

Колтунов Е.В., Ердаков Л.Н. Спектральный анализ многолетней динамики вспышек массового размножения непарного шелкопряда (*Lymantria dispar* L.) на Урале // Современные проблемы науки и образования. – 2013. – № 2; URL: www.science-education.ru/108-8625

СПЕКТРАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МНОГОЛЕТНЕЙ ДИНАМИКИ ВСПЫШЕК МАССОВОГО РАЗМНОЖЕНИЯ НЕПАРНОГО ШЕЛКОПРЯДА НА УРАЛЕ

Проблема исследования механизмов и факторов популяционной динамики лесных насекомых-филлофагов, образующих периодические крупномасштабные и пандемические вспышки массовых размножений является одной из важных, как в популяционной экологии, так и общей биологии. Это обуславливает необходимость разработки более эффективных математических моделей популяционной динамики и методов управления популяциями. Все это объяснимо, экологической и хозяйственной важностью этих видов. Многие из группы насекомых-фитофагов способны наносить значительный эколого-экономический ущерб лесным фитоценозам. В настоящее время сохраняется пристальное внимание к вспышкам массового размножения. Многие периоды вспышек массового размножения лесных насекомых-филлофагов определены и изучены их механизмы (Бенкевич, 1984; Колтунов, 1993, 2006; Кучеров, 2011). Однако по-прежнему остаются недостаточно исследованными не только процессы индуцирующие ритмы, но и синхронизация популяционных циклов с колебаниями характеристик среды. Не выявлены до сих пор и характеристики целой группы скрытых цикличностей в динамике вспышек.

К настоящему времени установлено, что временную организацию всех биологических систем характеризует целый набор различных периодов – спектр (Sollberger, 1968, Браун, 1977, Владимирский и др., 1995, Иванов, 2002). На «надорганизменном» уровне внешним проявлением их являются биологические ритмы, например, периодические изменения численности в популяции. Следовательно, динамика биологических систем характеризуется спектром периодов. Этот изоморфизм спектров может быть интерпретирован как согласование биологических ритмов с временной структурой внешней среды. Оно осуществляется «затягиванием» биологических автоколебаний «внешними датчиками времени», природа которых может быть самой разнообразной: фотопериодизм, температурный ритм и цикличность влажности, смена времен года, климатические циклы. Могут выступать синхронизирующим сигналом, и электромагнитные колебания. (Мартынюк и др., 2007)

Адаптированность популяции можно оценить и по ее хроноэкологической структуре. К любым внешним ритмам она может приспосабливаться путем синхронизации («затягивание» собственного ритма). Таким образом, устойчивый популяционный цикл должен существовать сам, его механизмом являются внутрипопуляционные процессы, внешний же геофизический ритм выполняет функцию лишь синхронизирующего ритма (Ердаков, 1991). В ином случае адаптация становится невозможной, так как при отсутствии собственного ритма близкой частоты, отсутствует и возможность синхронизации к внешнему периодическому процессу. По мнению В.Б Чернышева, биоритмы – это суть самого биологического процесса, одна из необходимых частей его механизма (Чернышев, 1980). Оценка адаптационных возможностей популяции может быть сделана по числу устойчивых циклов, из суперпозиции которых складывается кривая изменений ее численности. Если популяция имеет множество ритмов численности, то у нее увеличиваются возможности адаптации к подходящим для нее циклическим изменениям внешней среды. Такие циклы в динамических процессах нетрудно выделить и определить их характеристики. Попытки этого ведутся очень давно. Для многих популяций животных описаны визуально установленные ритмы численности, сводку таких работ дал А.А. Максимов (1984). Для некоторых рассчитаны спектры ритмов и даны периоды и мощности гармонических составляющих (Чернавский, Лазуткин, 2004; Ердаков 1991, 2011). Для получения новых сведений можно просто преобразовать данные по ходу численности. Динамику этого

процесса перемещают с временной шкалы на частотную. Тогда изменения численности будут выглядеть как спектр некоторого количества периодов.

Основной целью исследований был поиск и идентификация всех периодических составляющих многолетней динамики вспышек массового размножения непарного шелкопряда на Урале. **Задачами** являлись: определение спектра ритмов численности в разных частях ареала; расчет периодов и мощностей гармонических составляющих его динамики численности; поиск возможных внешних синхронизаторов для различных циклов в многолетней динамике вспышек массового размножения непарного шелкопряда.

Материал и методика

Объектом исследования была многолетняя динамика вспышек массового размножения различных географических популяций непарного шелкопряда на Урале. Это популяция непарного шелкопряда в Челябинской области (за 62 года) (Колтунов, 1993, 2008), Свердловской обл. (за 52 года) (Колтунов, 2003, 2008), Башкортостана (за 208 лет) (Кучеров, 2011) и Оренбургской обл. (Симоненкова, 2011). В качестве объекта для сравнения использовались данные по динамике вспышек массового размножения «европейской» географической популяции непарного шелкопряда (почти за 150 лет) (Белецкий, 2011). Кроме того, анализировали многолетнюю динамику гидротермических коэффициентов Селянинова (апрель-сентябрь) у популяций этого фитофага в Свердловской и Челябинской областях.

Для выявления скрытых колебаний численности непарного шелкопряда был использован анализ временных рядов (Дженкинс, Ваттс, 1971). Детальное описание методик расчета биологических ритмов дано А.А. Сорокиным (1981) и Л.Н. Ермаковым (1991). Эмпирически определяемыми параметрами были: шаг суммирования, длина автокорреляционной функции, форма и ширина корреляционного окна. В результате на спектре происходит визуализация распределения функции спектральной плотности, в каждой точке которой она соответствует средней мощности в полосе частот определенной ширины – «пик на спектре».

Учитывая хорошо известную взаимосвязь вспышек массового размножения с периодичностью наступления весенне-летних засух (Бенкевич, 1984; Колтунов, 1993, 2006; Колтунов и др., 1998, 2010) мы, также, проводили спектральный анализ динамики гидротермических коэффициентов Селянинова (апрель-сентябрь) в Свердловской и Челябинской обл.

Временные ряды популяционной динамики вспышек исследовались на наличие скрытых гармонических составляющих. Для каждого были построены спектры ритмов, а также рассчитаны периоды и мощности гармонических составляющих каждого такого спектра.

Результаты и их обсуждение

Анализ многолетней динамики вспышек массового размножения непарного шелкопряда в условиях Челябинской области

За весь период наблюдений, у этого фитофага было зарегистрировано пять вспышек массового размножения, причем последняя продолжалась более семи лет (рис. 1). Интервал между первой и второй вспышками составлял 12 лет, между второй и третьей – 8 лет, между третьей и четвертой – 12 лет, а между четвертой и пятой – 24 года. Таким образом, очевидно, что, несмотря на относительно устойчивую цикличность засух (10-12 лет), периодичность вспышек массового размножения «челябинской» географической популяции непарного шелкопряда имеет, как минимум, 3 различных периода.

