

УДК 504.7:551.577.33+574.34:592

ВЛИЯНИЕ ПРОМЫШЛЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ НА СУТОЧНУЮ ДИНАМИКУ ОБИЛИЯ БЕСПОЗВОНОЧНЫХ-ХОРТОБИОНТОВ*

Нестерков Алексей Вадимович, кандидат биологических наук, научный сотрудник

Воробейчик Евгений Леонидович, доктор биологических наук, заведующий лабораторией

Институт экологии растений и животных УрО РАН

г. Екатеринбург, ул. 8-го марта, 202,

тел. (343) 210-38-58, e-mail: nesterkov@list.ru

Предпринята попытка оценить влияние выбросов медеплавильного производства на ход суточной динамики беспозвоночных-хортобионтов по степени ее синхронности на разных участках градиента загрязнения. Коэффициенты конкордации Кенделла были рассчитаны для разных уровней пространственной организации сообществ – внутри каждой из зон нагрузки, между зонами и во всем районе исследования. Во всех рассмотренных случаях выявлена статистически значимая согласованность суточной динамики, как для общего обилия, так и для всех исследованных трофических групп. Полученные данные косвенно подтверждают предположение о приоритете эндогенных механизмов среди факторов, обуславливающих суточную динамику беспозвоночных-хортобионтов.

Ключевые слова: беспозвоночные-хортобионты, круглосуточное кошение, суточная динамика, коэффициент конкордации, промышленное загрязнение, медеплавильное производство.

INFLUENCE OF INDUSTRIAL POLLUTION ON DIURNAL VARIABILITY OF THE ABUNDANCE IN CHORTOBIONT INVERTEBRATES

Nesterkov Alexey V., Vorobeychik Evgeny L.

An attempt to evaluate the influence of copper-melting industry emissions to diurnal variability of the abundance of chortobiont invertebrates was undertaken with the range of concordance of the latter in different sites of pollution gradient. The Kendall coefficients of concordance were calculated for various levels of spatial organization of communities: within every zone in the gradient, between the zones and for all the investigated area. Statistically reliable concordance in diurnal variability was revealed for every examined case, both for total abundance and the abundance of every investigated trophic group. Obtained data indirectly confirms the supposition of priority of endogenous controlling mechanisms among the governing factors of diurnal variability of chortobiont invertebrates.

Key words: chortobiont invertebrates, round-the-clock sweeping, diurnal variability, coefficient of concordance, industrial pollution, copper-melting industry.

С самого начала формирования представлений о животном населении травостоя как об отдельном ярусе животного населения суши в качестве его характерной особенности указывалась «чрезвычайно сильная суточная динамичность» [12]. Специфическими чертами суточной динамики хортобионтов считают ее строго закономерный характер [1], выраженность во всех природных зонах, отчетливое смещение максимума подъема беспозвоночных в верхнюю часть травостоя на ночное время [12, 13]. Под суточной динамикой хортобионтов обычно понимают их вертикальные перемещения в толще травостоя, в результате которых в верхней его части оказываются

*Работа завершена при поддержке программы развития ведущих научных школ (НШ-3260.2010.4) и научно-образовательных центров (контракт 02.740.11.0279), Президиума РАН (программа «Биологическое разнообразие», проект 09-П-4-1031) и УрО РАН (проект № 09-М-2345-2001).

то одни, то другие группы беспозвоночных; при этом предполагается, что все они в течение суток посещают верхние слои травяного яруса.

Вертикальные суточные миграции хортобионтов описаны во многих работах [4, 6, 7, 8, 11 и др.]. Однако авторы, как правило, приводят данные для естественных сообществ или агроэкосистем; влияние техногенного загрязнения на особенности суточной динамики хортобионтов к настоящему времени практически не исследовано.

Материал и методы исследования

Работа выполнена в районе Среднеуральского медеплавильного завода, расположенного на окраине г. Ревды Свердловской обл. (56°51' N, 59°53' E). Завод действует с 1940 г. и считается одним из крупнейших источников промышленного загрязнения в России. Основные ингредиенты выбросов – SO₂, HF и тяжелые металлы (Cu, Zn, Cd, Pb и др.). Общий объем эмиссии в конце 1980-х гг. составлял более 140 тыс. т/год; с середины 1990-х гг. отмечено снижение выбросов, достигших к середине 2000-х гг. менее 30 тыс. т/год.

