

ЦИКЛИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В ПОПУЛЯЦИЯХ ЖУЖЕЛИЦЫ МОХОВИКА КОРОТКОКРЫЛОГО В СЕВЕРНОМ ПРИБАЙКАЛЬЕ¹

© 2024 г. Т. Л. Ананина^{а, *}, А. А. Ананин^{а, б}

^а Объединенная дирекция Баргузинского государственного природного биосферного заповедника
и Забайкальского национального парка (Заповедное Подлеморье),

ул. Ленина, д. 71, пгт Усть-Баргузин, Баргузинский р-н, 671624, Республика Бурятия

^б Институт общей и экспериментальной биологии СО РАН, ул. Сахьяновой, д. 6,

г. Улан-Удэ, 670047, Республика Бурятия

*E-mail: t.l.ananina@mail.ru

Поступила в редакцию 27.01.2024

После доработки 16.03.2024

Принята к публикации 08.07.2024

Анализ долговременных рядов наблюдений представителей биоты — одна из важнейших задач современной экологии. Предметом исследования в настоящей статье является выявление циклической компоненты в долговременных численных рядах жужелицы *Calathus micropterus* Duft. Цель исследования — сравнительный анализ цикличности долговременных рядов динамики численности модельного вида в горных условиях. Исследования проведены в характерных биотопах высотной трансекты западного макросклона Баргузинского хребта. Представлены результаты одномерного спектрального анализа Фурье 14 численных рядов модельного вида длительностью 20 и 33 года. Спектральный анализ позволил обнаружить скрытые периоды, рассчитать их мощность, а метод сглаживания скользящей средней — исключить случайные периодические составляющие. Установлено, что спектры численности *C. micropterus* в выделах высотной трансекты в общей сложности содержат 7 циклов различной мощности, доминируют по частотности 2-летние циклы. Периоды в 6- и 11-летней полосе частот, связанные с ритмичностью климатических изменений и солнечной активности, второстепенны. На более коротких численных рядах побережья оз. Байкал проявилось 5 циклов, главные из них — 3- и 4-летние циклы, которые синхронизируются с цикличностью погодных параметров. Немалую мощность имеет 8-летний, а также 5-летние циклы. Исследуемый вид координирует свою динамику численности преимущественно с цикличностью метеопараметров — температурой воздуха и атмосферными осадками.

Ключевые слова: жужелицы, Баргузинский хребет, спектральный анализ, численность, цикличность, период, частота.

DOI: 10.31857/S0024114824040081, EDN: PDECAI

Изучение цикличности долговременных рядов численности — важное направление анализа данных в различных областях. В структуре временного ряда присутствуют компоненты: тренд, циклическая составляющая, случайная компонента и т. д. Циклическая компонента характеризует периодические колебания ряда (Перепелица и др., 2005; Шубат, Блинов, 2018). Одним из интереснейших и до сих пор до конца не разгаданных вопросов в окружающей нас среде является повторяемость природных процессов — цикличность. Все воздействия внешней среды (космические, климатические, гидрологические и т. д.) цикличны (Исаев и др., 1984; Переясловец и др., 2019; Фрисман и др.,

2020). Природные циклы не однородны, а различны по продолжительности, мощности и накладываются один на другой. Ряд исследователей выражают гипотезы о внутривековой периодичности погодных явлений на Земле: 3–4, 7–11, 35–45 и 70–90 лет (Шнитников, 1950; Дроздов, Григорьева, 1971; Castro et al., 2021). Появляется все больше исследований, посвященных анализу и моделированию изменчивости природных экосистем (Nowinszky, Puskas, 2017). В последнее время накопился значительный объем эмпирических данных по динамике численности популяций насекомых (Колтунов, Ермаков, 2013; Frisman et al., 2016; Barraquand et al., 2017; Bertram, Masel, 2019).

¹ Работа осуществлена при выполнении государственного задания ФГБУ «Объединенная дирекция Баргузинского государственного природного биосферного заповедника и Забайкальского национального парка», а также частично профинансирована в рамках выполнения государственного задания ИОЭБ СО РАН, проект 121030900138-8.

Долговременное слежение за состоянием природных комплексов — одна из главных задач заповедников в России. В Баргузинском государственном природном биосферном заповеднике герпетобионтные насекомые, в том числе жужелицы, с 1988 г. используются для целей биологического мониторинга.

За основу наших исследований природной цикличности в долговременных численных рядах жужелиц мы приняли «Концепцию природной циклическости...» В. Г. Кривенко (2005, 2010), согласно которой в природной среде присутствует самостоятельный многослойный природный цикл. Формирование природных циклов происходит следующим образом: гелиокосмические циклы (первый слой), воздействуя на атмосферу Земли, оказывают влияние на характер и развитие погодных циклов (второй слой), а те, в свою очередь, на циклы экологических процессов (третий слой), к которым отнесены популяционные циклы и циклы сообществ (Максимов, 1989; Ананина, 2019). Как результат, популяции видов должны синхронизировать свою цикличность численности с природными циклами (Телепнев, Ердаков, 2014; Ердаков, 2018). Периодические изменения численности также могут происходить и по другим причинам, например, из-за межвидовых взаимоотношений, хищничества (Неверова, Фрисман, 2020). Изменение численности одного из рядом живущих видов сообщества может привести к синхронным изменениям численности других видов.

Цель исследования — рассмотрение характера цикличности долговременных рядов численности жужелиц в горных условиях Баргузинского хребта на примере *Calathus micropterus* Duft.