Как показали результаты наших расчетов, на спектре идентифицируются 8-10 заметных гармоник (рис. 2). Одна из них, примерно, 11-летняя имеет максимальную мощность. Она является общеизвестной и идентифицируется многими авторами, как 10-12 летняя (Бенкевич, 1984; Колтунов, 1993, 2006). Наш расчет уточнил этот период, он составляет 11,3 года (табл. 1). Очень близка к нему 8,2-летняя цикличность, чуть большая по мощности. В низкочастотной области спектра имеется второй по мощности около 40-летний пик и более слабый – 18-летний. Первый из них близок к длительности некоторых внутривековых «брикнеровских» климатических циклов (35-45 лет) (Шнитникова, 1957). На их фоне развиваются циклы продолжительностью в 7-11 лет. Они описаны и другими авторами (Дружинин, 1987, Кривенко 1991).

Кроме того динамика вспышек массового размножения непарного шелкопряда имеет еще несколько различных по мощности скрытых периодичностей. Мы рассчитали значения их периодов и мощностей (табл. 1). Третий по мощности на нашем спектре – 3-4 летний цикл. Следующим является цикл близкий к 5-летнему. Такой же климатический характерен для июль- августовских осадков (Дроздов, Григорьева, 1971) и даже существует соответствующий по величине георитм Земли (Якушев, 2002).

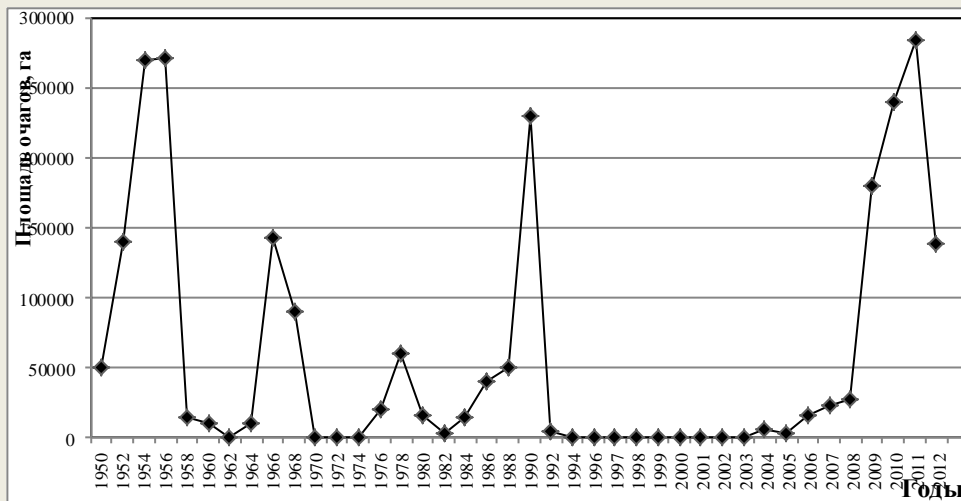


Рис.1. Многолетняя динамика вспышек массового размножения непарного шелкопряда в Челябинской области

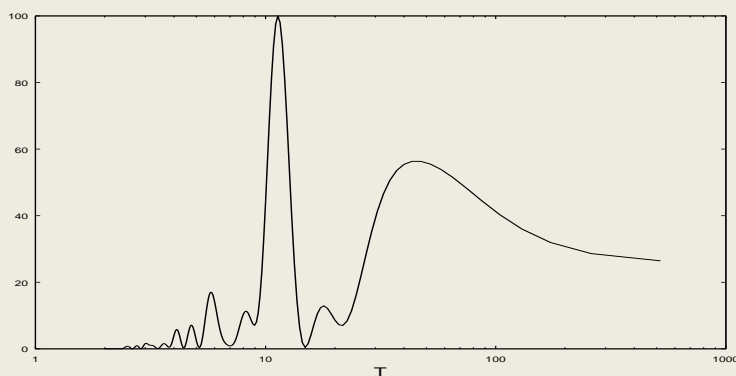


Рис.2. Спектральный анализ популяционной динамики непарного шелкопряда в Челябинской области

Таблица 1. Соотношение величины и мощности периодических составляющих многолетней динамики вспышек массового размножения непарного шелкопряда в Челябинской области

Период, год	15-50	6-12	4,1-5,9	3-4	2,0-2,8	
Вид	Непарный шелкопряд в Челябинской области	37.1	11.3	4.8	3.6	2.7
		25	54	4,5	1,2	0,6
		17.9	8.2	4.1	3.0	2.5
		8,7	6,9	3,4	8,9	4,6
				5.8		2.3
			9,8		0,2	

Примечание: верхняя цифра, период, нижняя – мощность (ед. спектр. плотн.)

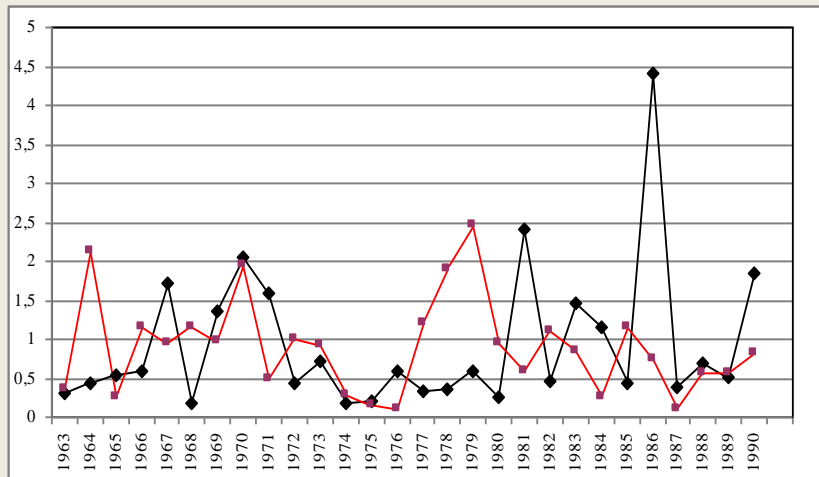
Примерно с таким же периодом на территории Западной Сибири существует ритм суровости зим (Бялко, Гамбургцев, 2000). В полосе высоких частот

мы идентифицировали, также, особенно много, хотя и небольших по мощности примерно 2-3-летних циклов (табл. 1). Ритмы с такими периодами самые распространенные практически на всей территории Палеарктики. Это климатические ритмы и ритмы урожайности растений (Ефимов и др., 1988).

Таким образом, наиболее мощным ритмом является, 10-12 летний. Он вполне может синхронизироваться к обычному здесь циклу летней атмосферной циркуляции и к температурному циклу приблизительно того же периода (Дроздов, Григорьева, 1971, Коротина, 2002).

Как известно, периодичность вспышек массового размножения инициируется циклическостью весенне-летних засух (Бенкевич, 1984; Колтунов, 2006; Колтунов и др., 2010). Как показано нами ранее на Южном Урале они наиболее часто предшествуют вспышкам массового размножения и синхронизированы с продромальной и частью эруптивной фаз популя-

ционной динамики (Колтунов, 2006; Колтунов и др., 2010). При этом, важное значение имеет характер засух, их интенсивность. Для успешной реализации вспышки массового размножения наиболее эффективными являются полные весенне-летние засухи, не прерываемые периодами с высокими показателями ГТК, особенно майские и июньские (Колтунов, 1998, Колтунов и др., 2010). Из этого следует, что полной синхронизации ритмов ГТК с ритмом доминантной составляющей циклов может и не быть. Механизм вспышек массового



размножения изучен нами ранее (Колтунов, 2008; Колтунов и др., 2010; Колтунов, 2012). Для анализа вклада весенне-летних засух в ритмы вспышек массового размножения непарного шелкопряда на Урале и степени их синхронности мы использовали многолетние данные по динамике гидротермических коэффициентов Селянинова. Как показали результаты, динамика ГТК в весенне-летние месяцы достаточно сложна (рис. 3), аргументировано судить о ежемесячных различиях в ней визуально не представляется возможным.

