На правах рукописи

СЕРЕДЮК СВЕТЛАНА ДМИТРИЕВНА

ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ, ПОПУЛЯЦИОННАЯ СТРУКТУРА И ВИДОВЫЕ СООБЩЕСТВА СЕМЕЙСТВА ELATERIDAE В ЗОНАХ ТЕХНОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

03.00.16. - экология

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени

кандидата биологических наук

Казань - 2004

Диссертационная работа выполнена в лаборатории экологического мониторинга Института экологии растений и животных Уральского отделения Российской Академии Наук, г. Екатеринбург

Научный руководитель: доктор биологических наук,
профессор Пястолова Ольга Алексеевна

Официальные оппоненты: доктор биологических наук, ведущий
научный сотрудник Хохуткин Игорь Моисеевич
доктор биологических наук,
профессор Бойко Владимир Андреевич

Ведущая организация: Томский государственный университет

Защита диссертации состоится "21" декабря 2004 года в 13 часов
на заседании диссертационного совета Д 212.081.19 при Казанском государственном университете им. В.И. Ульянова-Ленина по адресу: 420008, г. Казань, ул. Кремлевская, 18.

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке им. Н.И. Лобачевского Казанского государственного университета

Автореферат разослан "19" ноября 2004 г.

Ученый секретарь
диссертационного Совета,
доктор химических наук Г.А. Евтюгин

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность исследования

Глобальное изменение биосферы под воздействием человеческой деятельности вызывает серьезные повсеместные изменения в структуре существующих биогеоценозов. Поэтому фаунистические исследования такой экологически значимой группы, как жуки-щелкуны (сем. Elateridae), в естественных и антропогенно нарушенных ландшафтах, перспективны с точки зрения теоретических и прикладных разработок. Благодаря тому, что они являются массовым компонентом почвенной энтомофауны, их деятельность, наряду с другими группами почвенных животных, во многом определяет структуру почв и скорость круговорота веществ (Гиляров, 1965). Личинки многих видов щелкунов являются весьма значимыми вредителями сельскохозяйственных культур. В то же время, ряд видов по трофической специализации относится к хищникам, существенно влияя на численность беспозвоночных, населяющих эти субстраты. поэтому необходимо иметь представление о видовом составе, популяционной структуре, демографии и трофических преферендумах щелкунов (Долин, 1978; Гурьева, 1989).

В техногенное загрязнение природной среды существенный вклад вносят металлургические и, в частности, медеплавильные комбинаты. Характерной особенностью действия их выбросов является усиление токсического эффекта тяжелых металлов за счет повышения кислотности среды. Это наиболее опасные атмосферные поллютанты, воздействующие на все компоненты экосистем (Кислотные дожди, 1983). Отмечены различные реакции разных групп почвенной мезофауны на загрязнение этого типа, связанные с особенностями их биологии и экологии. Наиболее устойчивыми к нему оказываются элатериды. Их личинки сохраняются и в особенно деградированных местообитаниях, а в некоторых таежных подзонах их численность даже возрастает (Некрасова, 1989; Воробейчик, 1995; Зенкова, 2000). Поэтому исследования структуры и динамики их сообществ с целью выяснения путей формирования комплексов элатерид и адаптивных процессов, протекающих в местообитаниях с разной степенью нагрузки, важны для экологического мониторинга и организации охраны окружающей среды.

Цели и задачи

Целями данной работы являлось изучение структуры видовых сообществ Elateridae в разных таежных подзонах и основных механизмов преобразования их комплексов в условиях высоких техногенных нагрузок, а также выявление роли зональных особенностей и вклада антропогенной нагрузки в существующие различия природных сообществ элатерид.

Нами были поставлены следующие задачи:

1. Выяснить структуру элатеридных комплексов (видовой состав, численность, соотношение видов и трофических групп). 2. Изучить популяционные характеристики доминирующих видов. 3. Выявить общие закономерности и специфические особенности изменения комплексов жуков - щелкунов в техногенных ландшафтах разных эколого-географических зон.

Научная новизна и практическая значимость

Впервые проведено комплексное сравнительно популяционное исследование видовых сообществ элатерид, населяющих территории, в разной степени подверженные эмиссии выбросов медеплавильного производства в двух таежных подзонах Урала. Проведена ревизия видового состава элатеридокомплексов подзон средней и южной тайги восточного склона Урала. Некоторые виды впервые отмечены для исследуемых территорий. Показаны основные закономерности преобразования структуры видовых комплексов щелкунов в зависимости от уровня и длительности трансформации мест обитания, а также их зональной специфики. Выявлены ключевые характеристики, способствующие трансформации сообществ Elateridae при антропогенных воздействиях и установлена иерархичность факторов, определяющих различия в структуре этих сообществ. Благодаря популяционному подходу впервые установлен ряд репродуктивных и демографических особенностей изучаемой группы на трансформированных территориях. На основании специфики трофической структуры выявлены тенденции изменения биоценотической роли сообществ щелкунов в новых условиях среды. Данные по видовому составу, динамике численности и репродуктивным характеристикам видов этой группы насекомых имеют важное значение для народного хозяйства. Ряд установленных закономерностей может быть использован в качестве индикаторов изменения качества среды.

Основные положения, выносимые на защиту:

В ряду факторов, определяющих структурную дивергенцию сообществ щелкунов восточного склона Урала, первоочередное значение имеет широтная зональность, по отношению к которой антропогенная трансформации среды носит подчиненный характер.

Большая устойчивость сообществ жуков-щелкунов средней тайги, по сравнению с южнотаежными видовыми комплексами, во многом обусловлена различиями гидротермического режима исследуемых таежных подзон. Исходно большие значения гидротермического коэффициента подзоны средней тайги при антропогенной модификации формируют более благоприятные условия для мезофильных групп педобионтов, что отражается на видовом разнообразии и структуре доминирования.

Антропогенная модификация отражается в популяционной динамике, демографической структуре и, вероятно, стратегии воспроизводства.

Личный вклад автора

Сбор всего материала осуществлен лично автором. Все основные результаты и выводы на их основе получены лично автором.

Апробация и публикации

Результаты исследований докладывались на конференциях и симпозиумах: «Устойчивое развитие: загрязнение окружающей среды и экологическая безопасность» (Днепропетровск, 1995), «Стратегические направления экологических исследований на Урале и экологическая политика» (Екатеринбург, 1996), «12 съезд Русского энтомологического общества» (Санкт-Петербург, 2002), «III (XIII) Всероссийское совещание по почвенной зоологии» (Йошкар-Ола, 2002), Всероссийской конференции с участием зарубежных ученых «Сибирская зоологическая конференция» (Новосибирск, 2004), а также опубликованы в материалах региональных и всероссийских конференций: «Реализация государственной программы Российский федерации по радиационной реабилитации Уральского региона» (Екатеринбург, 1994), «Фундаментальные и прикладные проблемы популяционной биологии» (Нижний Тагил, 2002), и международных симпозиумов: «Зооиндикация и экотоксикология животных в условиях техногенного ландшафта» (Днепропетровск, 1993), «Sustainable development: system analysis in ecology» (Севастополь, 1996). Методические разработки применялись на практике при выполнении работ по экспертной оценке состояния экосистем при выполнении хоздоговорных исследований на территории Восточно-Уральского радиоактивного следа в Свердловской (1992) и Челябинской (1993) областях и др. Список трудов С.Д. Середюк составляет 13 публикаций.

