяционном и ценотическом уровнях с использованием организмов различных таксономических рангов [2].

Являясь сорбентами природных и синтезируемых или привнесенных человеком токсических соединений, педобионты выполняют активную роль в трансформации и перераспределении поступающих в почву веществ. Определение корреляционных зависимостей между содержанием загрязняющих веществ в почвах, растениях и тканях животных может использоваться для оперативного и прогнозного биотестирования.

Рекреационная нагрузка и биота – определяющие элементы функционирования экосистем в условиях современного техногенного прессинга, оценка степени этой нагрузки через активность биоты наиболее адекватно отражает системную нарушенность функциональных связей в природных сообществах, ответную реакцию и механизмы поддержания их гомеостаза.

Количественная оценка энзиматической активности биоты: растений, беспозвоночных животных не только выражает суть метаболических реакций в связи с рекреационным влиянием, но также позволяет раскрыть природу почвенных ферментов по их растительному и микробному происхождению из корневых систем, животных тканей и клеток микробиоты.

Различные аспекты влияния животных на химические свойства почвы отождествляются с их участием в биогенном круговороте, однако их роль снижается в связи с малой величиной зоомассы по сравнению с фитомассой, а также со статическим подходом к изучению круговорота в растительном сообществе, при котором интенсивность потока веществ в звене “почва-растение” рассматривается через значения прироста растительной фитомассы и накопления в ней химических элементов, что привело к статичному рассмотрению вклада животных в круговорот и концепции несравнимости продуктивности, биомассы и количества животных с продуктивностью и величиной опада у растений [1, 2, 3].

Участие животных в биогенном круговороте химических элементов в биогеоценозах сложно и многообразно. Исследования проводились с целью выяснения биодиагностических возможностей доминирующих видов напочвенных беспозвоночных разных экологических уровней в аспекте выяснения основных механизмов воздействия рекреационной нагрузки на биогенность почвы и активность ферментов [3] при различной степени рекреационной нагрузки. Полевые исследования воздействия рекреационной нагрузки проводились в Любужском лесничестве Могилевского лесхоза на территории интенсивной посещаемости, зоны массового отдыха, пригородных автомагистралей и учебно-опытной базы Могилевского государственного университета им. А.А. Кулешова в большом массиве сосновых насаждений I-II бонитетов в сосняках елово-мшистых, елово-кисличных, елово-черничных, с участием в 1-м ярусе сосны, ели, дуба, в подлеске и подросте ели, лещины, в напочвенном покрове зеленых мхов, кислицы обыкновенной, черники и брусники в подзоне грабово-дубово-темнохвойных лесов Беларуси [5].

### Основная часть

Исследования рекреационных насаждений проводили методом маршрутного изучения типов леса в соответствии с общепринятыми методическими указаниями (В.Н. Сукачев, И.Д. Юркевич). Для исследования почвенно-грунтовых условий на пробных площадях закладывались разрезы глубиной до 2 м, описывали морфологические признаки генетических горизонтов, измеряли глубину УГВ, отбирали образцы почв и растений для анализа физико-химических, биохимических свойств и учета микробиоты.

Определение содержания  $C_{\text{орг}}$ ,  $N_{\text{общ}}$ ,  $P_{\text{вал}}$  гумуса: по Никитину, Кьельдалю, Шерману, Тюрину;  $N_{\text{л-г}}$ ,  $P_2O_5$ , по Корнфилду, Кирсанову, кислотности  $pH_{\text{KCl}}$  – потенциметрически. Ферментативную активность определяли по методам Т.А. Щербаковой (1983). Статистический анализ проводился с использованием программного продукта “Microsoft Excel 2003”.