В процессе анализа долговременных численных рядов нас интересовал вопрос об особенностях цикличности в популяции модельного вида в разных частях высотного экологического профиля.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДИКА

Исследования проводили на территории Баргузинского государственного природного биосферного заповедника, на ключевом участке в срединной части западного макросклона одноименного хребта. Баргузинский хребет протянулся на 300 км вдоль северо-восточного побережья оз. Байкал. Основными климатообразующими факторами данного региона являются: солнечная радиация, циркуляция атмосферы в бассейне оз. Байкал и горный рельеф. Совокупность радиационных и погодных условий определяет особенности теплового режима исследуемой территории. Климат в районе исследования резко-континентальный. Радиационный баланс составляет на исследуемой территории 700—800 Мдж/м², а на сопредельных территориях — 1300—1400 Мдж/м² (Экологический атлас, 2015). Среднегодовая температура в 1988—2023 гг. была отрицательная (–2.5 °C), уровень годовых осадков составил 429 мм. Тренды в изменении

среднегодовой температуры воздуха ($R^2 = 0.0969$) и уровня атмосферных осадков ($R^2 = 0.028$) за период исследования не обнаружены. В то же время замечено изменение в сроках начала фенологических сезонов года — весна стала приходить раньше, а осень — позднее (Ananina et al., 2021).

Трансекта, где размещены стационарные энтомологические площадки, пересекает следующие высотные выделы: *побережный* (0—5 км от берега оз. Байкал, 460—480 м над ур. м., биотопы: кедровник черничный, пл. 1; сосняк березовый, пл. 2; луг закустаренный, пл. 3); *предгорный* (6—15 км, 482—535 м над ур. м., луг разнотравный, пл. 4; лиственничник сосновый, пл. 5; ельник осоковый, пл. 6; сосняк брусничный, пл. 7); *низкогорный* (16—19 км, 536—990 м над ур. м., кедровник бадановый, пл. 8; осинник бадановый, пл. 9); *среднегорный* (20—26 км, 1000—1280 м над ур. м., стланик кедровый, пл. 10; пихтарник черничный, пл. 11); *высокогорный* (27—30 км, 1281—1700 м над ур. м., березняк парковый, пл. 12; тундра черничная, пл. 13; тундра лишайниковая, пл. 14).

Метеоусловия высотных выделов определяются особенностями рельефа, высотой над уровнем моря и удаленностью от оз. Байкал. Высотные выделы различаются по терморегиму и увлажненности. Наиболее теплообеспеченными и оптимальными местообитаниями для жизни жужелиц выступают предгорный и низкогорный высотные выделы, а на побережье оз. Байкал, в среднегорном и в высокогорном выделах, формируются наименее теплообеспеченные условия (табл. 1) (Ананина, 2010).

В качестве объекта исследования выбран *Calathus micropterus* Duft. — один из фоновых видов на территории Баргузинского заповедника. Вид экологически пластичен к тепловым условиям местообитания и встречается практически во всех биотопах Баргузинского хребта (Ананина, 2006). Это бореальный транспалеарктический вид, область его распространения: север и центр Европейской части — Дальний Восток. По типу увлажнения — мезофил, по типу жизненной формы — стратобионт подстилочный, бескрылый. По длительности размножения и характеру репродуктивного периода отнесен к одногодичному жизненному циклу с зимующими имаго (Шиленков, 1978). В горных условиях Северного Прибайкалья, по нашим исследованиям и наблюдениям Б. Ю. Филиппова (2006), возможно удлинение жизненного цикла этого вида до двухлетнего.

Количественный учет герпетобионтов проводили по общепринятой методике почвенных ловушек (Barber, 1931). В качестве фиксатора использовали 4%-ный раствор формалина. Ловушки выставлялись на 14 стационарных площадках 30-километровой высотной трансекты в долине р. Давша. На каждой площадке вкапывали по 5 ловушек через 5 м, сбор насекомых проводили еженедельно 5, 15, 25 числа с мая по сентябрь. Статистическая обработка материала включала расчет среднегодовой численности

