

ЭКОЛОГИЯ

УДК 632.754.1: 57.045
doi: 10.17223/19988591/54/7

Е.Н. Беседина, В.Я. Исмаилов

Федеральный научный центр биологической защиты растений, г. Краснодар, Россия

Мониторинг развития клопа дубовая кружевница (*Corythucha arcuata* Say) на основе использования теплосодержания атмосферы

Исследование выполнено согласно государственному заданию Министерства науки и высшего образования РФ в рамках НИР по теме № 0686-2019-0012 при частичной поддержке Российского фонда фундаментальных исследований и администрации Краснодарского края в рамках научного проекта № 19-44-233009 p_мол_a.

*Рассчитано количество тепла, необходимое для выхода клопа дубовая кружевница (*Corythucha arcuata* Say) после зимней диапаузы (140–145 ккал/кг воздуха) и прохождения преимагинальных стадий развития от откладки яиц (158–167 ккал/кг), отрождения личинок (180–194 ккал/кг) до окрыления имаго новой генерации (136–145 ккал/кг). Показано, что теплосодержание (энтальпия) воздуха является наиболее предпочтительным показателем оценки термических характеристик для определения сроков появления перезимовавших особей, прохождения фенофаз насекомых и количества их генераций по сравнению с суммой эффективных температур. Установлено, что находящееся в прямой зависимости от теплосодержания воздуха количество генераций дубовой кружевницы в центральной, северо-восточной и западной зонах Краснодарского края (умеренный климатический пояс) равно трем, а в черноморской (субтропический климатический пояс) – четырем за сезонный цикл. Разработана методика мониторинга фенофаз вредителя на основе расчета теплосодержания воздуха, которая может использоваться в практических целях для оптимизации защитных мероприятий в дубовых насаждениях (проведение обработок инсектицидами, регуляторами роста и развития насекомых, выпуск энтомофагов).*

Ключевые слова: *Corythucha arcuata*; насекомые; вредители; фенология; генерация; энтальпия; биологическая защита растений

Сокращения: SET – сумма эффективных температур, гр.-дн. [Sum of the effective temperatures, degree-days]; j – энтальпия, ккал/кг [Enthalpy, kcal/kg].

Для цитирования: Беседина Е.Н., Исмаилов В.Я. Мониторинг развития клопа дубовая кружевница (*Corythucha arcuata* Say) на основе использования теплосодержания атмосферы // Вестник Томского государственного университета. Биология. 2021. № 54. С. 138–157. doi: 10.17223/19988591/54/7

Введение

Лесные ресурсы занимают важное место в экономическом потенциале многих стран мира. Однако в последние годы сложилась негативная ситуация в результате массовых инвазий на землях лесного фонда адвентивных вредителей, среди которых клоп дубовая кружевница *Corythucha arcuata* (Say, 1832) (Heteroptera: Tingidae) требует особого внимания. Родиной клопа является Северная Америка, где насчитывается более 50 видов этого семейства [1]. Карантинный объект проник в Европу в 1999 г. и впервые обнаружен в Италии [2–4]. В 2003 г. клоп впервые выявлен на Черноморском побережье Турции [5–6]. Из Турции клоп проник в Болгарию [7] и стал распространяться в странах Балканского полуострова. К настоящему времени вид отмечен в Швейцарии, Франции, Боснии и Герцеговине, Хорватии, Румынии, Сербии, Словакии, Болгарии, Греции, Иране [8–10].

На территории России дубовая кружевница впервые отмечена в 2015 г. в г. Краснодаре [11–13]. В 2016 г. вид расселился на юго-запад края, в парковых и лесных зонах городов Геленджик, Новороссийск и Туапсе, на северо-запад – до г. Славянска-на-Кубани, на юго-востоке достиг Республики Адыгея [14]. В 2017 г. дубовая кружевница найдена в районе Большого Сочи [15]. В 2018 г. вид зарегистрирован в Крыму [16–17]. В 2019 г. опасный вредитель впервые найден в Ставропольском крае, Ростовской области и Карачаево-Черкесии [18–19].

В связи с тем, что дуб в Краснодарском крае относится к основным леообразующим породам, наиболее остро в регионе стоит вопрос сохранения дубовых насаждений, заселенных быстро распространяющейся кружевной. Питание клопов-кружевниц клеточным соком листьев растений приводит к развитию хлороза и преждевременной дефолиации [16, 20–21]. В результате сильных повреждений, наносимых вредителем, происходит не только резкое угнетение дубрав, но и создаются благоприятные условия для развития патогенов, способных вызвать их гибель. Кружевница нарушает фотосинтез листьев, ослабляет деревья и снижает их семенную продуктивность, что особенно опасно для объектов животного мира, основной кормовой базой которых являются желуди.