По физическим свойствам лесные дерново-палево-подзолистые почвы характеризуются мощными (3-8 см) сухими, среднеразложившимися подстилками с элементами хвои, древесного опада, разложившимися остатками мхов и корневой массы, плотность которых от 0,30 до 0,69 г/см<sup>3</sup>, объемная масса почвенных горизонтов от гумусовых до иллювиальных 1,05 > 1,44 > 1,72 г/см<sup>3</sup>, плотность почвенных проб и мелкоземной фракции лесной подстилки с элементами среднеразложившейся фитомассы составляет для минеральных почвенных горизонтов от 2,40 до 2,75 г/см<sup>3</sup>, для поверхностной части эдафотопов – 1,40 > 2,10 > 2,53 г/см<sup>3</sup>, влажность по почвенному профилю возрастает от 22,30 до 34,80%, а по самим подстилкам от мшистых, кисличных к черничным до 33,60-56,80%, порозность от гумусовых к подзолистым и иллювиальным горизонтам снижается от 56,25 до 35,10%, в лесных подстилках с достаточно высоким количеством мелкоземной фракции порозность возрастает до 77-80%, pH среды лесных подстилок среднекислая (4,0-4,8) и фактически не изменяется по генетическому профилю дерново-палево-подзолистых почв, в иллювиальных горизонтах мшистых насаждений pH немного ближе к кислым пределам, тогда как в кисличных и черничных – ближе к среднекислым показателям.

По химическим свойствам лесные дерново-палево-подзолистые почвы хвойных насаждений пригородной рекреационной зоны характеризуются по содержанию углерода органической массы подстилок от 16,57 до 37,66-39,28% в елово-черничных сосняках, общего азота – от 0,95 до 1,31-1,44% и валового фосфора от 0,10 до 0,15%. Количество легкогидролизуемого азота и подвижного фосфора в подстилках соответственно составляет 67,76-117,04 и 18,69-35,06 мг/100 г подстилочного материала, в гумусовых горизонтах этих почв содержание подвижных форм азота уменьшается в среднем в 10 раз, фосфора в 3-6 раз, в иллювиальных – содержание этих элементов довольно низкое: азота 1,30-4,62 и фосфора 1,62-4,97 мг/100 г почвы. Легкогидролизуемый азот составляет 4-6% от общего, соотношение C:N в лесных подстилках 17:1-29:1, более минерализованы подстилки в елово-черничных сосняках.

Ферментативная активность определяет скорость трансформации и мобилизации органоминеральных соединений, а также специфику окислительно-восстановительных процессов, где такие ферменты, как каталаза и дегидрогеназа, существенно толерантны к воздействию экзогенных факторов. Каталазная активность в лесных подстилках возрастает по мере снижения рекреационной нагрузки  $18,30-21,20 > 28,15-33,35 \text{ см}^3 \text{ O}_2$  за 2 мин. на 1 г подстилочного материала.

В гумусовых, подзолистых и гумусово-подзолистых горизонтах дерново-палево-подзолистых почв каталазная активность снижается в 10-30 раз и более, что составляет  $0,5-0,9 > 1,9-2,3 \text{ см}^3 \text{ O}_2$  за 2 мин. на 1 г почвы, в иллювиальных горизонтах показатели каталазной активности еще ниже  $0,10-0,55 \text{ см}^3 \text{ O}_2$  за 2 мин. на 1 г почвы.

Фосфатазная активность лесных подстилок хвойных насаждений менее вариабельна и составляет  $2,34-2,47 > 2,65-2,80 \text{ мг P}$  за 24 ч на 1 г почвы. В гумусовых, подзолистых и гумусово-подзолистых горизонтах этих почв фосфатазная активность ниже в 20-40 раз и равна  $0,05-0,08-0,12 \text{ мг P}$  за 24 ч на 1 г почвы, еще ниже она в минеральных иллювиальных горизонтах  $0,010-0,030 \text{ мг P}$  за 24 ч на 1 г почвы, с некоторой тенденцией увеличения к подстилающей породе.

Весьма специфична реакция разложения полисахаридов в лесных подстилках и дерново-палево-подзолистых почвах, определяемая по инвертазной активности, где наиболее интенсивная динамика их трансформации наблюдается в менее деформированных подстилках с кисличным и черничным напочвенным покровом  $30,96-34,20 > 46,90-49,17 \text{ мг глюкозы}$  за 4 ч на 1 г подстилочного материала.

Дегидрогеназная активность лесных подстилок определяется в первую очередь интенсивностью микробиологических процессов разложения органогенного фитоматериала, что наиболее характерно в условиях кисличного и черничного напочвенного покрова.