Рис. 3. Многолетняя динамика ГТК Селянинова в весенне-летний период (◆- май, ■- июнь)

Поэтому для анализа взаимосвязи ГТК с циклами вспышек массового размножения непарного шелкопряда были рассчитаны частотные спектры их изменений. Теперь представим динамику показателей ГТК на частотной шкале (рис. 4) и включим в эту иллюстрацию спектр периодов изменений очага шелкопряда.

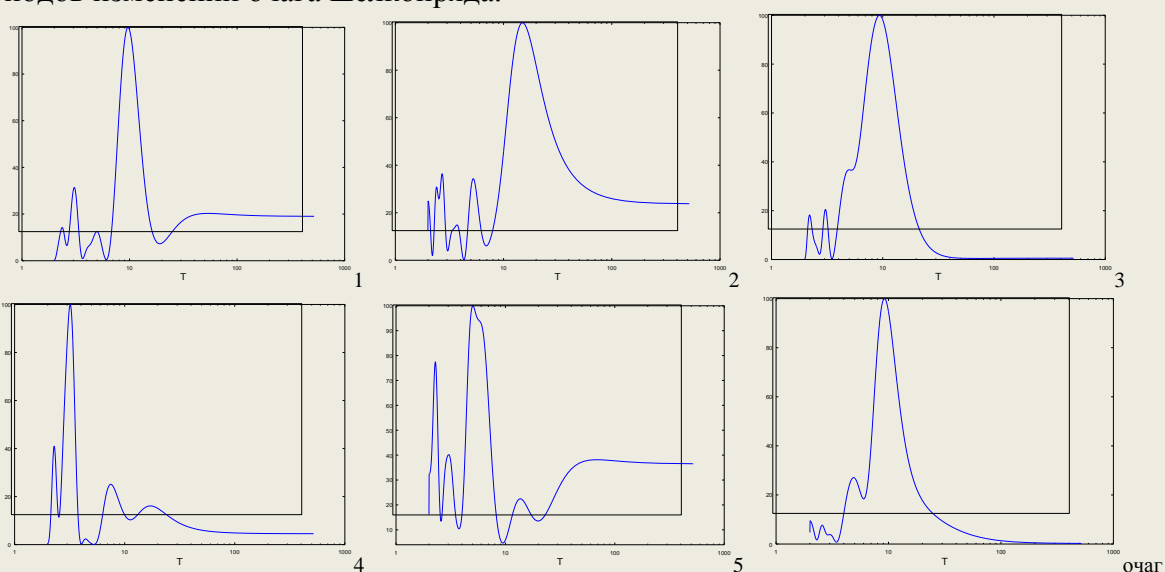


Рис. 4. Спектральный анализ динамики колебаний ГТК в Челябинской обл.

Примечание: слева-направо: апрель, май, июнь, август, сентябрь, спектр динамики вспышек.

Как видно из рис. 4, эти спектры похожи между собой. Различаются они локализацией доминирующего пика, а также количеством и мощностью высокочастотных гармоник. Для уточнения, рассчитаем периоды и мощности периодических составляющих (табл. 2).

Результаты расчетов показали, что количество циклов засух имеет частичные отличия от циклов вспышек у этой географической популяции непарного шелкопряда. Например, наличие 13-20 летнего цикла ГТК, который проявляется в наибольшей степени в мае (мощность: 3,19) и в значительно меньшей степени в августе и сентябре (мощность, соответственно, 0,39 и 0,43). Все остальные циклы: как низкочастотные (32,5) и (37,5), так и более короткие циклы (6 -10 летний), имеют близкое сходство; 3-4 летний и 2-2,8 летний практически, идентичны. (табл. 2). В свою очередь, у временного ряда ГТК, наоборот, отсутствует 4.1-5,5 летний цикл, имеющийся у вспышек массового размножения непарного шелкопряда (табл. 1,2).

Таблица 2. Соотношение величины и мощности периодических составляющих многолетней динамики ГТК Селянинова в Челябинской области

Период, год ГТК	30-70	13-20	6-10	4,1-5,5	3-4	2,0-2,8
Апрель	32.50 2.86		9.81 24.78	5.00 3.19	3.02	2.25
					6.92	2.40
май		14.86 3.19		5.25 1.10	3.71	2.71
					0.48	1.16
						2.41 0.98
июнь			9.29 3.50	5.00 1.29	3.06	2.20
					0.72	0.64
август		17.33 0.39	7.43 0.61	4.41 0.06	3.21 2.42	2.29 0.99
сентябрь	65.00 0.73	13.68 0.43		5.05 1.92	3.02 0.77	2.29 1.49
очаг			9.29	4.91	3.02	2.57
			2008	543	77	154
						2.01 189

Не рассматривая все спектры динамики ГТК, остановимся только на тех, периоды которых близки по значению гармоническим составляющим хода динамики численности непарного шелкопряда. Можно заметить, что наибольшее совпадение у динамики его популяции с 6- 10-летними циклами весенне-летних засух. Это, также цикл с наибольшей мощностью в апреле (24,78), июне (3,5) и слабой в августе (0,61) (табл. 2). Следует, также, обратить внимание на полное отсутствие в 6-10 летней цикличности ГТК майских ритмов. Но майские засухи имеют особенно важное значение для роста и развития гусениц непарного шелкопряда, отродившихся из кладок (Колтунов, 2006). В этот период они наиболее чувствительны к качеству кормового субстрата и температуре. Майский ритм с

высокой мощностью (3,29) присутствует в составе 13-20 летнего цикла колебаний ГТК (табл. 2). Кроме того, он имеется у 2, 3 и 4- летнего цикла. На основании этого можно предполагать, что в годы, когда этот 6-10 летний ритм совпадает с другими ритмами, площадь очагов может заметно возрастать. Но, учитывая мощность майского цикла ГТК у 13-20-летнего ритма ГТК, их наложение сопровождается возникновением особенно крупных по площади вспышек массового размножения непарного шелкопряда (рис.1). Остальные, более короткие ритмы колебаний ГТК, вероятно, способствуют переходу популяций этого фитофага на более короткие ритмы популяционной динамики, которые наблюдаются у других географических популяций в условиях большей частоты возникновения весенне-летних засух.

В целом изучение особенностей динамики вспышек массового размножения непарного шелкопряда позволило установить, что она имеет скрытые периодические составляющие.

Эти циклы хорошо проявляются на спектре и дают возможность установить связи динамики очага с летним ходом показателей ГТК.

Анализ многолетней динамики вспышек массового размножения непарного шелкопряда в Свердловской области

За весь срок наблюдений на территории области было три вспышки массового размножения. Первая, наиболее длительная, продолжалась восемь лет (рис. 5). Она имела два максимума, с незначительным понижением численности между ними. Она же была и самой крупной по площади за 52 года (рис. 5). Интервал между первой и второй вспышками составил 17 лет.