Характер техногенной трансформации экосистем подробно описан ранее [2]. Использованные нами пробные площади расположены в импактной (1 км к западу от завода), буферной (4 км) и фоновой (30 км) зонах загрязнения, в пониженных элементах рельефа на вторичных суходольных лугах, сформировавшихся на лесных полянах размером 3000–5000 м² в результате вырубki леса порядка 50 лет назад. Флористический состав и пространственная структура луговой растительности сильно различаются в разных зонах нагрузки, что связано с исчезновением чувствительных видов разнотравья и замещением их более устойчивыми к загрязнению злаками [2, 9]. История хозяйственного использования лугов в разных зонах нагрузки различается [9], но на момент проведения исследований выпас скота и сенокос на всех участках отсутствовали.

В работе использованы пробы энтомологических укусов, предоставленные М.Е. Гребенниковым, А.И. Ермаковым и М.П. Золотаревым (ИЭРиЖ УрО РАН). Укусы были выполнены в 2004 г. в три тура, приуроченных к середине – концу летних месяцев. Каждый тур учета образован тремя сутками. Даты туров следующие: I – 18–23, 26–28.06; II – 16–18, 22–23.07; III – 21–24, 26.08.2004 г.

Кошение производили стандартным энтомологическим сачком (диаметр обруча 30 см, глубина мешка из капроновой сетки – 70 см, длина рукояти – 130 см) на пробных площадях размером 50×50 м, по три в каждой зоне нагрузки (всего 9). В пределах зоны нагрузки площадки были удалены на 100–300 м друг от друга. Отбор проб производили круглосуточно, через каждые 4 ч. (в 0, 4, 8, 12, 16 и 20 ч); суточный цикл включал, таким образом, 6 учетов, объем каждой пробы составлял 20 взмахов. Всего собрано 486 проб и более 397 тыс. экз. беспозвоночных. Укусы были реализованы тремя учетчиками, поочередно сменявшими друг друга на пробных площадях с целью минимизации погрешности, привносимой индивидуальными особенностями каждого из них [5]. Собранных беспозвоночных фиксировали в 70%-ном растворе этанола и в лабораторных условиях определяли с наибольшей возможной точностью, в основном до уровня семейств (ряд групп – до видов); далее подсчитывали количество особей и определяли трофическую специализацию каждого таксона. В настоящей работе учитывались только беспозвоночные – представители размерной группы мезофауны (размер более 1–2 мм; [3]); такие таксоны, как *Collembola*, *Thysanoptera*, *Acari*, исключены нами из обработки, поскольку использованный метод некорректен для их учета.

Для снижения индивидуального влияния учетчиков было применено нормирование обилия каждой таксономической группы по среднему и среднеквадратическому отклонению для каждого учетчика:

$$d'_{ij} = \frac{d_{ij} - \bar{x}_j}{\sigma_j},$$

где d'_{ij} – нормированное значение обилия в i -й пробе, собранной j -м учетчиком; d_{ij} – исходное значение обилия, \bar{x}_j и σ_j – среднее и среднеквадратическое отклонения обилия группы, собранной j -м учетчиком во всех зонах нагрузки.

Расчет коэффициентов конкордации Кенделла (W) производили по формуле [15]:

$$W = \frac{1 + \bar{R}_s(m-1)}{m},$$

где \bar{R}_s – среднее арифметическое коэффициентов ранговой корреляции Спирмена для всех сравниваемых пар; m – количество выборок. Значимость коэффициента определяли, сравнивая величину $Wm(N-1)$, где N – объем каждой из выборок, с критерием хи-квадрат.

Результаты и обсуждение

Характер структурных изменений в сообществах хортобионтов подробно описан нами ранее [2, 9]. Для всех рассмотренных групп хортобионтов характерен ряд общих особенностей суточного цикла динамики обилия. Степень выраженности этих особенностей индивидуальна для каждой группы и сильно варьирует в зависимости от уровня промышленного загрязнения и тура проведения учета [10]. Согласно результатам непараметрического дисперсионного анализа (тест Шейрера-Рей-Хара), фактор времени суток статистически значим как на уровне общего обилия ($N = 48,87$, $df = 5$, $p < 0,0001$), так и для обилия всех трофических групп (сосущие фитофаги: $N = 16,95$, $p = 0,0046$; грызущие фитофаги: $N = 25,93$, $p = 0,0001$; сосущие зоофаги: $N = 47,69$, $p < 0,0001$; грызущие зоофаги: $N = 15,23$, $p = 0,0094$; гемофаги: $N = 11,97$, $p = 0,0352$; прочие группы: $N = 95,45$, $p < 0,0001$).