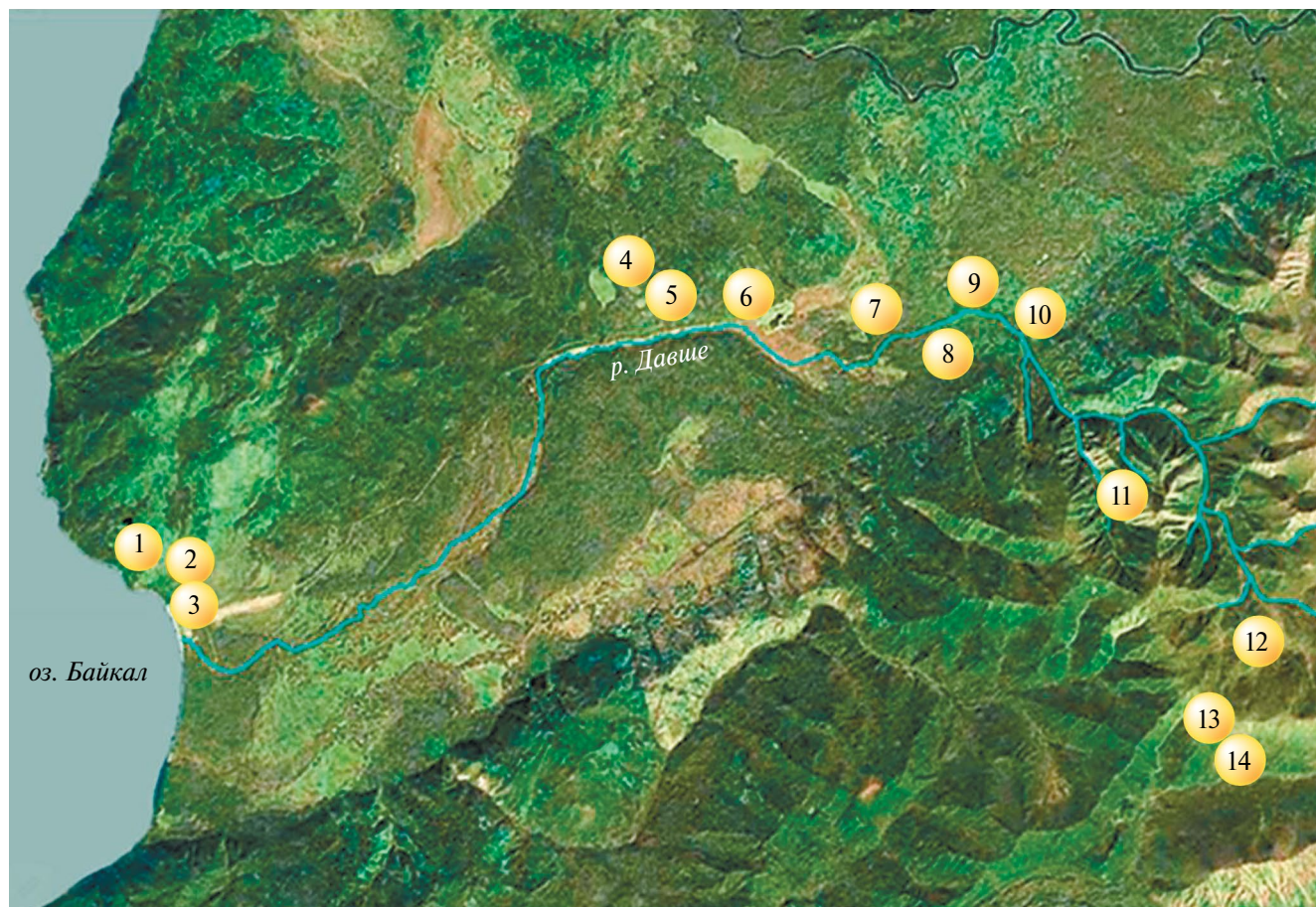


Рис. Расположение учетных энтомологических площадей на высотной трансекте западного макросклона Баргузинского хребта.

S. micropterus на каждой площадке, в экземплярах на 100 ловушко-суток. Для реализации поставленных целей использовали долговременные численные ряды *S. micropterus*: три ряда продолжительностью по 20 лет (2004—2023 гг.) в выделе побережье оз. Байкал и девять рядов продолжительностью по 33 года (1988—2020 гг.) в высотных выделениях предгорья, низкогогорья, среднегогорья и высокогорья. Для обобщения данных рядов динамики численности и получения типической характеристики рассчитывали следующие статистические показатели: среднегодовую численность (M) (экземпляров на 100 ловушко-суток), ошибку средней m , стандартное отклонение от среднегодовой численности σ , коэффициент вариации численности ряда ($C.v.$).

Для рассмотрения характера цикличности и интерпретации полученных данных были использованы специализированные методы анализа — спектральный анализ Фурье в пакете Statistica 6.0 и анализ данных в пакете Excel 7.0. Сущность этих методов анализа состоит в преобразовании временных численных рядов. Выявить информацию о цикличности можно путем преобразования данных об изменениях численности с временной шкалы на частотную, при

этом изменения численности будут выглядеть как спектр некоторого количества периодов. Однако в результатах анализа данные о самой численности не будут представлены (Телепнев, Ермаков, 2014). Спектральный метод быстрого преобразования Фурье позволяет выявить набор скрытых периодических составляющих, невидимых на графиках динамики численности, получить мощности значимых пиков и соответствующие им периоды (Коросов, 2007). Недостатком спектрального метода анализа мы считаем сокращение первоначальной длины долговременного числового ряда до четных значений, а преимуществом — отсутствие ограничений на длину ряда. Достоинство специализированного метода анализа данных (например, сглаживание ряда взвешенной скользящей средней) состоит в том, что позволяет исключить случайные периодические составляющие (Перепелица и др., 2005; Ермаков, 2018; Шубат, Блинов, 2018). Характеристика долговременных численных рядов модельного вида представлена в табл. 1.

На основе оригинальных данных за исследуемый период также был выполнен спектральный анализ Фурье долговременных рядов метеопараметров — среднегодовых температуры воздуха и суммы

Таблица 1. Статистическая характеристика долговременных численных рядов *C. micropterus* на высотной трансекте Баргузинского хребта