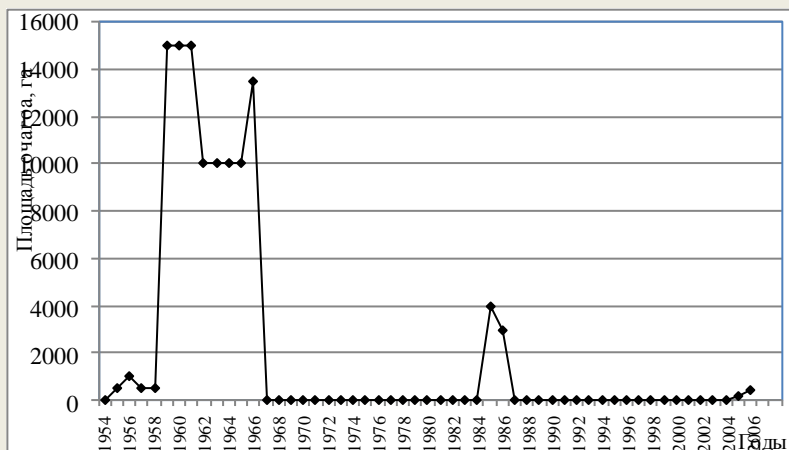


Рис. 5. Многолетняя динамика вспышек массового размножения непарного шелкопряда в Свердловской области

Наш расчет показал, что сложная многолетняя кривая динамики у этого вида представляет собой суперпозицию 8 гармоник, одна из них, примерно, 40-45-летняя, – самая мощная (рис. 6). Ее присутствие мы не могли предполагать, при анализе графика многолетней динамики вспышек массового размножения этого фитофага.

Остальные циклы на спектре хотя и проявлены, но заметно уступают в мощности самой низкочастотной гармонике. Среди них заметной мощностью обладает более чем 10-летняя. Имеются и проявленные гармонические составляющие в диапазоне высоких частот. Последние идентичны ритмам популяционной динамики непарного шелкопряда в Челябинской обл. (табл. 1,3). Значения периодов и мощностей этих гармонических составляющих приведены в табл. 3. Устойчивость этих популяционных циклов может поддерживаться природной цикличностью характеристик среды. Самый мощный ритм, близкий к 45-летнему, вполне может синхронизироваться к обычному циклу чередования прохладно-влажных и тепло-сухих периодов в интервале 35-45 лет по А.В. Шнитникову (1957) или к внутривековой изменчивости климата 35-45лет (Дружинин, 1987, Кривенко 1991, 2002). Существуют здесь и гидроклиматические циклы, а также георитмы Земли, имеющие периодичность 7-12 лет (Кривенко, 2002; Якушев, 2002). С их помощью популяция может адаптироваться к некоторым, близким по периоду, ритмам своего местообитания. Так близкий к 5-летнему цикл характерен для июльско-августовских осадков (Дроздов, Григорьева, 1971), а кроме того он может «затягиваться» соответствующим по величине георитмом Земли (Якушев, 2002). На территории Западной Сибири существует ритм суровости зим примерно с таким же периодом (Бялко, Гамбургцев, 2000). В высокой полосе частот у динамики непарного шелкопряда особенно много хотя и небольших по мощности примерно 2-4-летних циклов. К ним принадлежат самые распространенные ритмы практически на всей территории Палеарктики климатические ритмы и ритмы урожайности растений (Ефимов и др 1988).

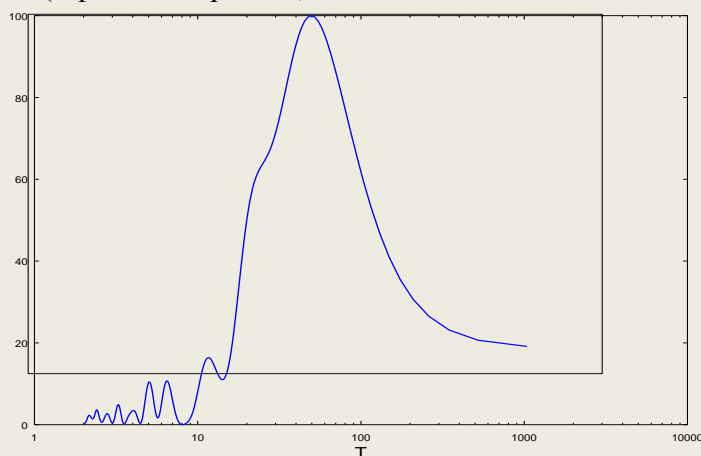


Рис.6. Спектр ритмов динамики численности непарного шелкопряда в Свердловской области

Таблица 3. Соотношение величины и мощности периодических составляющих многолетней динамики очагов непарного шелкопряда в Свердловской области

Период, год очаг	40-60	10-15	5-7	3,5-4,5	2-3
Непарный шелкопряд	43.33	11.69	5.05	4.05	2.41
	185	30	19	6	6
			6.46	3.26	2.79
			19	9	5

Примечание: верхняя цифра, период, нижняя – мощность (ед. спектр. плотн.)

Мы проанализировали изменения ГТК мая – августа (рис. 7). Ход показателей и амплитуда их колебаний в течение любого месяца довольно индивидуальна. Такие хронограммы трудно срав-

нивать между собой объективно. Рассчитав спектры этих хронограмм, мы сосредоточили свое внимание на изображении этих же показателей на частотной шкале, включив в эту иллюстрацию и спектр периодов непарного шелкопряда (рис.8). Сравнение спектров дало возможность изучить степень синхронизации популяционной динамики непарного шелкопряда и динамики гидротермических коэффициентов Селянинова.

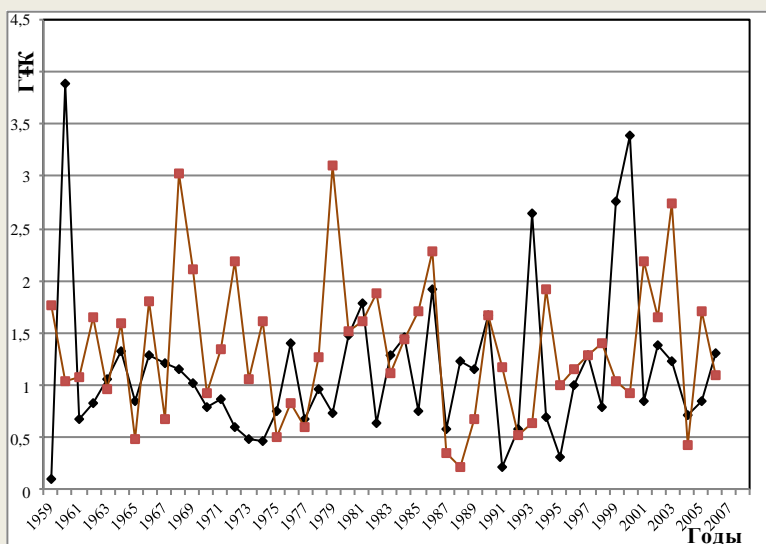
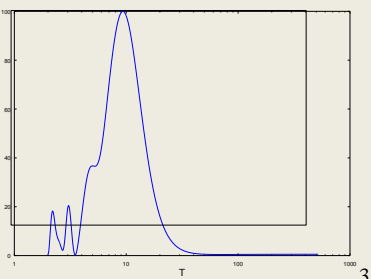
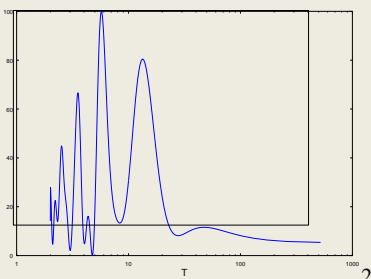
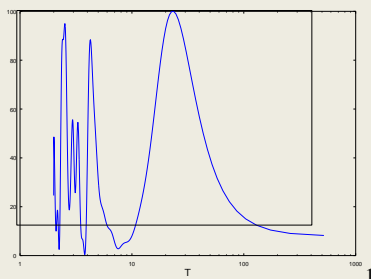