Структура и объем диссертации

Диссертация состоит из введения, 9 глав, заключения, выводов, приложений и списка цитируемой литературы, содержащего 227 источников, 49 из них - на иностранных языках. Работа изложена на 136 страницах, содержит 19 рисунков, 10 таблиц и 12 приложений.

Глава 1. Elateridae как индикаторы состояния среды

В главе приводится обзор специальной литературы о роли изменения видового состава и численности щелкунов в биоиндикации, как для естественных природных комплексов (для характеристики различных типов почв, гидротермического режима, лесорастительных условий), так и для оценки степени различных антропогенных модификаций ландшафтов.

Глава 2. Характеристика мест исследований

Исследования проводились в двух таежных подзонах (Растительный покров СССР, 1956): средней тайги – район действия Красноуральского медеплавильного комбината (действует с 1932 г.) и южной тайги – район действия Карабашского медеплавильного комбината (действует с 1837 г., медеплавильное производство расширено с 1903 г.).

2.1. Особенности природных условий зоны средней тайги в районе Красноуральского медеплавильного комбината

На основе литературных и предоставленных Уралгидрометеослужбой данных, приведены основные физико-географические и зонально-климатические особенности обследуемого региона (Кузнецов, 1941; Чикишев, 1966; Фирсова, 1969, 1977; и др.).

2.2. Особенности природных условий южной тайги в районе Карабашского медеплавильного комбината

На основе литературных и предоставленных Уралгидрометеослужбой данных, приведены основные физико-географические и зонально-климатические особенности обследуемого региона (Колесников, 1969; Фирсова, 1977; Макунина, 1978; и др.).

2.3. Сравнение климатических показателей средней и южной тайги

Различия в обеспеченности исследуемых территорий теплом и влагой, наряду с геоморфологическими особенностями, определяют специфику климатических и эдафических характеристик этих двух таежных подзон (Чикишев, 1966). В средней тайге преобладают ветры западного, в южной – северо-западного и западного румбов. Среднетаежная подзона характеризуется большим количеством осадков, более высокими значениями гидротермического коэффициента, низкой суммарной температурой, меньшей продолжительностью периода со средней суточной температурой воздуха >0°, >5°,>10°, в сравнении с южнотаежной территорией (данные предоставлены Уралгидрометеослужбой).

2.4. Антропогенная трансформация среды обитания щелкунов

Наряду с особенностями трансформации среды, сопутствующими медеплавильному производству, в главе приведены характеристики рабочих площадок (рис. 1), выбранных во вторичных березняках по градиенту загрязнения от источника эмиссии в соответствии со степенью трансформации фитоценозов. Исследуемые территории разделены на импактную, буферную и фоновую (Макунина, 1978; Черненькова, 1986; Черненькова и др., 1989; Махнев и др., 1990; Комплексная экологическая..., 1992; Власенко и др., 1995).

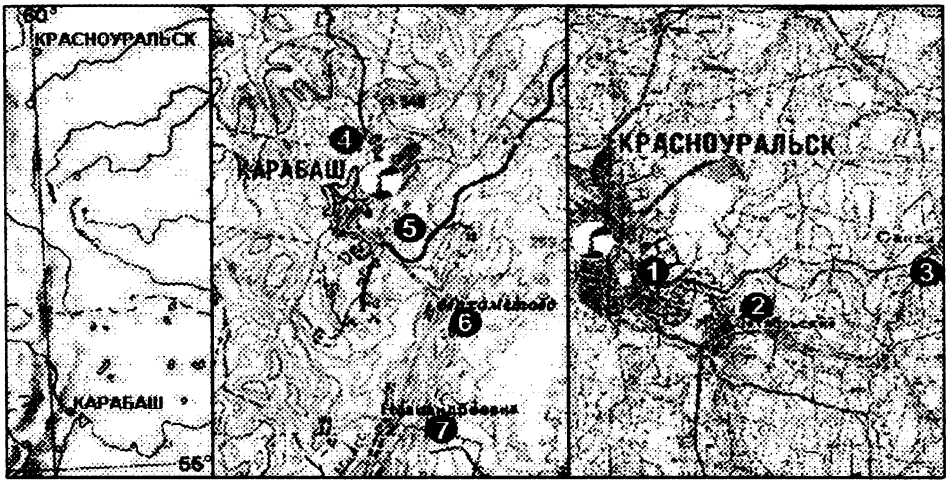


Рис. 1. Схема расположения исследуемых территорий. **Средняя тайга**: **1** - импактная зона **I С** (на расстоянии 2,5 км), **2**-буферная зона **II С** (на расстоянии 7,5 км), **3**-фоновая зона **III С** (на расстоянии 14 км); **южная тайга**: **4**-импактная зона **Iа Ю** (на расстоянии 2,5 км на северо-запад), **5**-импактная зона **I Ю** (на расстоянии 2,5 км на юго-восток), **6**-буферная зона **II Ю** (на расстоянии 7,5 км), **7**-фоновая зона **III С** (на расстоянии 14,5 км)

Глава 3. Методика исследований и материал

Полевой материал собрали в 1993-96 гг. Применяли стандартную методику почвенных раскопок (Гиляров, 1941, 1975). Пробы размером 25x25x20 и 50x50x20 отбирали в августе-сентябре 1993 г., в июне - сентябре 1994 г., апреле - октябре 1995 г. и в мае 1996 года. Всего обработали 466 проб размером 25x25x20 см и 434 пробы размером 50x50x20 см. Глубина взятия проб соответствовала глубине проникновения основной массы беспозвоночных. Обследовали 2153 личинок щелкунов и 297 имаго. Оценку степени доминирования проводили по шкале: доминанты - виды, составляющие 10% и выше от общего числа животных в биотопе, субдоминанты - составляющие 3-10%, дополнительные виды - рецеденты 1-3%, редкие - менее 1% (Хотько и др., 1982). Определение массы животных производили на технических (до 200 г) и торзионных (до 100 мг) весах. При исследовании структуры сообществ элатерид применяли показатели: видовая плотность (Бигон и др., 1989), индекс видового разнообразия Шеннона (Shannon, Weaver, 1949), выровненность по Пиелоу (Pielou, 1966), индекс видового богатства Маргалефа (Margalef, 1958), индекс Симпсона (Simpson, 1949), индекс Бергера-Паркера, показатели разнообразия Животовского (Животовский, 1980). Для определения степени фаунистического сходства комплексов элатерид использовали индекс Мориситы (Morisita, 1959).

Плодовитость и диаметр яиц определяли при вскрытии самок. Проверка правильности определения личинок и имаго щелкунов проведена академиком НАН Украины В.Г. Долиным. При написании данной работы автор пользовался консультациями к.б.н. Н.В. Николаевой, к.б.н. А.А. Медведева, д.б.н. В.Л. Вершинина, Н.Г. Ерохина, к.б.н. Е. В. Зиновьеву. Всем названным лицам выражаю глубокую искреннюю благодарность.