№ пл.	Высотный выдел	Биотоп	<i>n</i>	$M \pm m$	σ	C.v., %
Побережье						
1		Кедровник черничный	20	5.1 ± 1.0	4.3	84.7
2		Сосняк березовый	20	7.0 ± 1.3	5.7	82.0
3		Луг закустаренный	20	4.1 ± 0.6	2.7	66.8
Предгорье						
4		Луг разнотравный	33	11.5 ± 2.1	11.9	103.2
5		Лиственничник сосновый	33	2.8 ± 0.4	2.3	80.7
6		Ельник осоковый	33	1.2 ± 0.3	1.5	120.8
7		Сосняк брусничный	33	1.5 ± 0.4	2.2	149.3
Низкогорье						
8		Кедровник бадановый	33	8.7 ± 2.0	11.6	133.1
9		Осинник бадановый	33	9.2 ± 1.8	10.2	111.2
Среднегорье						
10		Стланик кедровый	33	3.9 ± 1.0	5.8	148.7
11		Пихтарник черничный	33	4.8 ± 0.8	4.7	98.5
Высокогорье						
12		Березняк парковый	33	9.7 ± 1.3	7.2	74.4
13		Тундра черничная	33	1.3 ± 0.3	1.7	127.7
14		Тундра лишайниковая	33	1.8 ± 0.5	2.9	158.3

атмосферных осадков. В спектрограммах этих параметров выявлено 11 полных периодов (циклов). Для удобства оперирования данными мы округляли значения периодов до целых чисел. В среднегодовой температуре воздуха чаще проявились 3- и 4-летние циклы (18.8 % и 16.6 %). В сумме годовых осадков чаще всего обнаруживались 2-летние циклы (18.2 %). Отмечено присутствие мощных 11-летних циклов в долговременных рядах как суммы годовых осадков (8.4 %), так и среднегодовой температуры (9.8 %).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В нашем исследовании, прежде всего, интересовала циклическая компонента в долговременных численных рядах жулицы *C. micropterus*. В результате спектрального преобразования получены сведения о доле (в %) периодических составляющих динамики численности этого вида на постоянных пробных площадках во всех высотных выделах ключевого участка Баргузинского государственного природного биосферного заповедника — в центральной части западного макросклона Баргузинского хребта (табл. 2). В итоговой таблице спектрального анализа мы ограничились такими параметрами, как период, частота и плотность, так как именно эти характеристики вносят значительный вклад в циклическое поведение ряда. Периодограмма помогает исследовать частотные компоненты и выявлять особенности долговременного ряда. В спектрограмме большие

пики указывают на присутствие периодической компоненты. Спектральная плотность мощности (СПМ) позволяет анализировать спектральные характеристики временных рядов, показывает распределение мощности периодов по частотам. Мы провели анализ статистически достоверных значений периодов (Т), которые минимум два или три раза укладывались в длину анализируемого ряда.

В общей сложности в долговременных рядах численности *C. micropterus* было выявлено 7 основных циклическостей, за счет которых достигается сложная многолетняя динамика. На более коротких рядах побережья оз. Байкал проявилось 5 циклическостей, главные из них — 3- и 4-летние, а также 5- и 8-летние периодические составляющие. В длинных рядах выделов предгорье, низкогорье, среднегорье и высокогорье наибольшую долю составляют короткие 2- и 3-летние, дополнительно выявлены 6- и 11-летние периоды.

Доминируют по доле участия циклы в 2-летней (25 %) и в 3—5-летней (19.1—14.1 %) полосе частот. Немаловажное значение имеет 8-летний цикл (12.6 %). Периоды в 6- и 11-летней полосе частот второстепенны (табл. 2).

Для того чтобы популяция *C. micropterus* сохраняла устойчивость своих ритмов численности, каждый из ее циклов должен иметь близкий по периоду природный ритм и к нему подстраиваться (Телепнев, Ермаков, 2014). Возможно, 2—3-летний ритм

Таблица 2. Спектральная плотность мощности (ед. спектральной плотности — доля участия, %) периодических составляющих долговременных численных рядов динамики численности жужелицы *C. micropterus* на вертикальной трансекте ключевого участка в Баргузинском государственном природном биосферном заповеднике

№ пл.	Период, лет						
	11	8	6	5	4	3	2
Побережье							
1	0	39.4	0	26.8	16.4	15.3	2.1
2	0	22	0	11.8	20.3	40	5.9
3	0	14.1	0	21.2	24.6	34.9	5.2
Предгорье							
4	13.4	11.6	7.9	8.5	4.5	20.7	33.4
5	5.4	4.3	6.1	12.9	2.3	12.9	56.1
6	13.9	11.6	8.4	14	12	14	26.1
7	26.7	24.5	15.2	15.6	9.6	3.6	4.8
Низкогорье							
8	7.1	5.2	5.6	11.9	13.7	19.3	37.2
9	8.4	6.3	4.8	9.6	6.1	15	49.8
Среднегорье							
10	20.5	18.7	11.7	11.8	19.6	11.9	5.8
11	7.8	6.5	7.4	19.3	15	13.6	30.4
Высокогорье							
12	3.9	2.9	3.8	12.3	18.5	21.4	37.2
13	5.8	5.4	6.1	16.3	12.5	28.8	25.1
14	4.3	3.8	5.1	17.8	21.7	16.1	31.2

динамики численности этого вида может поддерживаться ритмами осадков (Дроздов, Григорьева, 1971), 4—5-летний цикл — температурной цикличностью (Дружинин, 1987; Кривенко, 2010), 11—12-летний цикл сопряжен с гелиокосмической ритмикой (Бялко, Гамбургцев, 2000; Бухарицын, Андреев, 2007).

Какие же факторы влияют на цикличность жужелицы в Северном Прибайкалье? Ряд ученых для видов с коротким жизненным циклом и высокой скоростью роста, которым является и *C. micropterus*, рассматривают погодные факторы ключевыми, оказывающими решающее влияние на цикличность популяций (Фрисман и др., 2014; Неверова, Фрисман, 2020).