Кроме того, дубовая кружевница повреждает не только дуб (*Quercus* L.), но и граб (*Carpinus* L.), ясень (*Fraxinus* L.), бук (*Fagus* L.), вяз (*Ulmus* L.), клен (*Acer* L.), иву (*Salix* L.), лещину (*Corylus* L.), каштан (*Aesculus* L.), ольху (*Alnus* L.) и робинию псевдоакацию (*Robinia pseudoacacia* L.). К числу вторичных кормовых растений также относятся вербейник (*Lysimachia* L.), девясил (*Inula* L.), хурма (*Diospyros* L.), черешня (*Prunus* L.), яблоня (*Malus* P. Mill.), боярышник (*Crataegus* Tourn. ex L.), шиповник (*Rosa* L.), малина (*Rubus* L.), ежевика (*Rubus* subg. L.) [16, 22–24]. Скорость распространения и инвазивного развития вредителя объясняется его активной миграцией, дополняемой пассивными переносами: анемохорным и антропогенным (ав-

томобильным и другими видами транспорта), а также высокой плодовитостью [25]. В России инвазивно-опасный вредитель дуба может развиваться в трех-четыре поколения за вегетационный период [19]. Самки откладывают яйца на нижней стороне листа, которые не смываются дождем и мало доступны для инсектицидов. Листья повреждают имаго и нимфы. Зимуют взрослые клопы в углублениях коры, при этом могут переносить достаточно низкие зимние температуры [26]. Температура выше 10 °С стимулирует массовый выход имаго и начало жизненного цикла [19].

Успешное расселение клопов-кружевниц в различных климатических условиях тесно связано с их устойчивостью к экстремальным температурам, особенно к высоким, что определяет их широкое распространение в субтропических регионах. Согласно лабораторным данным, личинки не могут развиваться до имагинальной стадии при постоянном культивировании при температуре выше 36 °С, однако в природных условиях насекомые подвергаются и более высоким температурам. Исследования показали, что кратковременное воздействие высоких температур наносит вред насекомым, а летальной является температура от 40 до 50 °С в зависимости от стадии жизненного цикла. Самцы и самки демонстрировали одинаковую выживаемость при температуре до 43 °С. Однако самки не откладывали яйца при постоянной температуре выше 36 °С, но при снижении температуры эта способность восстанавливалась [27–28]. Термостойкость клопов к высоким температурам подтверждена при идентификации гена HSP70, отвечающего за экспрессию белков теплового шока. Исследования показали, что экспрессия гена в ответ на высокие температуры значительно увеличивалась и в лабораторных, и в полевых условиях, что способствует термостойкости клопов-кружевниц [29].

Исследования влияния низких температур на примере клопа платановая кружевница *Corythucha ciliata* (Say, 1832) показали, что резкое снижение температуры вызывало высокую смертность насекомых, особенно самок, а постепенное снижение увеличивало их выживаемость. В результате были сделаны выводы, что *C. ciliata* устойчива к холоду [30–31]. При вторжении в новые районы инвазивные насекомые неизбежно сталкиваются с условиями окружающей среды, отличающимися от условий их естественного ареала. Приспособляемость к окружающей среде, особенно устойчивость к высоким и низким температурам играет важную роль в распространении клопов-кружевниц.

Прогнозируемое увеличение площадей лесов и лесных насаждений, заселенных инвазивными вредителями, среди которых особую опасность представляет клоп дубовая кружевница, приведет к ухудшению санитарной и лесопатологической обстановки. В этой ситуации необходима разработка эффективных и экологически обоснованных методов управления численностью вредителя, так как применение традиционных инсектицидов в лесах и парковых зонах строго регламентировано. Кроме того, прогнозирование

численности локальных популяций или локализации следующих вспышек массового размножения *C. arcuata* в настоящее время осложнены особенностями биологии вида (зимовочные и репродуктивные миграции, разная скорость развития в различных микроклиматических условиях). Отсюда изучение фенологии и динамики численности клопа дубовая кружевница позволит оптимизировать защитные мероприятия с учетом наиболее уязвимых фаз развития фитофага и сроков обработок.

Цель данного исследования – разработка прецизионных методов мониторинга динамики численности и возрастной структуры популяции клопа дубовая кружевница на основе использования теплосодержания атмосферы.

Материалы и методики исследования

Исследования проведены в 2018–2020 гг. в центральной (г. Краснодар), северо-восточной (г. Тихорецк) и западной (г. Крымск) зонах Краснодарского края, относящихся к умеренному климатическому поясу, а также черноморской зоне (г. Сочи), расположенной в субтропическом климатическом поясе. Выбор локалитетов исследований осуществлен с учетом территорий инвазивного распространения клопа дубовая кружевница в Краснодарском крае и различий в климатических условиях от умеренно континентальных до субтропических.

Фенологические наблюдения и учет численности клопов *C. arcuata* проведены на модельных деревьях дуба черешчатого (*Quercus robur* L.). Выборка составила не менее 10 дубов из каждого локалитета. Учеты вредителя осуществляли через каждые 7–10 суток после выхода клопов из зимовки (III декада апреля) в течение всего вегетационного периода до момента ухода взрослых насекомых в диапаузу (I–III декады ноября в зависимости от климатического пояса). Метеоданные (показатели среднесуточной температуры и относительной влажности) взяты из архива погоды для городов России [32].

Сумму эффективных температур определяли по формуле [33–34]

$$C = (t - t_0) * n,$$

где C – сумма эффективных температур (SET), гр.-дн. [Sum of the effective temperatures (SET), degree-days]; t – температура окружающей среды [Ambient temperature], °C; t_0 – температура порога развития [Developmental threshold temperature], °C; n – число часов или дней с температурой, превышающей порог развития, дней [The number of hours or days of with a temperature exceeding the threshold of development, days].

В качестве нижнего порога развития принято значение $T_0 = +12,2$ °C [19, 35].