В наших условиях скорость дегидрогеназной реакции возрастает в лесных подстилках в направлении к фитоценозам с черничным напочвенным покровом  $0,35-0,74 > 0,80-1,24 \text{ мг ТФФ}$  (трифенилформазана) за 24 ч на 1 г подстилочного материала. В гумусовых, подзолистых и гумусово-подзолистых горизонтах названных почв дегидрогеназная активность уменьшается в 10-20 раз и равна  $0,010 > 0,051 > 0,073 > 0,092 \text{ мг ТФФ}$  за 24 ч на 1 г почвы, в иллювиальных горизонтах обнаруживаются очень низкие, почти "следовые количества дегидрогеназы"  $0,002-0,010 \text{ мг ТФФ}$  за 24 ч.

Были выявлены положительные корреляционные связи между количеством биогенных элементов (С, N, P) и каталазной активностью  $r=0,90-0,98$  ( $sr=0,04-0,08$ ), с инвертазной активностью коэффициенты корреляции равны  $r=0,95-0,97$  ( $sr=0,05-0,07$ ), с активностью фосфатазы  $r=0,90-0,95$ , с активностью дегидрогеназы  $r=0,73-0,83$  ( $sr=0,09-0,13$ ). Выявлена отрицательная корреляционная связь между ферментативной активностью и объемной массой почвенных горизонтов:  $r=-0,81-0,96$  ( $sr=0,05-0,12$ ).

Корреляционные связи между ферментативной активностью и содержанием легкогидролизуемых и подвижных форм азота и фосфора соответственно равны  $r=0,81-0,97$  ( $sr=0,07-0,12$ ).

Характер взаимодействия ферментативных процессов трансформации органического вещества в дерново-палево-подзолистых почвах определяется корреляционными связями между показателями каталазной, фосфатазной активности и активности инвертазы и дегидрогеназы:  $r=0,81-0,97$  ( $sr=0,07-0,11$ ). Потенциальная каталазная активность в расчете на полутораметровый слой дерново-палево-подзолистой почвы с учетом мощности генетических горизонтов и их объемной массы на  $1 \text{ см}^3$  имеет следующие показания:  $96,12 > 153,55 > 177,14 > 199,03 \text{ см}^3 \text{ O}_2$  за 2 мин. на 1 г почвы.

В связи с выяснением некоторых особенностей энзиматической активности биоты рекреационных лесов проводилось биохимическое исследование биогенного состава (С, N, P) и активности каталазы, инвертазы и фосфатазы в тканях Insecta: *Carabus portensis* L. (жужелица садовая), *Carabus nemoralis* Mull. (жужелица лесная), *Geotrupes stercorarius* Scr. (навозник лесной) общепринятыми методами (таблица).

#### Химический состав и энзиматическая активность насекомых напочвенного покрова сосновых фитоценозов рекреационной зоны г. Могилева

Insecta	С	N	P	Каталаза, $\text{см}^3 \text{ O}_2$ за 2 мин.	Инвертаза, мг глюкозы за 4 ч	Фосфата за, мг P за 24 ч
<i>Carabus portensis</i> L.	25,865	1,382	0,669	2,70 - 3,00	60,80 - 62,00	0,70 - 0,75
<i>Carabus nemoralis</i> Mull.	37,110	3,498	0,863	2,40 - 2,65	54,20 - 56,35	0,91 - 0,97
<i>Geotrupes</i> <i>stercorarius</i> Scr.	31,495	2,149	0,750	3,40 - 3,78	60,00 - 60,55	0,80 - 0,87

В наших исследованиях были выявлены величины содержания углерода в тканях насекомых, наиболее часто встречающихся в подстилках рекреационных лесов: жужелицах и навозниках, которые колеблются в пределах 26-37%. По монографии А.Д. Покаржевского "Геохимическая экология наземных животных" [3], Смп. - Стах. в тканях животных 35-55%, что указывает на достоверные результаты.

Различия по содержанию углерода между бактериями, растениями и животными связаны с большой "энергоемкостью" животных по сравнению с растениями, так как содержание углерода является до некоторой степени энергетической характеристикой организма. Резкие отклонения в содержании углерода в животных от средней величины будут определяться зольностью животных [2]. Относительное постоянство содержания углерода у животных в пределах 40-50%, свидетельствует о том, что эволюция животных шла на количественно единой углеродной основе.