Важно отметить, что взаимодействия «время суток \times зона нагрузки» и «время суток \times тур учета» незначимы. Это позволяет говорить о том, что суточная динамика обилия хортобионтов относительно стабильна в течение всего лета и слабо модифицирована загрязнением. Единственным исключением являются грызущие фитофаги: значимо взаимодействие и с зоной нагрузки ($N = 19,35$, $df = 10$, $p = 0,0361$), и с туром учета ($N = 30,26$, $df = 10$, $p = 0,0008$). Возможно, нестабильность суточной динамики грызущих фитофагов связана с влиянием загрязнения, однако конкретные причины этого пока не ясны.

О влиянии промышленного загрязнения на ход суточной динамики косвенно можно судить по степени согласованности динамики на разных участках градиента. Были рассчитаны коэффициенты конкордации Кенделла для разных уровней пространственной организации сообществ хортобионтов; учетной единицей выбран этап суточного цикла, что для 3 суток дало 18 значений. Согласованность суточной динамики хорошо выражена внутри каждой из зон нагрузки (табл. 1). Согласованность на уровне общего обилия выше, чем для отдельных трофических групп, или сравнима с самыми высокими для них показателями. В импактной зоне значения статистически значимых коэффициентов конкордации выше, чем в фоновой и буферной зонах, слабо различающихся по этому показателю. По-видимому, это связано с описанным ранее обеднением состава хортобионтов вблизи источника эмиссии [9].

Согласованность суточной динамики между зонами нагрузки ненамного ниже, чем внутри них, и очень сходна во всех сравниваемых парах (табл. 2). Такую синхронность можно рассматривать в качестве еще одного свидетельства того, что загрязнение слабо влияет на суточную динамику хортобионтов. Согласованность на уровне общего обилия также несколько выше, чем для отдельных трофических групп.

Таблица 1

Согласованность суточной динамики обилия беспозвоночных-хортобионтов между разными площадками в пределах зоны нагрузки в разные туры учета

Тур	Группа	Зона нагрузки и показатель					
		Фоновая		Буферная		Импактная	
		W	p	W	p	W	p
I	ФС	0,52	0,0628	0,43	0,1904	0,71	0,0041
	ФГ	0,55	0,0420	0,61	0,0207	0,66	0,0095
	ЗС	0,57	0,0357	0,59	0,0262	0,69	0,0059
	ЗГ	0,62	0,0160	0,59	0,0267	0,57	0,0359
	ОБ	0,66	0,0093	0,61	0,0201	0,72	0,0040
II	ФС	0,36	0,3636	0,51	0,0719	0,34	0,4314
	ФГ	0,52	0,0675	0,85	0,0004	0,88	0,0003
	ЗС	0,47	0,1209	0,67	0,0083	0,65	0,0109
	ЗГ	0,58	0,0296	0,50	0,0801	0,37	0,3241
	ОБ	0,54	0,0535	0,57	0,0353	0,41	0,2238
III	ФС	0,59	0,0262	0,58	0,0294	0,56	0,0412
	ФГ	0,73	0,0033	0,59	0,0250	0,81	0,0009
	ЗС	0,80	0,0009	0,51	0,0759	0,85	0,0004
	ЗГ	0,49	0,0965	0,50	0,0878	–	–
	ОБ	0,74	0,0027	0,68	0,0066	0,74	0,0027

Примечание: группы хортобионтов: ФС – фитофаг сосущий, ФГ – фитофаг грызущий, ЗС – зоофаг сосущий, ЗГ – зоофаг грызущий, ОБ – общее обилие. W – коэффициент конкордации Кенделла (N = 18, m = 3), p – достигнутый уровень значимости. Прочерк означает отсутствие группы.