В высотных выделах процессы периодичности несколько различаются — циклы в 2-летней полосе частот на побережье оз. Байкал очень слабо выражены и практически отсутствуют, в то время как во всех остальных высотных выделах они проявляются достаточно ярко. Циклы в 3—5-летней полосе частот представлены во всех выделах. Циклы в 8- и 11-летней полосе частот в наибольшей степени проявились в предгорном и среднегорном выделах, особенно в хорошо освещенных и наиболее теплообеспеченных луговых (пл. 3) и лесных (пл. 7) местообитаниях.

Оценка статистической значимости с использованием методов непараметрической статистики не подтверждает линейной тенденции в рядах динамики

цикличности на высотной трансекте. Определяющая роль в характере цикличности динамики численности модельного вида жужелиц принадлежит особенностям тепло- и влагообеспеченности исследованных местообитаний (постоянных пробных площадок), что в целом подтверждает гипотезу определяющего влияния погодных факторов на цикличность популяций (Неверова, Фрисман, 2020).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, в долговременных численных рядах жужелицы *C. micropterus* присутствует определенная временная организация — цикличность. Ведущими для этого вида выступают короткие 2- и 3—4-летние циклы, которые синхронизируются с цикличностью метеорологических параметров — уровнем атмосферных осадков и среднегодовой температурой воздуха. Также присутствует 8- и 11-летние циклы, связанные с периодичностью атмосферных характеристик и солнечной активности. Исследуемый вид синхронизирует свою динамику численности преимущественно с цикличностью метеопараметров — температурой воздуха и атмосферными осадками.

В континентальных условиях Баргузинского хребта определяющую роль в динамике многолетней численности жужелиц имеют условия местообитания — теплообеспеченность и увлажненность,

а абсолютная высота выделов на трансекте оказывает косвенное влияние.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Ананина Т. Л. Жужелицы западного макросклона Баргузинского хребта. Улан-Удэ: БНЦ СО РАН, 2006. 201 с.
- Ананина Т. Л. Динамика численности жужелиц в горных условиях Северо-Восточного Прибайкалья. Улан-Удэ: Изд-во Бурятского госуниверситета, 2010. 136 с.
- Ананина Т. Л. Влияние солнечных циклов на природно-климатические процессы в Северном Прибайкалье // Глобальные климатические изменения: региональные эффекты, модели, прогнозы: Мат-лы Междунар. науч.-практ. конф. Воронеж: Цифровая полиграфия, 2019. Т. 1. С. 134—137.
- Бухарицын П. И., Андреев А. Н. Ритмы солнечной активности и ожидаемые экстремальные климатические события в Северо-Каспийском регионе на период 2007—2017 гг. // Экстремальные гидрологические события в Арало-Каспийском регионе: Труды Междун. науч. конф. М., 2007. С. 137—143.
- Бялко А. В., Гамбургцев А. Г. Статистика погоды // Природа. № 12. 2000. С. 6—10.
- Дроздов О. В., Григорьева А. С. Многолетние циклические колебания атмосферных осадков на территории СССР. Л.: Гидрометеиздат, 1971. 316 с.
- Дружинин И. П. Долгосрочный прогноз и информация. Новосибирск: Наука, 1987. 246с.
- Ердаков Л. Н. Биологические ритмы в популяционной регуляции (приглашение к дискуссии) // Успехи современной биологии. 2018. Т. 138. № 3. С. 312—320.
- Исаев А. С., Хлебопос Р. Г., Недорезов Л. В., Кондаков Ю. П., Киселев В. В. Динамика численности лесных насекомых. Новосибирск: Наука, 1984. 224 с.
- Колтунов Е. В., Ердаков Л. Н. Цикличность в многолетней динамике численности шелкопряда-монашенки (*Lymantia monacha* L.) в Зауралье // Евразийский энтомологический журнал. 2013. № 12(6). С. 587—593.
- Коросов А. В. Специальные методы биометрии. Петрозаводск: ПетрГУ, 2007. 364 с.
- Кривенко В. Г. Концепция природной циклики и некоторые задачи хозяйственных стратегий России // Аграрная Россия. 2005. № 6. С. 41—47.
- Кривенко В. Г. Природная циклика нашей планеты // Вестник Российской Академии естественных наук. 2010. № 3. С. 25—29.
- Неверова Г. П., Фрисман Е. Я. Режимы динамики численности популяции биологического вида с перекрывающимися поколениями и стадийным развитием особей // Информатика и системы управления. 2020. № 3. С. 38—50.
- Максимов А. А. Природные циклы: Причины повторяемости экологических процессов. Л.: Наука, 1989. 236 с.
- Перепелица В. А., Тебеева Ф. Б., Эбзеева Н. С., Овчаренко Н. Ф. Использование долговременной памяти временных рядов для их предпрогнозного анализа // Известия вузов Северо-Кавказского региона. Общественные науки. Приложение. 2005. № 8. С. 43—54.
- Переясловец В. М., Ердаков Л. Н., Хидекель В. В. Динамика и циклы численности в некоторых популяциях лесного северного оленя // Принципы экологии. 2019. Т. 8. № 2. С. 88—97.
- Телепнев В. Г., Ердаков Л. Н. Описание цикличности динамики численности в популяции глухаря (*Tetrao urogallus* L., 1758) при многолетнем ее мониторинге // Сибирский экологический журнал. 2014. Т. 21. № 5. С. 703—710.
- Филиппов Б. Ю. Сезонные аспекты жизненных циклов жужелиц *Calathus melanocephalus* и *C. micropterus* (Coleoptera, Carabidae) в северной тайге // Зоологический журнал. 2006. Т. 10. С. 1196—1204.
- Фрисман Е. Я., Неверова Г. П., Кулаков М. П., Жигальский О. А. Смена динамических режимов в популяциях видов с коротким жизненным циклом: результаты аналитического и численного исследования // Математическая биология и биоинформатика. 2014. Т. 9. № 2. С. 414—429.
- Фрисман Е. Я., Колобов А. Н., Ревуцкая О. Л., Неверова Г. П., Фетисов Д. М. Прогнозирование изменений биологического разнообразия и разработка подходов к управлению его устойчивостью: анализ и моделирование пространственно-временной естественной и антропогенной динамики экосистем на примере Среднего Приамурья // Вестник РФФИ. 2020. № 2(106). С. 60—77.
- Шиленков В. Г. Особенности биологии массовых видов жужелиц (Coleoptera, Carabidae) фауны Южного Прибайкалья // Энтомологическое обозрение. 1978. Т. 57. № 2. С. 290—301.
- Шнитников А. В. Внутривековые колебания уровня степных озер Западной Сибири и Северного Казахстана и их зависимость от климата // Труды лаборатории озероведения АН СССР. 1950. Т. 1. 129 с.
- Шубат О. М., Блинов Д. В. Исследование рядов динамики в экономике и менеджменте // Учебный электронный текстовый ресурс. Екатеринбург, 2018. 65 с. (Информационный портал УрФУ <https://urfu.ru>).
- Экологический атлас бассейна оз. Байкал. Иркутск: Институт географии им. В. Б. Сочавы СО РАН, 2015. 145 с.
- Ananina T., Ananin A. and Aiurzanaeva I. The impact of climate warming on the phenology of ground beetles in the Northern Baikal region // MDPI Proceedings. <https://doi.org/10.3390/IECE-10413>
- Barber H. Traps for cave-inhabiting insects // J. Elisha Mitchell Sci. Soc. 1931. V. 46. P. 259—266.