Глава 4. Структура элатеридных комплексов в зонах техногенного воздействия

Видовое богатство и видовое разнообразие. В исследуемых нами районах фаунистический состав элатерид, личинки которых развиваются в почве, представлен 17 видами (табл. 1). Анализ видового разнообразия выявил высокодостоверные

Таблица 1

Показатели видового богатства

Вид	Средняя тайга			Южная тайга			
	Местообитание						
	I С	II С	III С	Iа Ю	I Ю	II Ю	III Ю
Selatosomus aeneus L.	+	+	+	+	+	+	+
S. impressus F.	+	+	+		+	+	+
Dolopius marginatus L.	+	+	+	+	+	+	+
Athous subfuscus Müll	+	+	+	+		+	+
Agriotes obscurus L.	+	+	+	+		+	+
Sericus brunneus L.	+			+			
Actenicerus sjaelandicus Müll	+						
Aplotarsus tibialis Shc.	+	+	+				
Ctenicera cuprea F.	+	+					
Negastrius quadripustulatus F.		+					
Ampedus nigrinus Hbst.			+				
S. nigricornis Panz.							+
Anostirus castaneus L.					+	+	
Prosternon tesselatum L.				+		+	+
Agrypnus murinus L.						+	+
Elater sp.						+	
Melanotes rufipes Hbst.		+			+	+	+
Видовая плотность, d	1,61	2,37	1,89	1,37	1,14	2,28	1,81
DMg	1,26	1,32	1,1	0,92	0,75	1,52	1,16

различия (t изменяется в пределах от 5,88 до 12,51; $p<<0,001$) его параметров между местообитаниями средне- и южнотаежной подзон (рис. 2). Несмотря на равное количество видов, определенных для каждой подзоны, характеристики видового разнообразия, учитывающие распределение видов щелкунов по обилию, в южной

тайге значимо ниже, чем в средней (для **H' t** изменяется в интервале 3,21 – 13,33, p<<0,001). Для местообитаний средней тайги разной степени трансформации нет различий по значениям индексов Шеннона и Животовского, а в южной тайге территории, расположенные на разном удалении от комбината, существенно (p<<0,001) отличаются по этим параметрам. Характеристики видового разнообразия (табл. 2) свидетельствуют, что изученные территории делятся, в первую очередь, по

Таблица 2

Показатели видового разнообразия

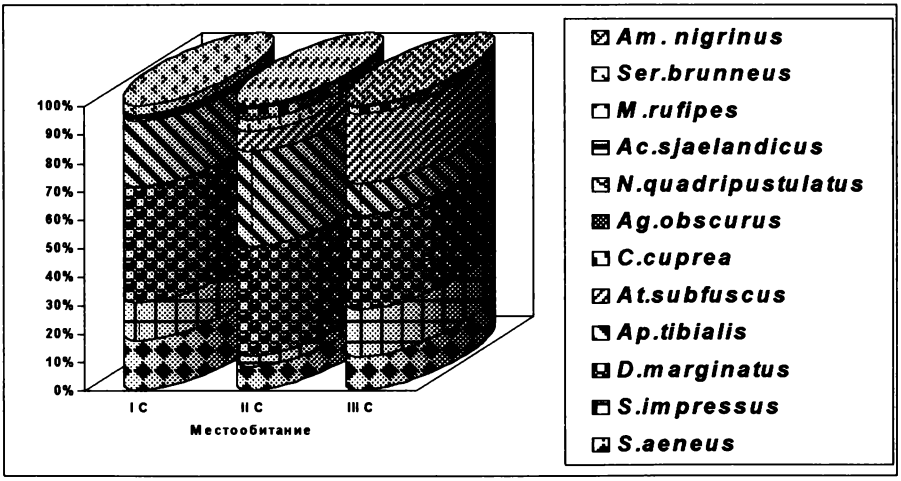
Показатель	**Средняя тайга**			**Южная тайга**			
	Местообитание						
	I С	II С	III С	I Ю	II Ю	III Ю	Ia Ю
Индекс Симпсона	3,91	3,65	4,69	1,75	2,96	2,65	1,42
Индекс Шеннона (H')	2.28	2.28	2.45	1.14	1,94	1,7	0,82
Выровненность по Пиелоу (e)	0,72	0,69	0,83	0,49	0,58	0,56	0,32
Коэффициент Животовского (μ)	6,43±0,3	6,55±0,23	6,48±0,21	2,95±0,17	5,45±0,26	4,42±0,20	2,59±0,20
Доля редких видов по Животовскому (h)	0,36±0,03	0,34±0,02	0,20±0,03	0,41±0,03	0,46±0,03	0,45±0,02	0,57±0,03

зональному признаку. Наиболее специфичны сходные между собой видовые комплексы трансформированных местообитаний южной тайги. Большая близость видовых комплексов буферного и фонового участков южной тайги, определяется, по нашему мнению, (также как и в средней - большая специфичность сообщества фоновой территории по отношению к загрязненным), особенностями рельефа каждой таежной подзоны (наличие горного хребта восточнее комбината в южной тайге и сглаженный ландшафт – в средней).

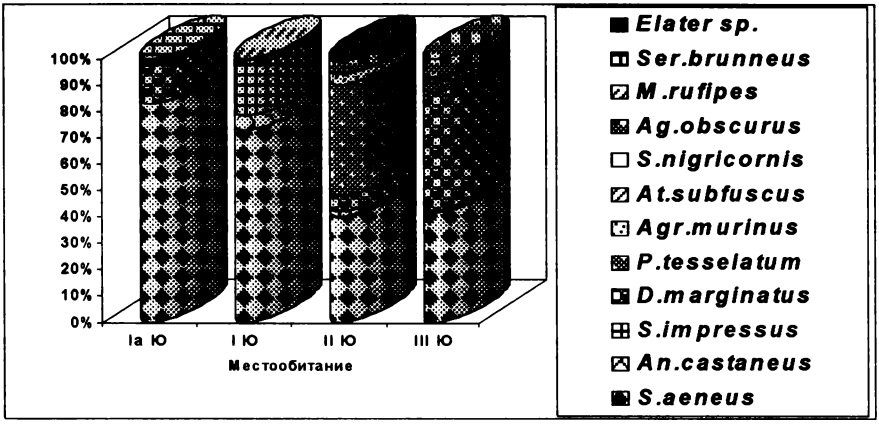
Доминирование. Анализ структуры доминирования показал, что исследуемые комплексы элатерид отличаются составом доминантных видов и их соотношением (рис. 2). В средней тайге с усилением степени трансформации растет степень доминирования *D. marginatus* (29,82%-38,19%-41,15%). По мере приближения к медеплавильному комбинату, изменяется доля *S. aeneus*, который, присутствуя на всех исследуемых территориях, является субдоминантом на фоновой и буферной территориях (7,89%-6,25%), а в максимально трансформированном местообитании становится одним из доминирующих видов (13,08%). Еще один вид, который доминирует на всех изученных территориях средней тайги – *A. tibialis*. Кроме того, интересно отметить тот факт, что

местообитания импактной и фоновой территорий средней тайги характеризуются полидоминантностью – по четыре вида - доминанта (кроме вышеупомянутых – это *S. impressus* (13,46% и 17,54% соответственно)). Доминирующий в фоновом местообитании средней тайги *At. subfuscus* (25,44%), становится субдоминантом в буферной зоне и переходит в категорию редких видов (0,77%) на территории импактной зоны. В буферной зоне два доминанта (*S. aeneus* - 6,25%, *S. impressus* – 3,47%), но увеличивается количество субдоминантов (*At. subfuscus* – 7,17%, *Ag. obscurus* – 4,4%, *C. cuprea* – 3,94%).