Таблица 2

Согласованность суточной динамики обилия беспозвоночных-хортобионтов между разными зонами нагрузки в разные туры учета

Тур	Группа	Зона нагрузки и показатель					
		Фоновая – Буферная		Фоновая – Импактная		Буферная – Импактная	
		W	p	W	p	W	p
I	ФС	0,37	0,0027	0,47	0,0001	0,44	0,0003
	ФГ	0,40	0,0012	0,30	0,0199	0,49	<0,0001
	ЗС	0,35	0,0057	0,38	0,0018	0,55	<0,0001
	ЗГ	0,51	<0,0001	0,54	<0,0001	0,48	0,0001
	ОБ	0,55	<0,0001	0,53	<0,0001	0,57	<0,0001
II	ФС	0,31	0,0166	0,26	0,0648	0,32	0,0132
	ФГ	0,44	0,0003	0,31	0,0149	0,53	<0,0001
	ЗС	0,41	0,0007	0,40	0,0009	0,47	0,0001
	ЗГ	0,29	0,0271	0,16	0,5107	0,25	0,0850
	ОБ	0,41	0,0008	0,34	0,0059	0,36	0,0032
III	ФС	0,40	0,0011	0,31	0,0171	0,18	0,3962

	ФГ	0,40	0,0010	0,57	<0,0001	0,32	0,0116
	ЗС	0,32	0,0119	0,52	<0,0001	0,30	0,0230
	ЗГ	0,28	0,0359	–	–	–	–
	ОБ	0,38	0,0020	0,54	<0,0001	0,29	0,0304

Примечание: все обозначения, как в таблице 1. При расчете $W : N = 18, m = 6$.

Наконец, расчет коэффициентов конкордации для всего района исследования, т.е. для всех 9 пробных площадей (табл. 3), выявил статистически значимую согласованность суточной динамики, как для общего обилия, так и всех трофических групп хортобионтов, во все туры проведения учетов. Абсолютные значения конкордации несколько ниже, чем рассчитанные при сравнении зон нагрузки.

Таблица 3

Согласованность суточной динамики обилия беспозвоночных-хортобионтов в регионе исследования в разные туры учета

Группа	Тур учета и параметр					
	I		II		III	
	W	p	W	p	W	p
ФС	0,38	<0,0001	0,26	0,0014	0,20	0,0223
ФГ	0,33	<0,0001	0,32	0,0001	0,34	<0,0001
ЗС	0,36	<0,0001	0,37	<0,0001	0,27	0,0010
ЗГ	0,49	<0,0001	0,15	0,1609	–	–
ОБ	0,51	<0,0001	0,33	<0,0001	0,30	0,0002

Примечание: все обозначения, как в таблице 1. При расчете $W : N = 18, m = 9$.

Наше заключение об относительной устойчивости суточной динамики обилия хортобионтов в градиенте загрязнения хорошо согласуется с классическими представлениями, согласно которым в основе ритмичной суточной динамичности беспозвоночных лежат, главным образом, эндогенные причины [14]. Помимо них, велика также роль метеорологических факторов и особенностей местообитаний, а также трофических связей в сообществах беспозвоночных [12]. В настоящей работе местообитания беспозвоночных были максимально унифицированы по экотоническим условиям, и различия между ними сведены к прямому или опосредованному влиянию техногенного загрязнения. Учитывая, что динамика погодных условий в пределах 30 км в значительной степени синхронна, высокая согласованность суточной динамики хортобионтов свидетельствует о второстепенной роли всех прочих факторов, включая загрязнение. Таким образом, полученные данные косвенно подтверждают предположение о приоритете эндогенных механизмов среди факторов, обуславливающих суточную динамику беспозвоночных травостоя. Техногенное загрязнение, несмотря на вызванное им изменение состава и структуры растительных и животных сообществ на исследованных территориях, слабо влияет на внутреннюю программу беспозвоночных, обуславливающую характерные особенности их суточной динамики.

Библиографический список

1. **Беклемишев, В. Н.** Суточные миграции беспозвоночных в комплексе наземных биоценозов / В. Н. Беклемишев // Тр. Биол. НИИ при Пермском гос. ун-те. – 1934. – Т. 6, вып. 3–4. – С. 119–208.
2. **Воробейчик, Е. Л.** Экологическое нормирование техногенных загрязнений наземных экосистем: локал. уровень / Е. Л. Воробейчик, О. Ф. Садьков, М. Г. Фарафонов. – Екатеринбург : Наука, 1994. – 280 с.