- Barraquand F., Louca S., Abbott K. C., Cobbold C. A., Cordoleani F., DeAngelis D. L., Elder B. D., Fox J. W., Greenwood P., Hilker F. M., Murray D. L., Stieha C. R., Taylor R. A., Vitense K., Wolkowicz G. S. K., Tyson R. C. Moving forward in circles: challenges and opportunities in modelling population cycles // *Ecology letters*. 2017. V. 20. № 8. P. 1074—1092.
- Bertram J., Masel J. Density-dependent selection and the limits of relative fitness // *Theoretical Population Biology*. 2019. V. 129. P. 81—92.
- Castro K. C., Palomino A. C., Ladera G. F., Rojas A. P., Aburto N. M. Analysis of the influence of solar cycles on meteorological variables in the central inter-Andean valley of Peru in the period 1986—2019 // *The 8th International Conference on Energy and Environment Research. ICEER*. 2021. P. 89—94.
<https://doi.org/10.1016/j.egy.2022.01.084>
- Frisman E. Y., Neverova G. P., Kulakov M. P. Change of dynamic regimes in the population of species with short life cycles: Results of an analytical and numerical study // *Ecological Complexity*. 2016. V. 27. P. 2—11.
- Nowinszky L., Puskás J. Light-Trap Catch of Insects in Connection with Environmental Factors // *Biological Control of Pest and Vector Insects*. 2017. doi: 10.5772/66251.

Cyclical Processes Within *Calathus Micropterus* Ground Beetle Populations of the Northern Baikal Region

T. L. Ananina^{1, *}, A. A. Ananin^{1, 2}

¹ Federal State Budgetary Institution “Zapovednoye Podlemorye”,
Lenina st., 71, Ust-Barguzin stl., 671624, Buryat Republic

² Institute of general and experimental biology of the Siberian Branch of the RAS,
Sakhyanovoy st., 6, Ulaan-Ude, 670047, Buryat Republic

* E-mail: t.l.ananina@mail.ru

Analysis of long-term observational series of biota representatives is one of the most important tasks of modern ecology. The subject of the study in this article is the identification of the cyclic component in the long-term series of the ground beetle *Calathus micropterus* Duft. numbers. The purpose of the study is a comparative analysis of the cyclicity of long-term series of population dynamics of the model species in mountain conditions. The studies were carried out in characteristic biotopes of the high-altitude transect on the western macroslope of the Barguzinsky ridge. The results of one-dimensional Fourier spectral analysis of 14 numerical series for the model species with a duration of 20 and 33 years are presented. Spectral analysis made it possible to detect hidden periods, calculate their power, and the moving average smoothing method allowed us to eliminate random periodic components. It has been established that the abundance spectra of *C. micropterus* in strata of the altitudinal transect contain a total of 7 cycles of varying power, with 2-year cycles dominating in frequency. The periods in the 6- and 11-year frequency groups associated with the rhythm of climate change and solar activity are secondary. The shorter numerical series of the Baikal Lake coast are found to have 5 cycles, the main ones being 3- and 4-year cycles, which are synchronized with the cyclicity of weather parameters. The 8-year and 5-year cycles have considerable power as well. The studied species coordinates its population dynamics mainly with the cyclicity of meteorological parameters — air temperature and precipitation.