Супердоминантом на трансформированных территориях южной тайги, является *S. aeneus*, степень доминирования которого меняется от 41,65% на фоновой территории до 39,84% на буферной территории и до 82,76 и 72,99% в импактных местообитаниях в юго-восточном и северо-западном направлениях. По сравнению с местообитанием **II Ю**, значительно возрастает доля *An. castaneus* на территории импактной зоны **I Ю** (от 0,53% до 5,21%), а *S. impressus* (19,9%) здесь становится вторым доминантом. Изученные элатеридокомплексы этой подзоны характеризуются бидоминантной структурой. *P. tesselatum*, наряду с *S. aeneus*, доминирует в буферной зоне (42,25%). Он является субдоминантом для фоновой зоны (3,63%), практически отсутствует в сборах с участка импактной зоны **Ia Ю** и редок (0,43%) на трансформированной территории **I Ю**. В буферной зоне (как и в средней тайге) количество субдоминантов выше, чем на других территориях (*D. marginatus* - 6,16%, *Ag. obscurus* – 4,55%, *Agr. murinus* – 3,74%). Такие



а



б

Рис. 2. Соотношение видов (в %): **а** – средняя тайга, **б** – южная тайга **Средняя тайга**: I С - импактная зона, II С - буферная зона, III С - фоновая зона; **южная тайга**: I Ю - импактная зона (юго-восточное направление), Ia Ю - импактная зона (северо-западное направление), II Ю - буферная зона, III Ю - фоновая зона

характеристики, как индекс доминирования Бергера – Паркера (Berger, Parker, 1970), коэффициент доминантности (Чернов, 1971), наиболее высоки для южнотаежных местообитаний импактной зоны и свидетельствуют о высокой степени их трансформации, что нельзя сказать о среднетаежных местообитаниях.

Общность видового состава. Учитывая то, что при сравнении видовых комплексов, где сходство по одному – двум массовым видам, которыми часто являются убиквисты, может нивелировать степень сходства по остальным (Чернов, 1971), использовали индекс перекрывания спектров Мориситы (табл. 3). Индекс Мориситы выявил высокую общность видовых группировок всех исследуемых местообитаний средней тайги. Видовые комплексы фоновых местообитаний обеих подзон перекрываются на 35%. Общность элатеридокомплексов разных местообитаний южнотаежной подзоны между собой также достаточно велика. Степень сходства видовых комплексов разных таежных подзон из местообитаний с одинаковой степенью трансформации сравнительно невысока. Обращает на себя внимание тот факт, что степень перекрывания видового спектра для фоновой территории средней тайги и трансформированных территорий южной, не превышает 25%. В то же время, сходство элатеридокомплексов трансформированных территорий средней тайги с элатеридокомплексом южнотаежного фонового местообитания составляет 59% для буферной и 58% для импактной территорий. На наш взгляд, это может быть связано с

изменением зональной биотопической дифференцировки вследствие антропогенной трансформации (изменение механической структуры и гидротермического режима почвы). Трансформированные территории средней тайги оказываются ближе к фоновой

Таблица 3

Значения индекса Мориситы

Местообитание	Средняя тайга			Южная тайга			
	I С	II С	III С	Iа Ю	I Ю	II Ю	III Ю
I С	\\\\\\\\\\\						
II С	0,94	\\\\\\\\\\\					
III С	0,79	0,76	\\\\\\\\\\\				
Iа Ю	0,3	0,24	0,21	\\\\\\\\\\\			
I Ю	0,46	0,33	0,37	0,95	\\\\\\\\\\\		
II Ю	0,22	0,28	0,42	0,65	0,64	\\\\\\\\\\\	
III Ю	0,58	0,59	0,35	0,76	0,65	0,66	\\\\\\\\\

зоне южной тайги из-за преобразования вышеупомянутых биотопических характеристик. Рассматриваемый тип антропогенных воздействий, изменяя средовую компоненту среднетаежных сообществ, приводит к симиляции их с естественными сообществами южнотаежной подзоны. Происходит такое преобразование местообитаний, при котором исторически сложившиеся региональные черты зональной специфики трансформируются в характеристики, свойственные биотопам более южных территорий, что и приводит к структурным перестройкам видовых сообществ щелкунов. Кластерный анализ по совокупности показателей видового разнообразия (рис. 3) показал, что комплексы средней тайги хорошо дистанцированы от комплексов южнотаежной подзоны. Внутри подзон дистанцирование видовых комплексов разных местообитаний обусловлено ландшафтными особенностями и длительностью воздействия комбинатов.

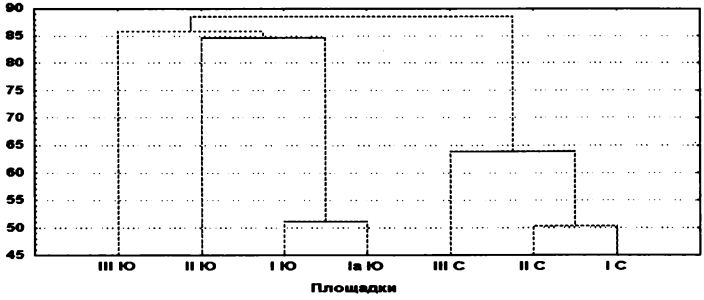


Рис. 3. Дистанцированность видовых комплексов элатерид (обозначения те же, что и на рис. 2)

Таким образом, основываясь на анализе структуры изучаемых сообществ элатерид, можно заключить, что их специфика определяется, в первую очередь, широтной зональностью. Зональные различия сложились исторически в ходе филогеографических преобразований биоты и, изначально (как самые древние), именно они определяют специфику рассматриваемых видовых комплексов. Продолжительное и интенсивное антропогенное воздействие - достаточно значимый фактор, действующий в современной биосфере, который через изменение биотопических характеристик и изменение среды обитания животных, способен существенно перестраивать структуру существующих сообществ. Эффект вышеназванных факторов проявляется с высокой степенью изменчивости, обусловленной локальными особенностями рельефа и длительностью воздействия.

Глава 5. Динамическая плотность личинок щелкунов

Сравнение таежных подзон показывает, что популяции фоновых местообитаний достоверно отличаются между собой по плотности личинок щелкунов (13,26±1,28 и 18,99±1,55 экз./м², соответственно; F=7,86; p=0,001). Для импактных территорий не выявлено межзональных значимых различий по плотности элатеридных комплексов, также нет достоверных различий по плотности между местообитаниями буферных зон. В зоне средней тайги самая высокая плотность проволочников, значительно (в 1,8 раза) и достоверно (F=13,34; p=0,0003) превышающая плотность их на фоновом участке, отмечена для буферной территории (23,75±2,92). Это обусловлено значительным повышением здесь плотности доминирующих видов *D. marginatus* и *A. tibialis*. С удалением от комбината возрастает обилие *At. subfuscus*. Плотность в популяции на импактной территории практически не отличается от плотности на фоновой (14,07±1,6 против 13,26±1,22), в то же время, значимо меньше (F=8,678; p=0,0035) плотности в буферной зоне. В южной тайге самая высокая плотность личинок щелкунов на фоновой территории, но нет достоверных отличий этого показателя от плотности популяции буферной зоны (17,99±1,55 экз./м²). В то же время, выявлены высокодостоверные различия по плотности популяций импактной зоны (значимо не отличающихся между собой) с буферной и фоновой (F=8,085; p=0,005 для площадки **Iа Ю** и F=21,43; p<0,0001 для площадки **I Ю).**

Два вида, являющиеся доминантами в изученных таежных подзонах: *D. marginatus* и *S. aeneus*, по-разному реагируют на антропогенную трансформацию среды (рис.4). Если для первого вида отмечаются разнонаправленные изменения от исходного обилия, вызванные антропогенной модификацией в обеих подзонах, то для второго