Рис. 7. Многолетняя динамика ГТК Селянинова в Свердловской обл. (◆-май, ■-июнь).



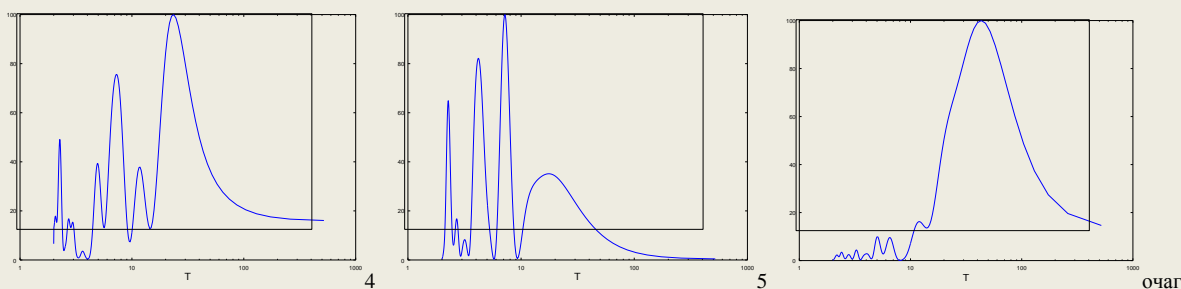


Рис. 8. Спектры периодов в динамике ГТК (1 май, 2 июнь, 3 июль, 4 август, спектр очага).

Можно заметить, что спектры динамики ГТК похожи между собой (рис. 8). Число высокочастотных гармоник на всех спектрах велико, а у отдельных они доминируют по мощности (рис. 8). Кроме этого проведен расчет периодов и мощности периодических составляющих (табл. 4). Большинство циклов вспышек по периодичности, примерно, совпадали с периодами, характерными для климатических условий посчитанных нами для Челябинской области. Исключение составляли 20-30 летний и 2-3 летний циклы ГТК, которые отсутствовали у вспышек непарного шелкопряда. Самый мощный пик также имел отличия по периоду. В условиях Челябинской обл. он составлял 6-10 лет, а Свердловской – 10-15 (табл. 2,4). Отличался, также и более длинный ритм. В условиях Свердловской обл. он составлял 20-30 лет, а челябинской – 13-20. В Свердловской обл. в спектре ритмов колебаний ГТК (40-60; 10-15 и 5-7 лет) отсутствовал майский цикл. Сравнительный анализ показал, что в южном Зауралье основные ритмы ГТК были несколько короче.

Заметим, что для климатических условий Свердловской обл. характерна близкая к 20-летней цикличность колебаний ГТК (май, июль). Но идентичная цикличность отсутствует в составе спектра популяционной динамики «Свердловской» географической популяции непарного шелкопряда. Следовательно, это может быть одной из основных причин, по которым 20 летний цикл популяционной динамики этого фитофага в этих климатических усло-

Период, год ГТК	40-60	20-30	10-15	5-7	3,5-4,5	2-3
май		23.64			4.26	2.51
		1.06			0.94	1.01
					2.96	2.1
июнь	47.27		13.33	5.71	3.54	2.52
	0.41		2.83	3.51	2.34	1.58
июль		23.64	11.82	7.32	4.95	2.72
		4.77	1.81	3.60	1.88	0.80
					2.96	
август			17.33	7.22	4.19	2.27
			1.32	3.76	3.09	2.44
					3.17	2.69
очаг	43.33		12.09	5.05	4.03	2.40
	217753		353340	216943	62230	758035
	760.71		99.34	56.25	56.86	7.60

				6.50	3.27	2.78
				209177	95786	544133
				44.48	00.02	8.19

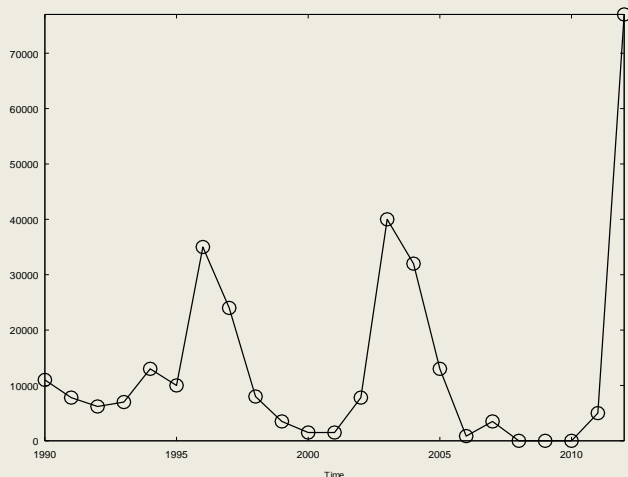
Соотношение величины и мощности периодических составляющих многолетней

динамики ГТК Селянинова в Свердловской области

Примечание: верхняя цифра, период, нижняя – мощность (ед. спектральной плотности)

виях не может быть реализован. Цикличность в средних и высоких частотах дает возможность синхронизации динамики численности с ритмами ГТК практически все летние месяцы.

Спектральный анализ динамики вспышек массового размножения «Оренбургской» географической популяции непарного шелкопряда

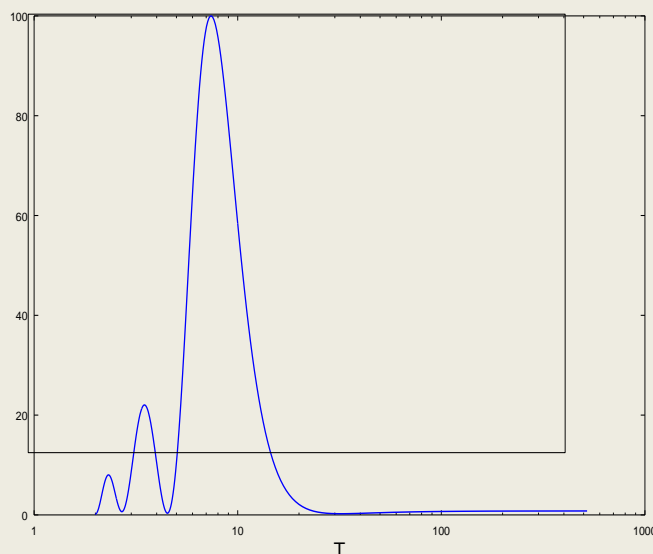


Как известно (Симоненкова, 2011), за весь срок наблюдений были отмечены три вспышки массового размножения непарного шелкопряда. При этом численность каждой последующей нарастала. Особенно крупной по площади была последняя вспышка, вдвое превосшедшая предыдущую (рис. 9). Интервалы между вспышками составляли, соответственно, 6; 6 и 8 лет (в среднем 6,7). Продолжительность каждой вспышки массового размножения составляла 4-5 лет.