3. **Гиляров, М. С.** Методы почвенно-зоологических исследований / М. С. Гиляров. – М. : Наука, 1975. – 280 с.
4. **Гудошкова, В. И.** Суточные миграции животных в комплексе ассоциаций / В. И. Гудошкова // Тр. Биол. НИИ при Пермском гос. ун-те. 1928. – Т. 1, вып. 4. – С. 299–328.
5. **Зубарева, С. П.** Статистическая оценка метода количественного энтомологического кошения / С. П. Зубарева // Известия биол. НИИ и биол. ст. при Пермском гос. ун-те. – 1930. – Т. 7, вып. 2. – С. 89–105.
6. **Куликов, Н. И.** Суточная динамика членистоногих в агроценозах зерновых культур / Н. И. Куликов // Экология. – 1994. – № 6. – С. 35–43.
7. **Лагунов, А. В.** Стратиграфическая структура хортобионтного комплекса беспозвоночных животных в Ильменском заповеднике / А. В. Лагунов // Экологические исследования в Ильменском гос. заповеднике / отв. ред. А. В. Лагунов. – Миасс, 1994. – С. 25–42.
8. **Молодова, Л. П.** Динамика жесткокрылых-хортобионтов на некоторых сельскохозяйственных культурах / Л. П. Молодова // Экология. – 1984. – № 1. – С. 81–82.
9. **Нестерков, А. В.** Изменение структуры населения беспозвоночных – хортобионтов под действием выбросов медеплавильного завода / А. В. Нестерков, Е. Л. Воробейчик // Экология. – 2009. – № 4. – С. 303–313.
10. **Нестерков, А. В.** Техногенное загрязнение и суточная изменчивость обилия в сообществах беспозвоночных-хортобионтов / А. В. Нестерков // Человек и животные : мат-лы V Междунар. науч.-практ. конф. – Астрахань, 2010. – С. 92–97.
11. **Чащина, О. Е.** Пространственно-временная организация населения беспозвоночных травостоя Ильменского заповедника / О. Е. Чащина // Биосфера и человечество : сб. мат-лов конф. молодых ученых памяти Н.В. Тимофеева-Ресовского. – Екатеринбург, 2000. – С. 316–323.
12. **Чернов, Ю. И.** Комплекс беспозвоночных – обитателей травостоя как ярус животного населения / Ю. И. Чернов, Л. В. Руденская // Зоол. журнал. – 1975. – Т. 54, вып. 6. – С. 884–895.
13. **Чернов, Ю. И.** Об использовании энтомологического кошения как метода количественного учета беспозвоночных – обитателей травяного покрова / Ю. И. Чернов, Л. В. Руденская // Зоол. журнал. – 1970. – Т. 49, вып. 1. – С. 137–144.
14. **Чернышев, В. Б.** Суточные ритмы активности насекомых / В. Б. Чернышев. – М. : Изд-во МГУ, 1984. – 216 с.
15. **Legendre, P.** Species associations: the Kendall coefficient of concordance revisited / P. Legendre / J. Agricultural, Biological and Environmental Statistics. – 2005. – Vol. 10. – P. 226–245.

УДК 616.24-008.7

СТРУКТУРНЫЕ ОСОБЕННОСТИ АЭРОГЕМАТИЧЕСКОГО БАРЬЕРА ЛЕГКИХ В УСЛОВИЯХ ОСТРОГО ГИПО- И ГИПЕРОКСИЧЕСКОГО СТРЕССА

Нестеров Юрий Викторович, доктор биологических наук, профессор кафедры физиологии и морфологии человека и животных

Турченко Надежда Валерьевна, аспирант кафедры физиологии и морфологии человека и животных

Астраханский государственный университет

414000, г. Астрахань, пл. Шаумяна, 1,

тел. / факс (8512) 22-82-62, e-mail: nest.jv@mail.ru; tur.nv@mail.ru

В эксперименте исследованы структурные изменения легочной ткани крыс на моделях острой гипоксии и гипероксии. Обнаружены стрессорные изменения морфологических показателей, характеризующих состояние аэрогематического барьера, бронхов, сосудистого русла при окислительном стрессе. Выявлено, что из двух видов воздействий гипоксический стресс сопровождается наиболее выраженными изменениями гистоструктуры легочной ткани.

Ключевые слова: гипоксия, гипероксия, аэрогематический барьер, легкое, антиоксидант.