существенных изменений плотности при антропогенной трансформации не происходит, и исходные различия между его плотностью в разных таежных подзонах сохраняются. В условиях сравнительно высокой увлажненности почвы в подзоне

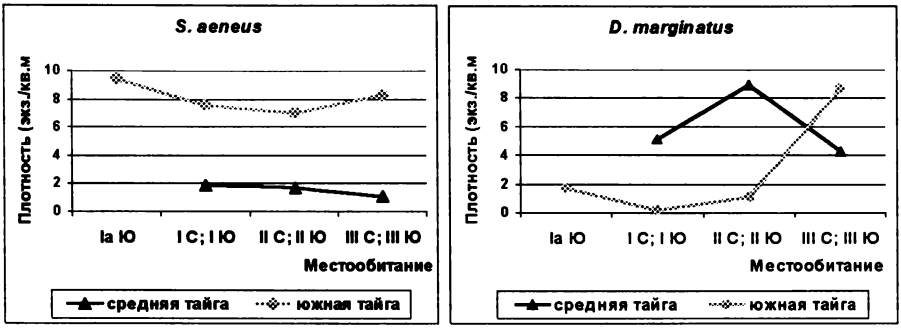


Рис. 4. Плотность личинок щелкунов в экз./м² (обозначения те же, что и на рис.2)

средней тайги в сочетании с меньшим количеством солнечной радиации, колебания влажности (ее снижение) менее значимы для *D. marginatus*, чем в южной тайге, где более выраженная ксеротизация трансформированных местообитаний неблагоприятно влияет на развитие яиц и выживание личинок младших возрастов. Вероятно, именно благодаря различиям в термическом режиме естественных и трансформированных местообитаний, растет доля и обилие *S. aeneus* и *A. tibialis* на преобразованных территориях средней тайги, повышается доля и плотность лесного, но достаточно ксероморфного вида *P. tesselatum* в буферной зоне и лесостепного вида *An. castaneus* на импактной территории южной тайги.

Регрессионный анализ показал, что ход динамики численности всего элатеридного комплекса в зоне южной тайги на максимально модифицированных участках **Ia Ю, I Ю** и буферной территории **II Ю** определяется ходом динамики численности доминирующего вида - *S. aeneus* (R=0,88, p<<0,0001; R=0,90, p<<0,0001) и (R=056, p<<0,001), соответственно, и в значительно меньшей степени зависит от хода динамики численности доминирующего вида (*D. marginatus*) для фоновой территории (R=044, p=0,026). Следствием супердоминирования *S. aeneus,* обусловленного продолжительным воздействием источника контаминации в южной тайге, является наличие устойчивой связи между динамикой численности доминирующего вида и динамикой численности всего элатеридного комплекса.

В модифицированных местообитаниях средней тайги, вследствие вышеупомянутых причин, создаются более благоприятные условия для развития личинок некоторых видов щелкунов *(S. aeneus, A. tibialis*), которые, наряду с основным

доминирующим видом, образуют полидоминантные комплексы. Вследствие этого, коэффициент корреляции между динамикой численности доминирующего вида *D. marginatus* и всего элатеридного комплекса составляет всего 23% (R=0,23, p<<0,0001) для территории импактной зоны и 21% (R=0,21, p<<0,0001) для территории буферной зоны. Только для фоновой зоны динамика численности этого вида почти на 50% определяет динамику численности элатеридного комплекса (R=0,47, p<<0,001).

Глава 6. Пространственная структура элатерид

Для анализа пространственной структуры элатеридного комплекса мы использовали тестовый показатель степени агрегированности - индекс Лексиса λ (Debauche, 1962). Несмотря на достаточно высокую неоднородность растительного покрова фоновых территорий и высокую фрагментарность проективного покрытия местообитаний импактной и буферной зон, высокую изменчивость микроклимата из-за особенностей нанорельефа, механических и физико-химических изменений свойств почвы в результате высокой техногенной нагрузки, на всех обследованных территориях, значения индекса Лексиса не превышают 2,61 (рис. 5). На фоновой территории средней тайги, где индекс Лексиса близок к единице (1,34), можно говорить о практически случайном распределении проволочников. Агрегированным следует считать распределение со значениями индекса Лексиса >1,5–2,0 (Чернова, Чугунова, 1967; Добролюбова, 1982). Наибольшая агрегированность отмечена в импактной зоне южной тайги в направлении, противоположном направлению господствующего ветра. На наш взгляд, интересен тот факт, что для остальных трех изученных южнотаежных территорий, значительно различающихся по степени антропогенной трансформации, этот тестовый показатель степени агрегированности почти не отличается.

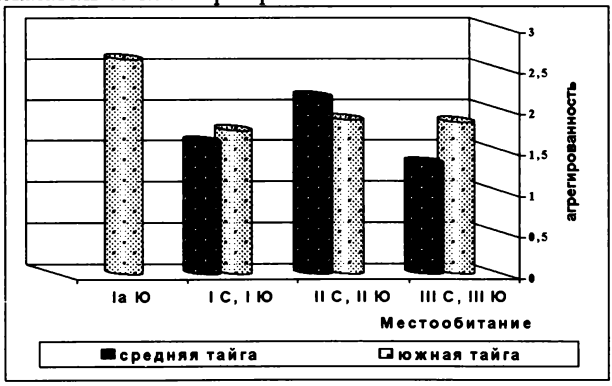
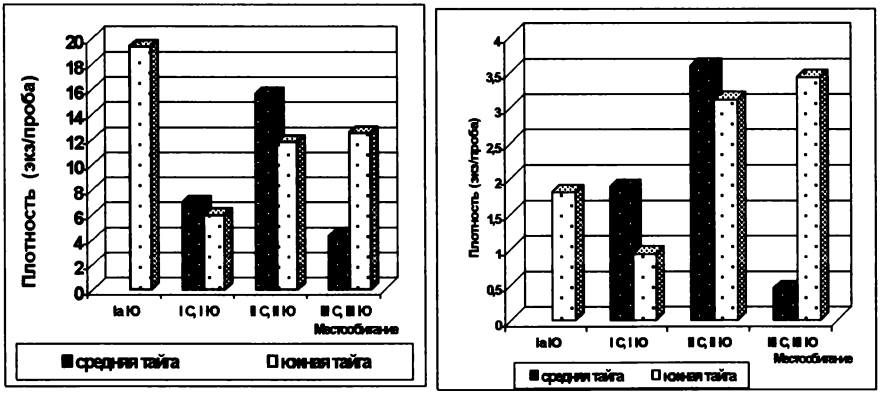


Рис. 5. Степень агрегированности (λ) личинок щелкунов (обозначения те же, что и на рис.2)

Как правило, в скоплениях находится только часть организмов, остальные распределены вне скоплений на фоне с пониженной плотностью. Поэтому для более подробного анализа использовали трехпараметрическое распределение (Смуров,