Расчет теплосодержания (энтальпии, j) воздуха для прогнозирования даты выхода клопа дубовая кружевница из мест зимовки, откладки яиц, отрождения личинок и окрыления имаго новой генерации проведен с помощью модифицированной номограммы Рамзина [36] (рис. 1). На оси

ординат отмечены значения среднесуточной температуры и проведена прямая до пересечения с изолинией влажности в точке соответствующего показателя относительной влажности воздуха. Перпендикуляр, проведенный на ось абсцисс от изолинии влажности, указывает искомый показатель теплосодержания за сутки. Для учета фенологии вредителя и определения конкретных периодов прохождения фаз развития показатели теплосодержания складывали в нарастающей последовательности. Сумма этих значений за определенный промежуток времени – количество тепла, необходимого насекомому для прохождения конкретной стадии развития и генерации вредителя.

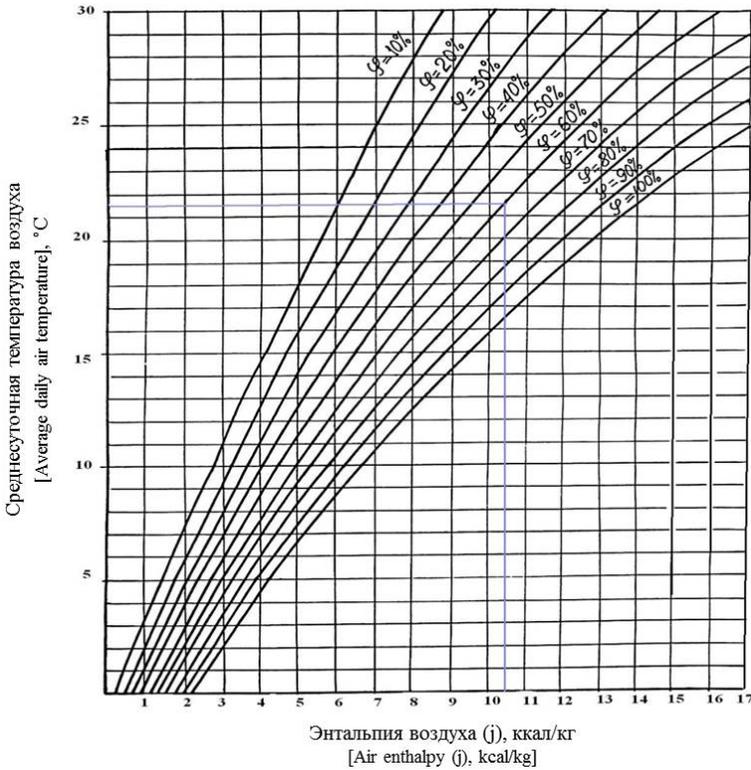


Рис. 1. Номограмма для расчета энтальпии воздуха. По оси абсцисс – энтальпия воздуха, ккал/кг; по оси ординат – среднесуточная температура воздуха, °C
[Fig. 1. Nomogram for calculating air enthalpy. On the X-axis - Air enthalpy, kcal/kg; on the Y-axis - Average daily air temperature, °C]

Дата отсчета (1 апреля) выбрана эмпирически на основе использования различных по срокам отсчета и соответствующих этим периодам показателей теплосодержания (табл. 1).

Таблица [Table 1]

Примеры определения оптимальной точки отсчета теплосодержания для выхода перезимовавших клопов (г. Краснодар, 2018–2020 гг.)

[Examples of determining the optimal heat content reference point for the emergence of overwintered bugs (Krasnodar, 2018-2020)]

Дата выхода перезимовавших клопов [Date of the emergence of overwintered bugs]	Энтальпия, рассчитанная от различных точек отсчета до даты выхода клопов, ккал/кг [Enthalpy calculated from different reference points up to bugs emergence date, kcal/kg]			
	С 1 апреля [From April 1]	С 5 апреля [From April 5]	С 10 апреля [From April 10]	С 15 апреля [From April 15]
21.04.2018	143	119	87	48
24.04.2019	141	123	89	49
30.04.2020	144	127	107	84

Результаты исследования и обсуждение

Существующие методы мониторинга вредителей не всегда отражают реальные константы фенологии целевых объектов, что приводит к ошибкам в определении оптимальных сроков защитных мероприятий и снижению их эффективности. Поэтому разработка прецизионных методов фитосанитарного мониторинга вредных видов является актуальной проблемой защиты растений, особенно биологической. Несомненный интерес в этом направлении представляют методы фенологических наблюдений за развитием адвентивных видов с использованием теплосодержания атмосферы.

В результате исследований, проведенных в течение 2018–2020 гг., установлены фактические сроки наступления фенофаз клопа дубовая кружевница и соответствующая им энтальпия воздуха (рис. 2, табл. 2).

Так, в 2018 г. в г. Краснодаре первые клопы после перезимовки появились 21 апреля, что соответствовало сумме тепла 143 ккал/кг, в 2019 г. – 24 апреля с аналогичным теплосодержанием (142 ккал/кг) и в 2020 г. – 30 апреля (144 ккал/кг). Аналогичным образом проведен учет в г. Тихорецке, г. Крымске и г. Сочи. Таким образом, фактическая сумма тепла, необходимая для выхода клопа дубовая кружевница после зимней диапаузы, составляет 140–145 ккал/кг воздуха (в среднем 143 ккал/кг).