Как показали результаты расчетов, в составе спектра имеется всего три периодических составляющих (рис. 10). Самая мощная из них - в средних частотах – близкая к 7,5-летней, вторая – 3,5 года, третья – 2,32 года (табл. 5).

Рис. 9. Многолетняя динамика вспышек массового размножения непарного шелкопряда в Оренбургской области

В направлении к высоким частотам периоды гармоник постепенно убывали по мощности. С помощью этих ритмов численности популяция способна адаптироваться к некоторым, близким по периоду, ритмам внешней среды. Самый мощный ритм близок к 7,5-летнему (табл. 5). Такой же по длительности цикл присущ многим атмосферным процессам. Следующая периодичность в три раза менее мощная – близкая к 3,5-летней. Она почти кратная первому циклу и возможно играет роль в его наведении. Вполне вероятно, что она участвует в климатических ритмах и ритмах урожайности растений (Ефимов и др., 1988).



Следующая периодичность в три раза менее мощная – близкая к 3,5-летней. Она почти кратная первому циклу и возможно играет роль в его наведении. Вполне вероятно, что она участвует в климатических ритмах и ритмах урожайности растений (Ефимов и др., 1988).

Рис.10. Спектр ритмов динамики численности непарного шелкопряда в Оренбургской области

Таблица 5. Соотношение величины и мощности периодических составляющих многолетней динамики очагов непарного шелкопряда в Оренбургской области

Очаг \ Период, год	5 – 9		4,9 – 3,1		2,0 – 3,0	
	период	мощность	период	мощность	период	мощность
Непарный шелко- пряда	7.43	1407	3.49	310	2.32	112

Примечание: верхняя цифра, период, нижняя – мощность (ед. спектр. плотн.)

Наименее мощная периодичность, близкая к 2,3-летней. Можно предполагать, что она способна синхронизироваться с цикличностью, близкой к 2,5-летней. Тогда она тоже индуцирует реализацию самой мощной гармоникой на этом спектре. Продолжительность наблюдений в Оренбургской области была относительно небольшой (23 года). Гармонический анализ позволил выделить всего три периодичности и не обнаружил более низкочастотных, хотя этот метод расчета обычно фиксирует наличие гармоник, соизмеримой с длиной временного ряда. Вероятно, на территории Оренбургской обл. у локальной популяции непарного шелкопряда такая цикличность отсутствует.

Спектральный анализ многолетней динамики вспышек массового размножения непарного шелкопряда на Заилирском плато (Башкортостан).

Известен очень длинный ряд данных (208 лет) по популяционной динамике непарного шелкопряда на Заилирском плато в Башкортостане (Кучеров, 2011). Эти многолетние результаты получены автором методом дендрохронологической реконструкции. К настоящему времени это самый длинный временной ряд реконструкции вспышек массового размножения башкирской географической популяции непарного шелкопряда. Интервалы между начальными годами массовых размножений шелкопряда имеют последовательность: 11, 15, 11, 10, 13, 7, 10, 11, 6, 7, 11, 6, 10, 9, 10, 4, 5, 13, 8, 10, 10, 9 лет. Среднее значение интервала равно 9,4 года. По мнению автора, такова основная цикличность вспышек размножений этого вида в условиях Зилаирского плато (Кучеров, 2011).

Чтобы проверить наличие возможных низкочастотных ритмов в динамике вспышек массового размножения непарного шелкопряда мы проанализировали этот ряд на наличие гармонических составляющих. На спектре оказалось много гармонических составляющих (рис. 11), большинство из которых имели пики правильной экспоненциальной формы с узкими основаниями. В области низких частот (100-200 лет) основания их увеличивались, пики сглаживались. Наибольшей мощностью обладали две периодичности. Одна из них чуть менее 10 лет, видимо та, что С.Е. Кучеров получил как среднеарифметическую, вторая же несколько больше 10-летней (рис. 11). Как известно, все биологические колебания устроены так, что их частота (период), амплитуда и фаза всегда «колеблются». Такая особенность устройства облегчает их согласование с ритмикой внешней среды (Мартынюк, Владимирский, 2007). К тому же в любой полосе частот у популяции обычно бывает несколько периодических составляющих близких по величине. Рассчитанный нами спектр ритмов очага непарного шелкопряда из Зилаирского плато имел именно такие характеристики. В каждой полосе частот на нем находится по целому «семейству» гармоник (рис. 11). Расчет характеристик этих периодических составляющих показал, что в каждом таком «семействе» по несколько близких ритмов, но они могут различаться по мощности (табл. 6). Наиболее мощные циклы вспышек массового размножения – близкие к 9-10-летним. Очень близка по мощности к ним и около 7-летняя периодичность (табл. 6). В каждой полосе высоких частот обнаруживаются по 2-4 гармонических составляющих, сходных по периоду. С их помощью популяция непарного шелкопряда может легко «подстраиваться» к нужным ей колебаниям среды. Несколько ритмов облегчают такую подстройку, потому что чем ближе период к таковому у внешнего датчика времени, тем легче происходит синхронизация к нему.

Низкочастотные ритмы вспышек массового размножения у этой популяции включают относительно мощный, около 20-летний ритм (табл. 6). Он близок к циклу осадков (Дроздов, Григорьева, 1971) и георитмам Земли (Полозов, 1998). Заметный по мощности, близкий к 30-

летнему цикл соответствует многократно описанному климатическому (брикнеровскому) циклу. Значительная длина временного ряда позволила выявить еще один из низкочастотных ритмов вспышек массового размножения этой популяции непарного шелкопряда. Он плохо проявлен на спектре и пришлось изменить окно при расчетах, для повышения детализации. При этом появляется опасность появления «ложных» пиков на спектре. При таком расчете мы уточнили характеристики этой гармонике. Ее период оказался примерно 130-летний, мощность же не изменилась. Все прочие гармонические составляющие остались в пределах своих характеристик.