Романовский, 1976). Самая высокая плотность скоплений в средней тайге, в 4,3 раза превышающая плотность личинок элатерид вне скоплений, отмечена для местообитания буферной зоны, самая низкая плотность скоплений, только в 1,8 раза превышающая плотность вне скоплений, – для территории **III С** (рис. 6). Скоплениями личинок занято 17% от общей исследованной площади в буферной зоне, 29% - в импактной зоне и 50% - на фоновой территории. Это может быть обусловлено как высокой гетерогенностью условий буферного местообитания, более высокой, чем в импактной и фоновой зонах, так и более высокой степенью адаптации животных в последних. Для южнотаежных местообитаний самая высокая плотность скоплений личинок щелкунов (она же самая высокая среди всех исследуемых территорий), в 10,7 раза превышающая плотность вне скоплений, отмечена для участка **Iа Ю** импактной зоны, несмотря на то, что обилие проволочников здесь относительно невысоко (12,77±1,71 экз./м²). Скопления здесь занимают только 6% от исследуемой площади, что, наряду с вышесказанным, свидетельствует о крайне высокой агрегированности элатерид. Для другой площадки импактной зоны – **I Ю** (при незначительно меньшей (9,66 экз./м²), в сравнении с предыдущим местообитанием, плотностью животных) – плотность в скоплениях значительно ниже, хотя превышает плотность на фоне более,



а б

Рис.6. Некоторые характеристики трехпараметрического распределения для личинок щелкунов в разных таежных подзонах: **а** – плотность скоплений, **б** - фоновая плотность (обозначения те же, что и на рис. 2)

чем в 6 раз. Но скопления личинок размещены здесь на 41% площади, что говорит о более равномерном их распределении по площади биотопа. Для буферной и фоновой территорий южнотаежной подзоны, мы получили практически одинаковые значения

плотности скоплений, средней плотности личинок в пробе и плотности на фоне. Скопления занимают здесь 20% и 18% территории, что также свидетельствует о высокой степени агрегированности.

Мы рассмотрели распределение по площади биотопов отдельных видов щелкунов, чтобы определить вклад каждой группы в общую агрегированность элатеридного комплекса (рис. 7). Среди изученных видов тенденцию к существенной агрегации проявляют *S. aeneus, D. marginatus, Ag. obscurus*, а *S. impressus* отличается большим рассеянием в пространстве ($\lambda<1.5$). В средней тайге *Ag. obscurus* распределяется более рассеянно, чем в южной. Степень агрегации вида *A. tibialis*, доминирующего на всех трех площадках среднетаежной подзоны, незначительно возрастает по мере удаления от комбината. Несмотря на одинаковую среднюю плотность в пробах, *D. marginatus* имеет гораздо более высокую плотность в скоплениях, чем *S. aeneus*. При том, что агрегированость всего элатеридного комплекса в разных местообитаниях отличается незначительно, вклад каждого отдельного вида в суммарное значение флуктуирует в больших пределах. Таким образом, происходит «выравнивание» распределения элатерид по площади биотопа, а, следовательно, более полноценное использование ресурсов и сохранение большей устойчивости комплекса даже при значительном техногенном преобразовании. В большинстве случаев, независимо от степени трансформированности территорий, для разных видов элатерид характерно слабо агрегированное распределение. Единственный случай высокоагрегированного распределения (плотность скоплений 19,33 экз./пробу, площадь, занятая агрегациями,

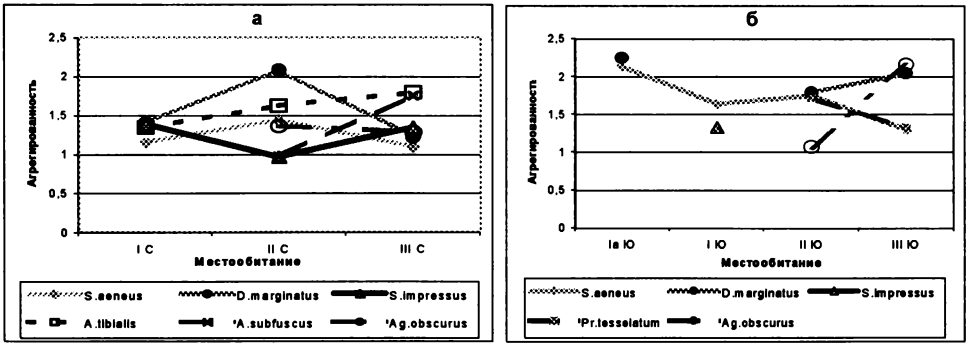


Рис. 7. Агрегированность (λ) различных видов элатерид (обозначения те же, что и на рис.2)

всего 6% от исследуемой) обусловлен спецификой субстрата – супесчаная олиготрофная почва, не способна удерживать влагу и бедна легкоусвояемыми элементами питания (Хотько и др., 1982). Именно с этим обстоятельством, наряду с нестабильным

увлажнением, на наш взгляд, связана высокая агрегированность всех видов личинок элатерид на площадке **Iа Ю** в южной тайге.

Глава 7. Изменение трофической структуры

Проанализировали численность и биомассу личинок различной пищевой специализации (рис. 8а, б). Вопреки распространенному мнению о преобладании фитофагии среди личинок элатерид на трансформированных территориях, в целом, доля форм, способных завершать развитие, потребляя только живые растительные ткани, мала на всех исследуемых территориях (не превышает 6,8%) по обилию и по биомассе (не более 6,2%). При столь малой их доле в видовом сообществе, вряд ли можно говорить о значимом снижении их встречаемости при антропогенном преобразовании среды, кроме полного их отсутствия в импактном местообитании южнотаежной подзоны. В этой ситуации более выраженным процессом является рост доли обилия и биомассы личинок - полифагов с отсутствием жесткой трофической специализации в южнотаежных биотопах импактной зоны (83,6 – 92,9% по обилию и 93,8 – 91,9% по биомассе). Вообще, о значительных изменениях в трофической структуре, можно говорить только для этих территорий, где наличествует максимальное по продолжительности и степени воздействия преобразование коренных фитоценозов. Полученная картина соответствует общим представлениям о более

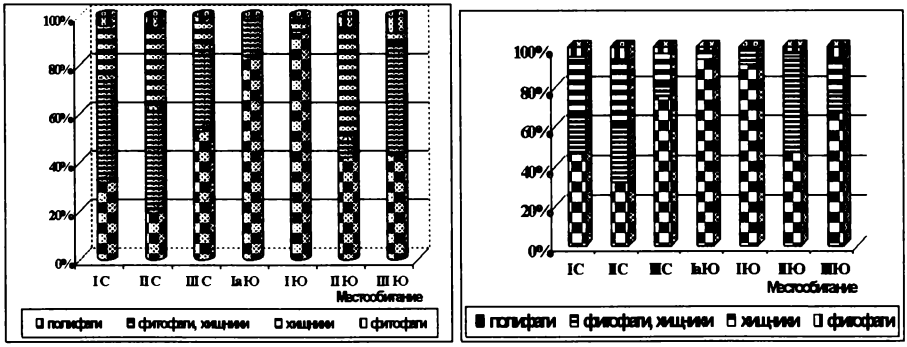


Рис.8. Соотношение (%) различных трофических групп: **а** - по обилию, **б** – по биомассе (обозначения те же, что и на рис.2)

широкой пластичности малоспециализированных в трофическом отношении групп животных, что позволяет им переключаться на доступные варианты пищевых ресурсов. Именно элатериды, как исходно, так и производно, по типу питания являясь сапрофагами и хищниками с переходом на некросапрофагию (Стриганова, 1980), участвуют в процессах деструкции и минерализации органического вещества, и являются, как непосредственным, так и промежуточным звеном в

нисходящих потоках вещества и энергии, роль которых в антропоценозах достаточна высока.

Глава 8. Возрастная структура популяций элатерид

Сроки развития, а, следовательно, и длительность всего жизненного цикла у пойкилотермных животных в значительной мере определяются температурным режимом, зависящим от широтной и вертикальной поясности, а также от ландшафтно-климатических характеристик локальных местообитаний (Чернов, 1975).