Первые яйцекладки клопа-вредителя в 2018 г. в г. Краснодаре обнаружены 9 мая, при этом сумма тепла с 1 апреля по 9 мая составила 305 ккал/кг, в 2019 г. – 13 мая (307 ккал/кг), в 2020 г. – 19 мая (303 ккал/кг). Таким образом, количество тепла, достаточное для созревания и откладки яиц самками, колеблется от 302 до 308 ккал/кг воздуха.

Фактическое отрождение личинок клопа дубовая кружевница в г. Краснодаре зафиксировано в 2018 г. – 28 мая (191 ккал/кг), в 2019 г. – 28 мая (191 ккал/кг), в 2020 г. – 8 июня (188 ккал/кг). На основании данных, полученных в результате ежегодных наблюдений, определено теплосодержание, необходимое для прохождения инкубационного периода яиц (от начала яйцекладки до отрождения личинок), оно составляет в среднем 188 ккал/кг.

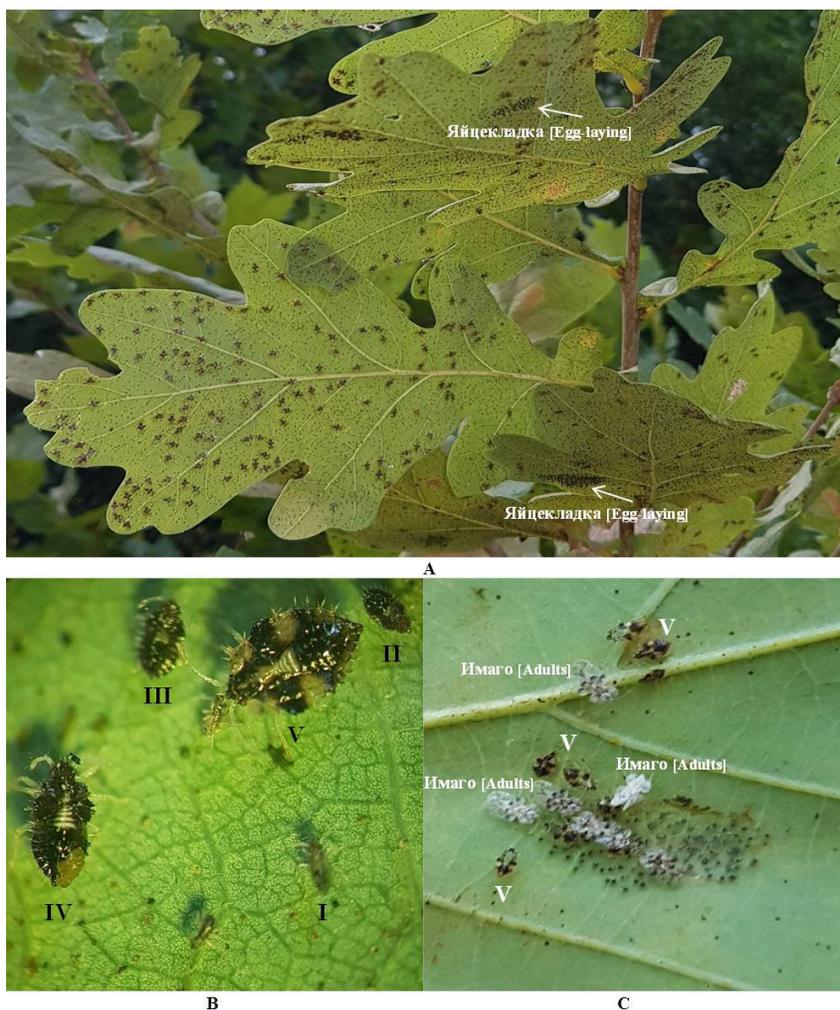


Рис. 2. Фенофазы клопа дубовая кружевница *Corythucha arcuata* Say. А – имаго; В – личинки I–V возрастов; С – окрыление имаго I летней генерации (фото Е.Н. Бесединой)

[Fig. 2. Phenophases of the oak lace bug *Corythucha arcuata*. A - Adults; B - Larvae of I-V ages; C - Fledging of adults of the 1st summer generation; Photo by Ekaterina Besedina]

А общее теплосодержание, накопленное с 1 апреля к этому периоду, составляет 488–498 ккал/кг воздуха, что в дальнейшем учитывалось при расчете суммы тепла для прохождения полной генерации вредителя (см. табл. 2).

Установлено, что теплосодержание, необходимое для развития генерации клопа, составляет 485–498 ккал/кг воздуха (в среднем 491 ккал/кг), которое в среднем соответствует 50 сут развития от появления перезимовавших имаго до окрыления клопов I генерации.

Таблица 2 [Table 2]

**Фактические сроки прохождения фенофаз клопа дубовая кружевница
Corythucha arcuata с учетом энтальпии атмосферы
 [Actual timing of the passage of phenophases of the oak lace bug *Corythucha arcuata*
 taking into account the enthalpy of the atmosphere]**