Keywords: ground beetles, Barguzin ridge, spectral analysis, numbers, cyclicity, period, frequency.

Acknowledgement: The study has been carried out within the framework of the State contract with the Federal State Budgetary Institution “Unified directorate of the Barguzin state natural biospheric reserve and Baikal national park” and partially financed by the State contract with the Institute of general and experimental biology of the Siberian Branch of the RAS.

REFERENCES

Ananina T., Ananin A., Aiurzanaeva I., The impact of climate warming on the phenology of ground beetles in the Northern Baikal region, *MDPI Proceedings*.
<https://doi.org/10.3390/IECE-10413>

Ananina T. L., *Dinamika chislennosti zhuzhelits v gornykh usloviyakh Severo-Vostochnogo Pribaikal'ya* (Abundance dynamics of ground beetles in the mountainous conditions of the North-Eastern Baikal region), Ulan-Ude: Izd-vo Buryatskogo gosuniversiteta, 2010, 136 p.

- Ananina T. L., Vliyanie solnechnykh tsiklov na prirodno-klimaticheskie protsessy v Severnom Pribaikal'e (The influence of solar cycles on natural and climatic processes in the Northern Baikal region), *Global'nye klimaticheskie izmeneniya: regional'nye efekty, modeli, prognozy* (Global climate change: regional effects, models, forecasts), Voronezh, Proc. of the international scientific and practical conf., October 3—5, 2019, Voronezh: Tsifrovaya poligrafya, 2019, Vol. 1, pp. 134—137.
- Ananina T. L., *Zhuzhelitsy zapadnogo makrosklona Barguzinskogo khrebtta* (Ground beetles of the western macroslope of the Barguzin Range), Ulan-Ude: BNTs SO RAN, 2006, 201 p.
- Barber H., Traps for cave-inhabiting insects, *J. Elisha Mitchell Sci. Soc.*, 1931, Vol. 46, pp. 259—266.
- Barraquand F., Louca S., Abbott K. C., Cobbold C. A., Cordoleani F., DeAngelis D. L., Elderer B. D., Fox J. W., Greenwood P., Hilker F. M., Murray D. L., Stieha C. R., Taylor R. A., Vitense K., Wolkowicz G. S. K., Tyson R. C., Moving forward in circles: challenges and opportunities in modelling population cycles, *Ecology letters*, 2017, Vol. 20, No. 8, pp. 1074—1092.
- Bertram J., Masel J., Density-dependent selection and the limits of relative fitness, *Theoretical Population Biology*, 2019, Vol. 129, pp. 81—92.
- Bukharitsyn P. I., Andreev A. N., Ritmy solnechnoi aktivnosti i ozhidaemye ekstremal'nye klimaticheskie sobytiya v Severo-Kaspiiskom regione na period 2007—2017 gg (Solar activity rhythms and expected extreme climate events in the North Caspian region for the period 2007—2017), *Ekstremal'nye gidrologicheskie sobytiya v Aralo-Kaspiiskom regione* (Extreme hydrological events in the Aral-Caspian region), Proc. of the International. scientific Conf., Moscow, 2007, pp. 137—143.
- Byalko A. V., Gamburtsev A. G., Statistika pogody (Weather statistics), *Priroda*, 2000, No. 12, pp. 6—10.
- Castro K. C., Palomino A. C., Ladera G. F., Rojas A. P., Aburto N. M., Analysis of the influence of solar cycles on meteorological variables in the central inter-Andean valley of Peru in the period 1986—2019, *The 8th International Conference on Energy and Environment Research*, ICEER, 2021, pp. 89—94.
- <https://doi.org/10.1016/j.egy.2022.01.084>
- Drozdov O. V., Grigor'eva A. S., *Mноголетние циклические колебания атмосферных осадков на территории СССР* (Long-term cyclical fluctuations of atmospheric precipitation on the territory of the USSR), Leningrad: Gidrometeoizdat, 1971, 316 p.
- Druzhinin I. P., *Dolgosrochnyi prognoz i informatsiya* (Long-term forecast and information), Novosibirsk: Nauka, 1987, 246 p.
- Ekologicheskii atlas basseina oz. Baikal* (Ecological atlas of the Lake Baikal basin), Irkutsk: Institut geografii im. V. B. Sochavy SO RAN, 2015, 145 p.
- Erdakov L. N., Biologicheskie ritmy v populyatsionnoi regulatsii (priglasenie k diskussii) (Biological Rhythms in Population Regulation (to Discussion)), *Uspekhi sovremennoi biologii*, 2018, Vol. 138, No. 3, pp. 312—320.
- Filippov B. Y., Sezonnye aspekty zhiznennykh tsiklov zhuzhelits *Calathus melanocephalus* i *C. micropterus* (Coleoptera, Carabidae) v severnoi taige (Seasonal aspects of life cycles in the ground beetles *Calathus melanocephalus* and *C. micropterus* (Coleoptera, Carabidae) in the Northern taiga), *Zoologicheskii zhurnal*, 2006, Vol. 10, pp. 1196—1204.
- Frisman E. Y., Kolobov A. N., Revutskaya O. L., Neverova G. P., Fetisov D. M., Prognozirovaniye izmenenii biologicheskogo raznoobraziya i razrabotka podkhodov k upravleniyu ego ustoychivost'yu: analiz i modelirovaniye prostranstvenno-vremennoi estestvennoi i antropogennoi dinamiki ekosistem na primere Srednego Priamur'ya (Forecasting dynamics of biodiversity and the development of approaches to the control of its stability: analysis and simulation of spatio-temporal dynamics of ecosystems through the example of the middle Amur region), *Vestnik RFFI*, 2020, No. 2 (106), pp. 60—77.
- Frisman E. Y., Neverova G. P., Kulakov M. P., Change of dynamic regimes in the population of species with short life cycles: Results of an analytical and numerical study, *Ecological Complexity*, 2016, Vol. 27, pp. 2—11.
- Frisman E. Y., Neverova G. P., Kulakov M. P., Zhiagal'skii O. A., Smena dinamicheskikh rezhimov v populyatsiyakh vidov s korotkim zhiznennym tsiklom: rezul'taty analiticheskogo i chislennogo issledovaniya (Change of dynamic regimes in populations of species with short life cycles: results of analytical and numerical research), *Matematicheskaya biologiya i bioinformatika*, 2014, Vol. 9, No. 2, pp. 414—429.
- Isaev A. S., Khlebopros R. G., Nedorezov L. V., Kondakov Y. P., Kiselev V. V., *Dinamika chislennosti lesnykh nasekomykh* (Population dynamics of forest insects), Novosibirsk: Nauka, 1984, 223 p.
- Koltunov E. V., Erdakov L. N., Tsiklichnost' v mnogoletnei dinamike chislennosti shelkopryada-monashenki (*Lymantria monacha* L.) v Zaural'e (Long-term population dynamic cycling of the nun moth (*Lymantria monacha* (L.)) in the Urals, Russia), *Evrasiyskii entomologicheskii zhurnal*, 2013, No. 12(6), pp. 587—593.
- Korosov A. V., *Spetsial'nye metody biometrii* (Special biometric methods), Petrozavodsk: PetrGU, 2007, 364 p.
- Krivenko V. G., Kontseptsiya prirodnoi tsikliki i nekotorye zadachi khozyaistvennykh strategii Rossii (The concept of the natural cycle and some tasks of Russian economic strategies), *Agrarnaya Rossiya*, 2005, No. 6, pp. 41—47.
- Krivenko V. G., Prirodnaya tsiklika nashei planety (The natural cycle of our planet), *Vestnik Rossiiskoi Akademii estestvennykh nauk*, 2010, No. 3, pp. 25—29.
- Maksimov A. A., *Prirodnye tsikly: Prichiny povtoryaemosti ekologicheskikh protsessov* (Natural cycles: reasons of recurrence of ecological processes), Leningrad: Nauka, 1989, 236 p.
- Neverova G. P., Frisman E. Y., Rezhimy dinamiki chislennosti populyatsii biologicheskogo vida s neperekryvayushchimisya pokoleniyami i stadiinym razvitiem osobei