Проанализировали возрастную структуру личинок *S. aeneus,* основываясь на размерных классах, предложенных для этого вида (Черепанов, 1965), из популяций, населяющих вышеперечисленные местообитания южнотаежной подзоны с различным уровнем антропогенных преобразований. Рассматривали выживаемость личинок генерации 1993 года до окукливания. Личинки первого года не включены в анализ вследствие маленьких размеров, и, соответственно, сложности обнаружения. На рисунке 9 представлен ход выживаемости личинок в местообитаниях разной степени трансформации.

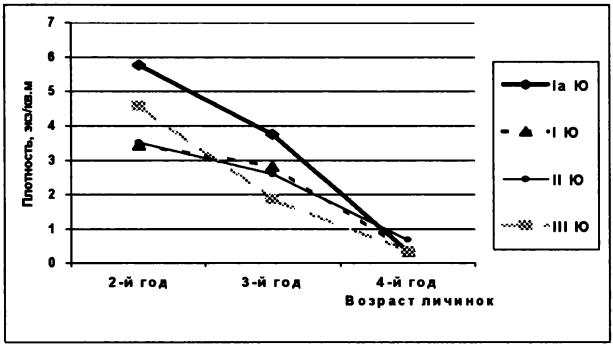


Рис.9. Выживаемость личинок *S. aeneus* генерации 1993:
I Ю – импактная зона (юго-восточное направление),
Ia Ю – импактная зона (северо-западное направление),
II Ю – буферная зона,
III Ю – фоновая зона

Установлено, что для всех преобразованных территорий выживаемость личинок от второго года развития к третьему выше, чем для фоновой зоны. Можно полагать, что вследствие высокого отхода на самых ранних стадиях онтогенеза (яйцо, личинка первого года развития), на трансформированных участках остаются наиболее устойчивые особи. К финальным стадиям онтогенеза приходит сходное количество особей, но различными путями, что может приводить к сдвигам в генетической структуре популяций животных.

Глава 9. Половая структура и изменение репродуктивного потенциала

Для популяций *D.marginatus,* обитающих на расстоянии 7,5 км от Карабашского медеплавильного комбината, отношение количества самцов к количеству самок составляет 0,29, что значительно ниже, чем на фоновой территории, где оно равно 0,87. Это может быть обусловлено как, большей смертностью самцов, связанной с их высокой

восприимчивостью, свидетельствуя о дифференцированном воздействии данного типа загрязнений на животных разного пола, так и иными причинами. Снижение доли самцов в популяциях импактной зоны имеет свое объяснение - относительно высокая смертность самцов не снижает репродуктивный потенциал популяции.

Можно с уверенностью сказать, что уровень воспроизводства популяций щелкунов, с одной стороны, в значительной степени зависит от абиотических факторов, с другой - является функцией биотического потенциала популяции - состояния группы производителей, длительности жизненного цикла, резерва питательных веществ, продолжительности генеративной фазы жизненного цикла, количества и размеров яиц (Vershinin, 2002). Сравнение диаметра яиц самок *D.marginatus* из фоновой и буферной зоны южной тайги и буферной зоны средней тайги показало, что средний диаметр яйца значимо ($F=126$; $p<<0,0001$) ниже в буферной зоне, чем на фоновой территории. Установлено, что в первом случае, наряду с расширением пределов изменчивости этого показателя (0,2-0,83), происходит снижение среднего размера яйца (0,62±0,08). Это может свидетельствовать о снижении количества питательных веществ в организме производителей, что может быть обусловлено расходами на физиологические адаптации (Шварц, 1980). Для животных из буферной зоны средней тайги средний диаметр яйца и пределы его изменчивости практически совпадают с таковыми для самок из популяции фоновой территории южной тайги (0,72±0,08; lim 0,5-0,9), что также может являться следствием сближения параметров этих территорий, как указывалось выше. Выявленные различия свидетельствуют о преобразовании репродуктивной стратегии в случае длительного постоянного техногенного воздействия.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Установлен ряд закономерностей преобразования структуры элатеридных комплексов преобразованных и относительно слабо трансформированных территориях подзон средней и южной тайги восточного склона Урала, в зависимости от широтной зональности, степени и длительности антропогенной трансформации. Структура видовых комплексов щелкунов изменяется как между таежными подзонами, так и по градиенту загрязнения. Видовые комплексы отличаются по степени доминирования: в средней тайге –полидоминантная структура, в южной – супердоминирование в импактной зоне. С усилением антропогенной трансформации в подзоне южной тайги увеличивается зависимость динамики численности всего элатеридного комплекса от динамики численности доминирующего вида. В условиях средней тайги антропогенное преобразование местообитаний рассматриваемым типом загрязнения смягчается

гидротермическими особенностями (см. гл. 2), что способствует большей устойчивости элатеридокомплексов.

Показана иерархичность факторов, определяющих структурную дивергенцию сообществ Elateridae естественных и модифицированных территорий. Различия в структуре видовых сообществ элатерид, в первую очередь, определяются широтной зональностью. Результаты кластерного анализа свидетельствуют, что элатеридные комплексы средней тайги хорошо дистанцированы от комплексов южнотаежной подзоны. Внутри подзон расхождение видовых комплексов разных местообитаний обусловлено их степенью трансформации, наряду с безусловной зависимостью глубины преобразований от продолжительности функционирования источников выбросов, особенностей рельефа местности и связанной с этим микроклиматической спецификой.

Нами установлено, что в условиях воздействия медеплавильных комбинатов, для разных ландшафтно-климатических подзон существуют как общие, так и специфические закономерности формирования элатеридных комплексов. Численность популяций щелкунов в естественных и преобразованных таежных биотопах определяется, в первую очередь, стабильностью гидротермического режима, который изменяется под действием выбросов медеплавильного производства.

В случае сильной трансформации среды обитания, в трофической структуре комплексов элатерид отмечается преобладание форм, характеризующихся полифагией, при почти полном исчезновении фитофагов. Подобное преобразование трофической структуры может быть связано с тем, что антропогенные биоценозы часто представляют собой системы аккумулирующего типа с большим количеством детрита, в связи с чем увеличивается значимость нисходящих потоков в биогенном круговороте, а, следовательно, возрастает роль редуцентов-деструкторов (Шварц, 1974).

Установленные изменения в соотношении полов, высокодостоверное снижение диаметра яиц *D. marginatus* в популяциях буферной зоны южной тайги, на наш взгляд, свидетельствует о наличии определенных изменений репродуктивной стратегии при таком типе техногенногенного воздействия и требует дополнительного изучения.

Таким образом, выявлен ряд закономерностей и существенных изменений, происходящих как на уровне популяций отдельных видов этой группы, так и комплекса видов в целом, в ходе адаптивных процессов, активно протекающих в биоте техногенных ландшафтов. Прагматическим аспектом настоящих исследований является возможность использования выявленных особенностей в качестве основы для разработки новых методов экологического мониторинга и биоиндикации. Данные о видовом составе,

динамике численности, возрастной структуре и трофических преферендумах щелкунов могут быть использованы при разработке мер борьбы с вредителями сельскохозяйственных культур, поскольку представители этой группы могут служить как объектом, так и средством мер биологической защиты растений.