Год [Year]	Краснодар [Krasnodar]			Тихорецк [Tikhoretsk]			Крымск [Krymsk]			Сочи [Sochi]		
	Дата [Date]	Энтальпия (j), ккал/кг [Enthalpy, kcal/kg]		Дата [Date]	Энтальпия (j), ккал/кг [Enthalpy, kcal/kg]		Дата [Date]	Энтальпия (j), ккал/кг [Enthalpy, kcal/kg]		Дата [Date]	Энтальпия (j), ккал/кг [Enthalpy, kcal/kg]	
		P	SC		P	SC		P	SC		P	SC
Выход имаго перезимовавшей генерации [The emergence of adults of the overwintered generation]												
2018	21.04	143	143	24.04	142	142	23.04	144	144	21.04	141	141
2019	24.04	142	142	26.04	145	145	26.04	143	143	22.04	143	143
2020	30.04	144	144	01.05	142	142	30.04	140	140	25.04	145	145
Яйцекладка [Egg-laying]												
2018	09.05	162	305	13.05	162	304	11.05	160	304	09.05	167	308
2019	13.05	165	307	14.05	158	303	16.05	162	305	12.05	160	303
2020	19.05	159	303	22.05	166	308	21.05	162	302	15.05	162	307
Отрождение личинок [Hatching of larvae]												
2018	28.05	191	496	01.06	187	491	01.06	187	491	26.05	186	494
2019	28.05	191	498	01.06	194	497	03.06	189	494	30.05	193	496
2020	08.06	188	491	10.06	180	488	11.06	193	495	03.06	184	491
Окрыление имаго I летней генерации [Fledging of adults of the first summer generation]												
2018	12.06	136	632	16.06	138	629	16.06	145	636	06.06	145	639
2019	08.06	137	635	12.06	140	637	14.06	143	637	10.06	140	636
2020	18.06	138	629	22.06	142	630	22.06	138	633	15.06	145	636
Яйцекладка II генерации [Egg-laying of the second generation]												
2018	26.06	170	802	30.06	161	790	29.06	161	797	19.06	163	802
2019	21.06	169	804	25.06	163	800	27.06	169	806	21.06	164	800
2020	01.07	161	790	06.07	169	799	05.07	164	797	27.06	164	800
Отрождение личинок II генерации [Hatching of larvae of the second generation]												
2018	09.07	184	986	16.07	200	990	14.07	190	987	02.07	186	988
2019	06.07	189	993	11.07	189	989	14.07	188	994	05.07	191	991
2020	15.07	202	992	22.07	195	994	20.07	190	987	10.07	192	992
Окрыление имаго II генерации [Fledging of adults of the second generation]												
2018	19.07	145	1131	27.07	146	1136	25.07	144	1131	12.07	143	1131
2019	19.07	138	1131	24.07	148	1137	26.07	142	1136	16.07	139	1130
2020	26.07	143	1135	29.07	136	1130	01.08	152	1139	20.07	141	1133
Яйцекладка III генерации [Egg-laying of the third generation]												
2018	30.07	169	1300	08.08	160	1296	06.08	167	1298	24.07	168	1299
2019	31.07	165	1296	07.08	161	1298	09.08	161	1297	28.07	162	1292
2020	07.08	159	1294	12.08	162	1292	15.08	158	1297	01.08	165	1298
Отрождение личинок III генерации [Hatching of larvae of the third generation]												
2018	13.08	185	1485	26.08	193	1489	24.08	194	1492	05.08	193	1492
2019	16.08	192	1488	23.08	183	1481	25.08	192	1489	12.08	190	1482
2020	23.08	189	1483	31.08	193	1485	02.09	195	1492	14.08	185	1483
Окрыление имаго III генерации [Fledging of adults of the third generation]												
2018	25.08	138	1623	07.09	140	1629	04.09	140	1632	15.08	142	1634

Окончание табл. 2 [Table 2 (end)]

Год [Year]	Краснодар [Krasnodar]			Тихорецк [Tikhoretsk]			Крымск [Krymsk]			Сочи [Sochi]		
	Дата [Date]	Энтальпия (j), ккал/кг [Enthalpy, kcal/kg]		Дата [Date]	Энтальпия (j), ккал/кг [Enthalpy, kcal/kg]		Дата [Date]	Энтальпия (j), ккал/кг [Enthalpy, kcal/kg]		Дата [Date]	Энтальпия (j), ккал/кг [Enthalpy, kcal/kg]	
		P	SC		P	SC		P	SC		P	SC
2019	27.08	140	1628	06.09	144	1625	08.09	141	1630	23.08	144	1626
2020	04.09	141	1624	13.09	140	1625	14.09	143	1635	24.08	145	1628
Яйцекладка IV генерации [Egg-laying of the fourth generation]												
2018	–	–	–	–	–	–	–	–	–	26.08	161	1795
2019	–	–	–	–	–	–	–	–	–	04.09	167	1793
2020	–	–	–	–	–	–	–	–	–	05.09	162	1790
Отрождение личинок IV генерации [Hatching of larvae of the fourth generation]												
2018	–	–	–	–	–	–	–	–	–	08.09	184	1979
2019	–	–	–	–	–	–	–	–	–	20.09	184	1977
2020	–	–	–	–	–	–	–	–	–	18.09	183	1973
Окрыление имаго IV генерации [Fledging of adults of the fourth generation]												
2018	–	–	–	–	–	–	–	–	–	21.09	139	2118
2019	–	–	–	–	–	–	–	–	–	05.10	145	2122
2020	–	–	–	–	–	–	–	–	–	30.09	144	2117

Примечание. P – данные для учета фенофаз; SC – данные для учета сезонного цикла развития.

[Note. P - Data for phenophases recording; SC - Data for the recording of seasonal cycle development].