Такая периодичность может существовать и поддерживаться близкими по величине

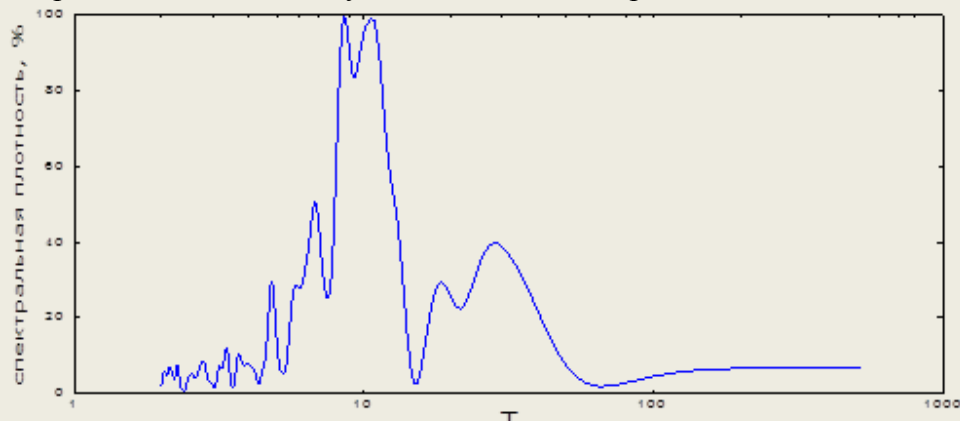


Рис.11. Спектральный анализ динамики численности непарного шелкопряда в Башкортостане.

Таблица 6. Соотношение величины и мощности периодических составляющих многолетней динамики очагов непарного шелкопряда в Башкортостане

Период, год	100-300	20-30	12-15	10-11	5-9	4,9-3,1	2-3
«Башкирская» популяция непарного шелкопряда (Зайлирское плато)	130.0 0.19	26,0 1.32	12,68 1,72	10.2 3,71	8,39 3,58	4,77 0.81	2.78 0.23
					6.75 2,22	3.66 0.35	2.78 0.13
					5.84 1.47	3.36 0.55	2.13 0.33

Примечание: верхняя цифра, период, нижняя – мощность (ед. спектр. плот)

брикнеровскими и солнечными ритмами, у них отмечены вековые колебания (Дружинин, 1987; Куклин, 1976) но для того чтобы утверждать это нужно получить его в виде хорошо выраженного на спектре пика с узким основанием. Для этого ряд должен быть длиннее в несколько раз. Впрочем, дендрохронологическим методом реконструкции вспышек массового размножения такое количество данных получить можно. Пока же мы отнесем эту гармоническую составляющую на нашем спектре к тренду.

Можно заметить, что динамика многолетней численности непарного шелкопряда имеет характерные внутренние цикличности, с помощью которых она может совершать «подстройку» к колебаниям внешних факторов. В различных географических популяциях этого фитофага используются разные периодические составляющие из имеющегося спектра и это можно видеть по изменениям их мощностей на разных спектрах.

Спектральный анализ многолетней динамики вспышек массового размножения «европейской» (Белецкий, 2011) популяции непарного шелкопряда.

Е.Н. Белецким (2011) приведен почти 150-летний ряд динамики вспышек непарного шелкопряда в Европе. К сожалению, не указывается территория, с которой получены эти данные. Мы, использовали эти данные, и получили спектр ритмов этой «популяции» (рис. 12). Как показали результаты, наибольшей мощностью обладает близкая к 9-летней периодичность,

значительная по мощности – близкая к 12-летней периодичность, несколько ниже – близкая к 5 летней (табл. 7). Кроме того имеется несколько гармонических составляющих незначительной мощности в области высоких частот (2-3 летние). Возможно этот набор периодов видоспецифичен для непарного шелкопряда. Имеется на спектре и примерно 40-летний ритм численности, так что возможно в этом спектре проявилась действительно имеющая место внутривековая (брикнеровская) климатическая ритмичность в динамике очагов. Итак, данные полученные при изучении динамики вспышек «европейской популяции» непарного шелкопряда показали сходные гармонические составляющие, что и рассчитанные из наблюдений за Уральскими популяциями.

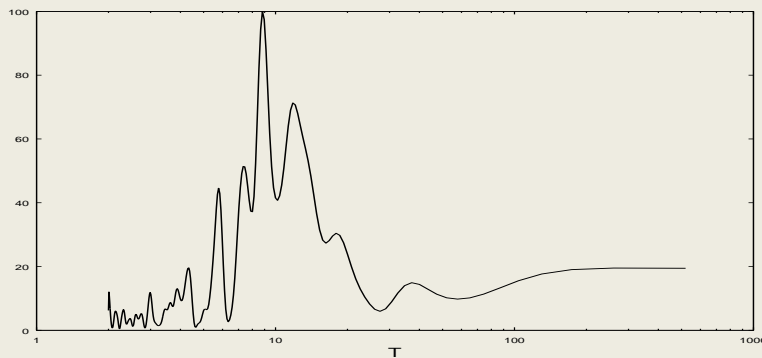


Рис.12. Спектральный анализ динамики численности «европейской» популяции непарного шелкопряда

Таблица 7. Соотношение величины и мощности периодических составляющих многолетней динамики очагов «европейской» популяции непарного шелкопряда

да

Период, год Вид, место	35-45	16-20	12-15	8-10	4-6	2-3
Непарный шелкопряд, «европейская» популяция	37.14 0.44	17.93 0.90	12.38 2.01	8.81 2.95	5.78	2.99
					4.33	2.60
					0.58	0.15
						2.47
						0.11
						2.14
						0.18

Примечание: верхняя цифра, период, нижняя – мощность (ед. спектр. плотн.)

Заключение

Как показали результаты, с помощью спектрального анализа обнаруживаются скрытые цикличности. Поэтому традиционное представление динамики численности на шкале времени, хорошо дополняется, рассчитанным с помощью спек-

трального анализа представлением этих же данных на частотной шкале. Это позволяет выявить новую информацию о скрытых ритмах в популяционной динамике и использовать ее для объяснения некоторых экологических феноменов. Не исключено использования этой информации и для прогнозных моделей вспышек численности.

Нами проведен анализ гармонических составляющих популяционной динамики 5 географических популяций непарного шелкопряда. Исследования показали, что в трех из них («европейской», «Оренбургской» и «Башкирской») по мощности преобладал одинаковый цикл (7,5 – 8,8 лет). В двух остальных он отсутствовал и заменялся на 11,5 летний. В популяции на северной границе очагов доминировал 43-летний цикл, который выявлен у популяций в Европе и Челябинской обл. Все высокочастотные циклы (2-3-летние и 3-5-летние) у всех изученных популяций были идентичны. Что касается наиболее низкочастотного цикла (260 лет), то короткие временные ряды, имеющиеся в нашем распоряжении не дали возможности уверенно выявить этот цикл.

В популяциях, локализованных в более южных широтах, доминантные по мощности циклы вспышек массового размножения были короче, чем в более северных популяциях. В наименее благоприятных климатических условиях преобладал еще более низкочастотный, 43-летний цикл. В то же время, у всех изученных популяций непарного шелкопряда имеются идентичные циклы популяционной динамики.

Исходя из полученных результатов, можно предполагать, что набор популяционных циклов у насекомых-фитофагов с высоким биотическим потенциалом очень консервативен и в процессе эволюции был синхронизирован с частью циклов колебаний ГТК. Это вполне обоснованно с точки зрения возможности реализации жизненной стратегии этих видов, направленной на сохранение существующей стратегии освоения жизненного пространства и сохранения своей экологической роли в лесных фитоценозах: сохранении устойчивых ценопопуляций древесных растений и элиминации ослабленных древостоев за счет дефолиации крон.