ВЫВОДЫ

1. Видовые комплексы жуков-щелкунов, личинки котроых развиваются почве, в подзоне средней тайги представлены следующими видами: *S. aeneus* L., *S. impressus* F., *Ag. obscurus* L., *D. marginatus* L., *At. subfuscus* Mull., *Ser. brunneus* L., *M. rufipes* Hbst., *A. tibialis* Shc., *C. cupreus* F., *Ac. sjaelandicus* Mull., *N. quadripustulatus* F., с преимущественным доминированием *D. marginatus* L. В подзоне южной тайги: *S. aeneus* L., *S. impressus* F., *An. castaneus* L., *Prosternon tessalatum* L., *Ag. obscurus* L., *Agr. murinus* L., *D. marginatus* L., *At.subfuscus* Mull., *S. nigricornis* Panz., *Ser. brunneus* L., *M. rufipes* Hbst. с преимущественным доминированием *S. aeneus* L.

2. В иерархии факторов, определяющих структурную дивергенцию сообществ Elateridae естественных и трансформированных территорий, на первом плане стоит широтная зональность. Внутри подзон дистанцирование видовых комплексов разных местообитаний обусловлено ландшафтными особенностями и длительностью воздействия комбинатов. Роль антропогенного воздействия для сообществ элатерид проявляется через изменение среды обитания животных, существенно перестраивая структуру существующих сообществ.

3. Исходно полидоминантная структура, сохраняющаяся и при сильной трансформации местообитаний, определяет большую устойчивость сообществ жуков-щелкунов средней тайги, по сравнению с южнотаежными. Динамика численности комплексов щелкунов на импактных территориях южной тайги (в отличие от среднетаежных) значимо зависима от хода динамики численности доминирующего вида, что связано с более глубокими преобразованиями исходно бидомиантных сообществ.

4. Гидротермический режим подзоны средней тайги при антропогенной модификации формирует более благоприятные условия для мезофильных групп педобионтов, по сравнению с южной тайгой. В южной тайге, при исходно более высоком уровне солнечной инсоляции, меньшей влажности и продолжительном времени действия комбината, воздействие выбросов приводит к большей ксеротизации, что сопровождается сокращением численности бореальных видов и дает преимущество эвритопным и ксерорезистентным видам. Обилие олиготермных видов на трансформированных территориях снижается в обеих подзонах

5. Распределение элатерид по площади биотопа определяется не столько степенью прямого химического загрязнения, сколько биологическими потребностями видов в пищевых ресурсах, микроклиматических условиях, общей способностью вида образовывать скопления. Антропогенная трансформация выступает как фактор, модифицирующий средовые условия. Различия в пространственном распределении каждого из видов щелкунов приводят к более равномерному их распределению по площади биотпа и, в целом, способствуют оптимальному использованию ресурсов.

6. Трофическая структура комплексов элатерид характеризуется ростом доли неспециализированных полифагов в загрязненных местообитаниях. Изменение трофической структуры на импактных территориях свидетельствуют в пользу того, что одной из причин высокой экологической пластичности щелкунов является неспециализированная полифагия.

7. Возрастная структура популяций на деградированных территориях меняется в сторону увеличения выживаемости личинок средних возрастов, что может оказывать влияние на формирование генетической структуры генерации.

8. Популяции *D. marginatus*, населяющие трансформированные территории, характеризуются определенной репродуктивной спецификой. Отмечается смещение соотношения полов в сторону самок и уменьшение диаметра яиц в буферной зоне южной тайги.

Список работ, опубликованных по теме диссертации

1. Некрасова Л.С. О распределении проволочников в зоне влияния Карабашского медеплавильного комбината / Л.С. Некрасова, С.Д Середюк // Животные в условиях антропогенного ландшафта. – Свердловск, 1991. – С.50-53.

2. Некрасова Л.С.. К изучению проволочников (Elateridae) на техногенных территориях / Л.С. Некрасова, С.Д Середюк // Насекомые в естественных и антропогенных биогеоценозах Урала. - Екатеринбург, 1992. - С.102-103.

3. Середюк С.Д. Проволочники как биоиндикаторы промышленного загрязнения / С.Д Середюк, Л.С. Некрасова // Вестник Днепропетровского университета. Днепропетровск: Видавництво ДДУ, 1993. – С.75.

4. Середюк С.Д. Зональные особенности щелкунов техногенных территорий // Устойчивое развитие: загрязнение окружающей среды и экологическая безопасность. – Днепропетровск: ДДУ, 1995. – С.44-45.

5. Середюк С.Д. О влиянии радиоактивного загрязнения на почвенную мезофауну

// Стратегические направления экологических исследований на Урале и экологическая политика: (Тез. регион. семинара). - Екатеринбург, 1996. – С.42-43.

6. Seredjuk S.D. The structural features species complex of Elateridae group of technogenious territories // Sustainable development: system analysis in ecology. – Sevastopol, 1996. – P.149.
7. Вершинин В.Л. Трофическая специфика популяции остромордой лягушки на территории Восточно-Уральского радиоактивного следа в связи с состоянием почвенной мезофауны / В.Л. Вершинин, С.Д. Середюк // Экология. - -2000. –№5. - С.361-366.
8. Середюк С.Д. Некоторые популяционные характеристики доминирующих видов жуков-щелкунов (сем.Elateridae) антропогенных и ненарушенных территорий //Фундаментальные и прикладные проблемы популяционной биологии. - Нижний Тагил, 2002. – С.152-153.
9. Середюк С.Д. Сезонная динамика населения жуков-щелкунов (Coleoptera, Elateridae) в зависимости от степени индустриального загрязнения в средней и южной тайге // Проблемы почвенной зоологии. – М.: Изд-во КМК, 2002. – 141-142.
10. Вершинин В.Л.. Видовые комплексы наземных животных естественных и техногенных ландшафтов Урала / В.Л. Вершинин, О.А. Пястолова, С.Д. Середюк, Н.Ф. Черноусова, А.В. Иванов, В.В. Малимонов, Н.Л. Добринский, И.Н. Камкина, Ю.Л. Старовойтенко // Региональный конкурс РФФИ «Урал-2001». Аннотационные отчеты. - Екатеринбург, 2002. - С 210-212.
11. Вершинин В.Л.. Видовые комплексы наземных животных естественных и техногенных ландшафтов Урала / В.Л. Вершинин, О.А. Пястолова, С.Д. Середюк, Н.Ф. Черноусова, А.В. Иванов, В.В. Малимонов // Региональный конкурс РФФИ «Урал-2001». Аннотационные отчеты. - Екатеринбург, 2003. – С.312-315.
12. Середюк С.Д. Зональные особенности видовых сообществ жуков-щелкунов (Coleoptera, Elateridae) техногенных территорий // Сибирская зоологическая конференция: (Тез. докл. Всерос. конф., Новосибирск, 15-22 сент. 2004). - Новосибирск, 2004. - С.75-76.
13. Середюк С.Д. Трофическая структура проволочников (сем. Elateridae) в техногенных ландшафтах // Александр фон Гумбольдт и проблемы устойчивого развития Урало-сибирского региона. (Материалы междунар. конф.). – Тюмень: Изд-во ПЦ Экспресс, 2004. - С.362-363.

Подписано в печать 29.10.2004 г. Формат 60x84 1/16
Усл. Печ. Л. 1,2 Бумага «Гознак» Тираж 100 экз. Заказ №198

Отпечатано в типографии ООО «ИРА УТК»
620219, г. Екатеринбург, ул. К. Либкнехта, 42. Тел. (343) 350-97-24