Это, в свою очередь, позволило определить возможное количество генераций вредителя в исследуемых локалитетах, выбранных нами для исследований. Известно, что под сезонным циклом развития понимается характеристика развития вида в течение всех сезонов одного года [37]. Так, в 2018–2020 гг. в центральной, северо-восточной и западной зонах Краснодарского края умеренного климатического пояса продолжительность сезонного цикла развития дубовой кружевницы была сопоставимой и наблюдалось три генерации вредителя, тогда как в черноморской зоне субтропического климатического пояса сезонный цикл развития более продолжительный, в результате чего там развивалось четыре поколения фитофага.

Развитие второй генерации заняло в 2018 г.: 37 сут (Краснодар, j = 499 ккал/кг), 41 сут (Тихорецк, j = 507 ккал/кг), 39 сут (Крымск, j = 495 ккал/кг), 36 сут (Сочи, j = 492 ккал/кг); в 2019 г.: 41 сут (Краснодар, j = 496 ккал/кг), 42 сут (Тихорецк, j = 500 ккал/кг), 42 сут (Крымск, j = 499 ккал/кг), 36 сут (Сочи, j = 494 ккал/кг); в 2020 г.: 38 сут (Краснодар, j = 506 ккал/кг), 37 сут (Тихорецк, j = 500 ккал/кг), 40 сут (Крымск, j = 506 ккал/кг), 35 сут (Сочи, j = 497 ккал/кг). Длительность развития третьей генерации достигла в 2018 г.: 36 сут (Краснодар, j = 492 ккал/кг), 41 сут (Тихорецк, j = 493 ккал/кг), 40 сут (Крымск, j = 501 ккал/кг), 33 сут (Сочи, j = 503 ккал/кг); в 2019 г.: 38 сут (Краснодар, j = 497 ккал/кг), 43 сут (Тихорецк, j = 488 ккал/кг), 43 сут (Крымск, j = 494 ккал/кг), 37 сут

(Сочи, $j = 496$ ккал/кг); в 2020 г.: 39 сут (Краснодар, $j = 489$ ккал/кг), 45 сут (Тихорецк, $j = 495$ ккал/кг), 43 сут (Крымск, $j = 496$ ккал/кг), 34 сут (Сочи, $j = 495$ ккал/кг). Развитие четвертой генерации в Сочи заняло в 2018 г. 36 сут, в 2019 г. – 42 сут, 2020 г. – 36 сут; при теплосодержании $j = 484–496$ (в среднем 490 ккал/кг).

В период с сентября по ноябрь, когда в центральной, северо-восточной и западной зонах Краснодарского края завершается цикл развития дубовой кружевницы и взрослые особи уходят на зимовку, в субтропиках на Черноморском побережье продолжается развитие и формируется четвертая генерация вредителя. В этот период отмечалось недостаточное для развития очередного поколения вредителя количество тепла в г. Краснодаре – 355–390 ккал/кг (в среднем за 3 года – 375 ккал/кг), г. Тихорецке – 322–347 ккал/кг (в среднем – 338 ккал/кг) и г. Крымске – 353–393 ккал/кг (в среднем за 3 года – 376 ккал/кг). Тогда как в районе г. Сочи этот показатель составил 491–495 ккал/кг (в среднем – 493 ккал/кг), что является достаточным для прохождения фазы яиц и отрождения личинок. Кроме того, рассчитанное по фактическим показателям температуры и влажности теплосодержание, необходимое для развития личинок (188 ккал/кг), отмечалось только в г. Сочи – 190–203 ккал/кг (в среднем за 3 года 199 ккал/кг), тогда как в г. Краснодаре, г. Тихорецке и г. Крымске этот показатель составил всего 108–135 ккал/кг (в среднем 124 ккал/кг), 92–117 ккал/кг (в среднем 104 ккал/кг) и 117–146 ккал/кг (в среднем 129 ккал/кг) соответственно. За период фенологических наблюдений (2018–2020 гг.) в центральной, северо-восточной и западной зонах Краснодарского края не отмечена четвертая генерация вредителя, однако появление дополнительной генерации, скорее всего частичной, возможно в исследуемых и других локалитетах в годы с более высоким теплосодержанием воздуха в марте–апреле и сентябре–октябре [19].

Энтальпия воздуха в качестве основного предиктора выбрана в связи с тем, что традиционно используемый показатель SET дает существенные отличия как по годам и зонам исследований, так и по фазам развития насекомых (табл. 2–3). Например, в зоне Краснодара SET на дату появления имаго после перезимовки в 2018 г. составляла 46 гр.-дн., в 2019 г. – 31 гр.-дн., в 2020 г. – 13 гр.-дн. Различия при оценке этого показателя составили 15–33 гр.-дн., в то время как при использовании показателя теплосодержание отличия между годами не превышали 1 ккал/кг воздуха. От выхода имаго до начала яйцекладки показатель SET составил 100–129 гр.-дн. (различие до 29 гр.-дн.), а энтальпия – 159–165 ккал/кг (разница 6 ккал/кг). При расчете SET от яйцекладки до отрождения личинок диапазон различий составил 12–14 гр.-дн., а при использовании теплосодержания – 3 ккал/кг. От отрождения личинок до окрыления имаго I летней генерации разброс данных для SET составил 3–16 гр.-дн., тогда как при использовании энтальпии – 2 ккал/кг. По другим локалитетам выявлен диапазон различий в сумме эффективных температур по трем годам исследований: в Тихорецке в стадии окрыления имаго II ге-