По нашим результатам, содержание углерода в тканях насекомых составляет 1,5-3,5% и, поскольку, в тканях насекомых, как и макромицетов, высокое содержание хитина эти величины могут быть близкими. Содержание азота в насекомых и их личинках может определяться накоплением неорганического азота в организме, однако в целом концентрация азота в телах животных определяется долей белковых веществ в организме.

В отличие от углерода и азота концентрация фосфора значительно колеблется внутри отдельных групп животных. В бактериях концентрация фосфора – 0,9-3%, в наземных растениях – 0,23%, в актиномицетах – 1,0%, в мицелии – 0,24%, в плодовых телах – до 1,5% [3]. Согласно нашим результатам, концентрация фосфора в тканях насекомых составляет 0,6-0,9%, что не противоречит опубликованным материалам. Фосфор – энергетический элемент и благодаря макроэргическим связям в органических фосфатах происходит аккумуляция и передача энергии в живых организмах.

Энзиматическая активность определяет уровень трансформации органической массы и скорость окислительно-восстановительных реакций. В телах насекомых, населяющих лесную подстилку рекреационных лесов, каталазная активность колеблется в пределах 2,4-3,8 см<sup>3</sup> за 2 мин. на 1 г сухой массы, что говорит о довольно высоком энергетическом потенциале при соответствующих тканевых макроэнергетических единицах С – 26-37%.

Инвертазная активность трансформации углеводов обладает сравнительно высокими показателями в тканях насекомых от 54 до 62 мг глюкозы за 4 ч на 1 г сухой массы, идентична интенсивной трансформации органического вещества в лесных подстилках. Фосфатазная активность от 0,70 до 0,97 мг Р за 24 ч на 1 г сухой массы в телах насекомых, по-видимому, соответствует лимитируемой концентрации фосфора и его мобилизации при различных физиологических состояниях [6].

### Заклучение

Биогенный потенциал и энзиматическая активность насекомых деструкторов лесных подстилок указывает на важную роль ферментативных систем живых организмов в трансформации органического вещества и круговороте биогенных элементов, на возможность биоиндикации токсичности окружающей среды, антропогенного прессинга.

Методы оценки и слежения за состоянием экосистем с использованием живых организмов имеет ряд преимуществ. По сравнению с физическими и химическими методами использование биологических показателей является более информативным и технически менее сложным, так как дает возможность получения оперативной и менее дорогостоящей информации о состоянии экосистем в зонах, наиболее подверженных антропогенному воздействию.

*СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ*

1. **Криволуцкий, Д.А.** Почвенная фауна в экологическом контроле / Д.А. Криволуцкий. – М. : Наука, 1994. – 272 с.
2. Оценка структуры, состояния и устойчивости насаждений общего пользования на территории г. Могилева. Разработка рекомендаций по оптимизации структуры озеленения и повышению устойчивости насаждений общего пользования: отчет о НИР / ИПИПРЭ НАНБ ; рук. Л.А. Кравчук. – Мн., 2005. – 82 с. – № ГР 20051719.
3. **Покаржевский, А.Д.** Геохимическая экология наземных животных / А.Д. Покаржевский. – М. : Наука, 1985. – 300 с.
4. **Дыренко, С.А.** Изменение лесных биогеоценозов под влиянием рекреационных нагрузок и возможность их регулирования / С.А. Дыренко // Рекреационное лесопользование в СССР. – М. : Наука, 1983. – С. 1–33.
5. **Голод, Д.С.** Растительные ресурсы Беларуси, их состояние и рациональное использование / Д.С. Голод // Природные ресурсы. – 1999. – № 1. – С. 88–101.
6. **Ефремов, А.Л.** Микробиота и биогенность почв сосновых лесов Беларуси / А.Л. Ефремов. – Минск : Право и экономика, 2002. – 75 с.

Поступила в редакцию 29.06.2010 г.

Электронный архив библиотеки МГУ имени А.А. Лукашова