По-видимому у всех изученных нами географических популяций непарного шелкопряда, обитающих в различных климатических условиях, имеется полный набор всех типов низкочастотных циклов популяционной динамики. У некоторых из них он не выявляется вследствие коротких временных рядов использованных данных. По нашему мнению, именно полный набор циклов детерминирует наибольшие возможности у вида адаптироваться к динамике колебаний климатических факторов, чтобы реализовать свою жизненную стратегию.

Анализ климатических условий, предшествующих возникновению всплеск численности и синхронизированных с ними однозначно показывает, что наиболее часто в этот период преобладают майско-июльские сочетания низких ГТК (Колтунов, 2006, Колтунов и др., 2010), которые несвойственны доминантным циклам популяционной динамики и колебаний ГТК. Поэтому мы предполагаем, что такое сочетание ГТК могло возникнуть, в основном, в результате наложения ряда гармонических составляющих и эволюционной адаптации к ним циклов популяционной динамики непарного шелкопряда.

В результате нашего исследования впервые были установлены параметры периодов и их мощностей для динамики массовых размножений непарного шелкопряда.

Литература

Белецкий Е. Н. Цикличность - фундаментальное свойство развития и функционирования природных систем. Вісник харківського національного аграрного університету серія біологія, 2007, вип. 3 (12), с. 100-116

Белецкий Е.Н. Массовые размножения насекомых. История, теория, прогнозирование: монография. - Харьков: Майдан, 2011. - 172 с

Бенкевич В.И. Массовые появления непарного шелкопряда в европейской части СССР. М.: Наука, 1984. 140 с.

Бахвалов С.А. Факторы и экологические механизмы популяционной динамики лесных насекомых-филлофагов /С.А. Бахвалов, Е.В. Колтунов, В.В. Мартемьянов. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2010. – 299 с.

Браун Ф. Биологические ритмы // В кн. Сравнительная физиология животных. – М.: Мир, 1977.– Т. 2. – С. 210-260

Бялко А.В., Гамбургцев А.Г. Статистика погоды Природа № 12, 2000 г

Владимирский Б.М., Сидякин В.Г., Темуриянц Н.А., Макеев В.Б., Самохвалов В.П.. Космос и биологические ритмы – Симферополь.– 1995.- 206 с.

Дженкинс Г., Ваттс Д. Спектральный анализ и его приложения. М.: Мир 1971. 317 с.

Дроздов О.В., Григорьева А.С. Многолетние циклические колебания атмосферных осадков на территории СССР. – Л.: Гидрометеиздат. 1971. – С. 316

Дружинин И.П. Долгосрочный прогноз и информация. – Новосибирск: Наука, Сиб. отделение. 1987. – С. 246.

Ердаков Л.Н. Биологические ритмы и принципы синхронизации в экологических системах (хроноэкология). Томск, Изд. ТГУ. 1991. 216 с.

Ердаков Л.Н. Биологические ритмы: особь, популяция, сообщество. Цикличность в живых системах. LAP LAMBERT Academic Publishing (01.07.2011) GmbH & Co.KG. 152 s.

Ефимов В.М., Галактионов Ю.К., Шушпанова Н.Ф. Анализ и прогноз временных рядов методом главных компонент. – Новосибирск: Наука, 1988. –70с.

Иванов В.В. Периодические колебания погоды и климата // Успехи физических наук.– 2002. – Т.172, № 7.– С.777-811

- Колтунов Е.В. Насекомые-фитофаги лесных биогеоценозов в условиях антропогенного воздействия. Екатеринбург: Изд-во «Наука», 1993. 137 с
- Колтунов Е.В. Экология непарного шелкопряда в лесах Евразии. Екатеринбург. Изд-во УрО РАН. 2006. 260 с.
- Колтунов Е.В., Пономарев В.И., Федоренко С.И. Экология непарного шелкопряда в условиях антропогенного воздействия. Екатеринбург: Изд-во УрО РАН, 1998. 214 с.
- Колтунов Е.В. Дендрохронологические аспекты реакции древостоев на абиотический стресс как фактора популяционной динамики в очагах массового размножения насекомых-фитофагов // *Journal of Siberian Federal University. Biology* 1 (2012 5) 52-69
- Коротина, Е. Ф. Многолетние колебания температурного режима Южного Урала автореферат канд. Дисс. 2002 Челябинск
- Кривенко В.Г. Водоплавающие птицы и их охрана. 1991. – М. Агропромиздат: 1-271
- Кривенко В.Г. Современный статус водоплавающих птиц России с позиций природных и антропогенных воздействий. – Казань, 2002. – С. 51
- Кучеров С.Е. Реконструкция массовых размножений непарного шелкопряда на Зилаирском плато на основе анализа радиального прироста дуба черешчатого // *Journal of Siberian Federal University. Biology* 4 (2011 4) 405-415
- Мартынюк В.С., Владимирский Б.М, Темуриянц Н.А. Биологические ритмы и электромагнитные поля среды обитания. Бюллетень ВСНЦ СО РАМН, 2007, № 2 (54). С. 143-146.
- Максимов А.А. Многолетние колебания численности животных, их причины и прогноз. 1984. – Новосибирск: Наука: 1-249.
- Полозов В.В. Нетрадиционные методы сверхдолгосрочного прогноза температуры воздуха, осадков и других геофизических элементов. // "Навигация и гидрография", № 6, 1998. С. 100-104.
- Путилов, А.А. Системообразующая функция синхронизации в живой природе : Методол. очерк / А. А. Путилов; Отв. ред. В. А. Матюхин; АН СССР, Сиб. отд-ние, АМН СССР, Сиб. отд-ние, Ин-т физиологии, Новосибирск Наука Сиб. отд-ние 1987.142 с.
- Симоненкова В.А. Анализ возникновения и развития вспышек массового размножения основных листогрызущих вредителей // *Известия Оренбургского государственного университета*. 2011. Т. 2. № 30-1. С. 242-244.
- Сорокин А. А. Ультраниантные составляющие при изучении суточного ритма. Фрунзе: Илим, 1981. 82 с.
- Чернышев В. Б. Суточные ритмы.— В кн.: Проблемы космической биологии. Т. 41. М.: Наука, 1980, с. 186—229
- Шабанов Г.А., Лебедев Ю.А. К развитию концепции о системообразующей функции биологической синхронизации Информатика и системы управления, Благовещинск, 2009, вып.4, С. 31-33
- Шнитников А.В. Изменчивость общей увлажненности материков Северного полушария. – *Зап. Геогр. общества СССР*. 1957. – М. – Л.: Изд-во АН СССР, Т.16. 1-336
- Якушев Д.И. Алгоритмы математического моделирования/Д.И. Якушев. СПб.: МГП "Поликом", 2002г.-100с.
- Elton C.S. Periodic fluctuations in the numbers of animals: their causes and effects. – *Brit. J. exp. Biol.*, 1924, v. 11, № 1, p. 119-163.
- Rowan W. Reflections on the biology of animal cycles. – *J. Wildlife. Manag.*, 1954, v. 18, № 1, p. 52-60.
- Sollberger A. Probleme der Stenerung biologischer Rhythmen. – *Natur. Wiss. Rund. Stuttgart*, 1968, N 7, p. 277-289.
- Kuklin, G.V. On two populations of sunspot groups. *Solar activity and solar-terrestrial relations*, 1976. p. 196 - 199