нерации (23–55 гр.-дн.) и в стадии яйцекладки III генерации (2–45 гр.-дн.), в Крымске в стадии окрыления имаго III генерации (12–28 гр.-дн.) и в Краснодаре в этой же стадии (11–24 гр.-дн.). При этом разница в теплосодержании в Тихорецке равнялась 10–12 ккал/кг (окрыление имаго II генерации) и 1–2 ккал/кг (яйцекладка III генерации), в Крымске – 1–3 ккал/кг (окрыление имаго III генерации) и в Краснодаре – 1–3 ккал/кг воздуха соответственно. Также значительный диапазон различий по сравнению с энтальпией выявлен при оценке SET между зонами исследований: 17–34, 48–61 и 26–54 гр.-дн. (в стадии яйцекладки I–III генераций); 20–39, 33–72 и 46–78 гр.-дн. (в стадии отрождения личинок I–III генераций); 13–28, 13–69 и 34–46 гр.-дн. (в стадии окрыления имаго I–III генерации) (см. табл. 3). Разница в энтальпии составила: 7, 6–9 и 4–9 ккал/кг (в стадии яйцекладки I–III генераций); 5–13, 3–12 и 9–10 ккал/кг (в стадии отрождения личинок I–III генераций); 6–7, 3–16 и 4–5 ккал/кг (в стадии окрыления имаго I–III генерации).

Таблица 3 [Table 3]

**Фактические сроки прохождения фенофаз клопа дубовая кружевница
Corythucha arcuata с учетом суммы эффективных температур
[Actual timing of the passage of phenophases of the oak lace bug *Corythucha arcuata*
taking into account the sum of the effective temperatures]**

Год [Year]	Краснодар [Krasnodar]			Тихорецк [Tikhoretsk]			Крымск [Krymsk]			Сочи [Sochi]		
	Дата [Date]	SET		Дата [Date]	SET		Дата [Date]	SET		Дата [Date]	SET	
		P	SC		P	SC		P	SC		P	SC
Выход имаго перезимовавшей генерации [The emergence of adults of the overwintered generation]												
2018	21.04	46	46	24.04	29	29	23.04	42	42	21.04	38	38
2019	24.04	31	31	26.04	31	31	26.04	22	22	22.04	24	24
2020	30.04	13	13	01.05	13	13	30.04	5	5	25.04	14	14
Яйцекладка [Egg-laying]												
2018	09.05	129	175	13.05	121	150	11.05	117	159	09.05	112	150
2019	13.05	107	138	14.05	109	140	16.05	85	107	12.05	76	100
2020	19.05	100	113	22.05	104	117	21.05	93	98	15.05	70	84
Отрождение личинок [Hatching of larvae]												
2018	28.05	136	311	01.06	157	307	01.06	150	309	26.05	129	279
2019	28.05	134	272	01.06	173	313	03.06	166	273	30.05	146	246
2020	08.06	122	235	10.06	131	248	11.06	142	240	03.06	125	209
Окрыление имаго I летней генерации [Fledging of adults of the first summer generation]												
2018	12.06	131	442	16.06	135	442	16.06	140	449	06.06	112	391
2019	08.06	144	416	12.06	149	462	14.06	138	411	10.06	134	380
2020	18.06	128	363	22.06	139	387	22.06	126	366	15.06	130	339
Яйцекладка II генерации [Egg-laying of the second generation]												
2018	26.06	175	617	30.06	203	645	29.06	163	612	19.06	142	533
2019	21.06	193	609	25.06	200	662	27.06	189	600	21.06	152	532
2020	01.07	166	529	06.07	201	588	05.07	188	554	27.06	148	487
Отрождение личинок II генерации [Hatching of larvae of the second generation]												
2018	09.07	198	815	16.07	239	884	14.07	205	817	02.07	167	700
2019	06.07	204	813	11.07	212	874	14.07	190	790	05.07	175	707

Окончание табл. 3 [Table 3 (end)]

Год [Year]	Краснодар [Krasnodar]			Тихорецк [Tikhoretsk]			Крымск [Krymsk]			Сочи [Sochi]		
	Дата [Date]	SET		Дата [Date]	SET		Дата [Date]	SET		Дата [Date]	SET	
		P	SC		P	SC		P	SC		P	SC
2020	15.07	221	750	22.07	220	808	20.07	211	765	10.07	188	675
Окрыление имаго II генерации [Fledging of adults of the second generation]												
2018	19.07	151	966	27.07	150	1034	25.07	134	951	12.07	128	828
2019	19.07	134	947	24.07	127	1001	26.07	136	926	16.07	123	830
2020	26.07	148	898	29.07	95	903	01.08	164	929	20.07	138	813
Яйцекладка III генерации [Egg-laying of the third generation]												
2018	30.07	165	1131	08.08	202	1236	06.08	189	1140	24.07	148	976
2019	31.07	153	1100	07.08	157	1158	09.08	165	1091	28.07	139	969
2020	07.08	164	1062	12.08	200	1103	15.08	188	1117	01.08	169	982
Отрождение личинок III генерации [Hatching of larvae of the third generation]												
2018	13.08	218	1349	26.08	245	1481	24.08	261	1401	05.08	183	1159
2019	16.08	194	1294	23.08	213	1371	25.08	218	1309	12.08	172	1141
2020	23.08	218	1280	31.08	231	1334	02.09	213	1330	14.08	177	1159
Окрыление имаго III генерации [Fledging of adults of the third generation]												
2018	25.08	180	1529	07.09	167	1648	04.09	153	1554	15.08	134	1293
2019	27.08	156	1450	06.09	180	1551	08.09	165	1474	23.08	146	1287
2020	04.09	167	1447	13.09	165	1499	14.09	137	1467	24.08	123	1282
Яйцекладка IV генерации [Egg-laying of the fourth generation]												
2018	–	–	–	–	–	–	–	–	–	26.08	153	1446
2019	–	–	–	–	–	–	–	–	–	04.09	149	1436
2020	–	–	–	–	–	–	–	–	–	05.09	162	1444
Отрождение личинок IV генерации [Hatching of larvae of the fourth generation]												
2018	–	–	–	–	–	–	–	–	–	08.09	182	1628
2019	–	–	–	–	–	–	–	–	–	20.09	160	1596
2020	–	–	–	–	–	–	–	–	–	18.09	163	1607
Окрыление имаго IV генерации [Fledging of adults of the fourth generation]												
2018	–	–	–	–	–	–	–	–	–	21.09	125	1753
2019	–	–	–	–	–	–	–	–	–	05.10	103	1699
2020	–	–	–	–	–	–	–	–	–	30.09	129	1736