- (Dynamics modes of structured populations with non-overlapping generations), *Informatika i sistemy upravleniya*, 2020, No. 3, pp. 38—50.
- Nowinszky L., Puskás J. Light-Trap Catch of Insects in Connection with Environmental Factors, *Biological Control of Pest and Vector Insects*, 2017. DOI: 10.5772/66251.
- Perepelitsa V. A., Tebueva F. B., Ebzeeva N. S., Ovcharenko N. F., Ispol'zovanie dolgovremennoi pamyati vremennykh ryadov dlya ikh predprognostnogo analiza (Using long-term memory of time series for their pre-forecast analysis), *Izvestiya vuzov Severo-Kavkazskogo regiona. Obshchestvennye nauki. Prilozhenie*, 2005, No. 8, pp. 43—54.
- Pereyaslovets V. M., Erdakov L. N., Khidekel' V. V., Dinamika i tsikly chislennosti v nekotorykh populyatsiyakh lesnogo severnogo olenya (Dynamics and long-term cyclic changes in the number of some populations of forest subspecies of the reindeer), *Printsipy ekologii*, 2019, Vol. 8, No. 2, pp. 88—97.
- Shilenkov V. G., Osobennosti biologii massovykh vidov zhuzhelits (Coleoptera, Carabidae) fauny Yuzhnogo Pribaikal'ya (Peculiarities of biology of common species of ground beetles (Coleoptera, Carabidae) of the fauna of the Southern Baikal region), *Entomologicheskoe obozrenie*, 1978, Vol. 57, No. 2, pp. 290—301.
- Shnitnikov A. V., Vnutrivenkovye kolebaniya urovnya stepnykh ozer Zapadnoi Sibiri i Severnogo Kazakhstana i ikh zavisimost' ot klimata (Intracentury fluctuations in the level of steppe lakes in Western Siberia and Northern Kazakhstan and their dependence on climate), *Trudy laboratorii ozerovedeniya AN SSSR*, 1950, Vol. 1, 129 p.
- Shubat O. M., Blinov D. V., *Issledovanie ryadov dinamiki v ekonomike i menedzhmente* (Study of time series in economics and management), Ekaterinburg, Informatsionnyi portal UrFU, 2018, 65 p., available at: <https://urfu.ru>.
- Telepnev V. G., Erdakov L. N., Opisanie tsiklichnosti dinamiki chislennosti v populyatsii glukharya (*Tetrao urogallus* L., 1758) pri mnogoletnem ee monitoringe (Description of the Cyclic Dynamics of the Number of Specimens in the Population of Wood Grouse (*Tetrao urogallus* L.) under Long-Term Monitoring), *Sibirskii ekologicheskii zhurnal*, 2014, Vol. 21, No. 5, pp. 703—710.