Примечание: SET – сумма эффективных температур, гр.-дн.; P – данные для учета фенофаз; SC – данные для учета сезонного цикла развития.

[Note: SET - Sum of the effective temperatures, degree-days; P - Data for phenophases recording; SC - Data for the recording of seasonal cycle development].

Противоречивые результаты при использовании SET получены и другими авторами [19]. Так, появление первых яйцекладок клопа дубовая кружевница в Краснодаре и северо-западных предгорьях (Крымск–Белореченск) происходило при значениях SET 44–88 гр.-дн., что отличалось в 2 раза. Аналогичные выводы при изучении фенологии других вредителей сделаны еще рядом исследователей [38–39]. Установлено, что определение сроков наступления тех или иных фаз развития по сумме эффективных температур дает большие ошибки (например, стадии отрождения гусениц яблонной плодовой жоржки) [38]. То есть эксплуатация только одного параметра – температура воздуха – не обеспечивает точного прогноза сроков развития вредителя, так как насекомые испытывают кратковременные задержки развития или периоды активации. Так как энталпия учитывает две составляющие – темпера-

туру и влажность, которые наиболее значимо влияют на скорость роста и развития пойкилотермных организмов (насекомые и др.), этот показатель является более предпочтительным.

Таким образом, использование предиктора – теплосодержание воздуха является оптимальным для прогноза фенологии большого числа видов вредных и полезных насекомых. На основании теплосодержания, рассчитанного за период прохождения вредителем сезонного цикла развития, прогнозируется и рассчитывается количество генераций за год. По результатам исследований появилась возможность на основе использования показателей энтальпии воздуха с вполне определенной достоверностью проводить прогноз появления фаз насекомых, что можно использовать в практических целях – оптимизации защитных мероприятий, связанных с применением инсектицидов, регуляторов роста и развития насекомых, энтомопатогенов и энтомофагов в сельскохозяйственных и лесных ценозах.

Заключение

Показано, что теплосодержание (энтальпия) воздуха является наиболее предпочтительным показателем оценки термических характеристик для определения сроков появления перезимовавших особей, прохождения фенофаз насекомых и количества их генераций по сравнению с суммой эффективных температур. Рассчитано количество тепла, необходимое для выхода клопа дубовая кружевница (*C. arcuata*) после зимней диапаузы (140–145 ккал/кг сухого воздуха) и прохождения преимагинальных стадий развития от откладки яиц (158–167 ккал/кг воздуха), отрождения личинок (180–194 ккал/кг) до окрыления имаго новой генерации (136–145 ккал/кг). Установлено, что находящееся в прямой зависимости от теплосодержания воздуха количество генераций дубовой кружевницы в центральной, северо-восточной и западной зонах Краснодарского края (умеренный климатический пояс) равняется трем, а в черноморской (субтропический климатический пояс) – четырем за сезонный цикл. Отмечена возможность появления дополнительных генераций вредителя в годы с более высоким теплосодержанием в ранневесенние и осенние месяцы. Для повышения достоверности прогнозирования сроков наступления фенологических фаз клопа дубовая кружевница разработана методика мониторинга фенофаз вредителя на основе расчета теплосодержания воздуха, которая может использоваться в практических целях для оптимизации защитных мероприятий в дубовых насаждениях (проведение обработок инсектицидами, выпуск энтомофагов и т.д.).

Литература

1. Froeschner R.C., Miller L.T. *Corythucha melissa*, a new species of lace bug (Heteroptera: Tingidae) from manzanita in California // Entomological News. 2002. Vol. 113, № 2. PP. 94–96.
2. Bernardinelli I. Potential host plants of *Corythucha arcuata* (Het., Tingidae) in Europe: a laboratory study // Journal of Applied Entomology. 2006. Vol. 130, № 9–10. PP. 480–484.

3. Bernardinelli I., Zandigiacomo P. First record of the oak lace bug *Corythucha arcuata* (Say) (Heteroptera, Tingidae) in Europe // *Informatore Fitopatologico*. 2000. № 12. PP. 47–49.
4. Bernardinelli I. GIS representation of *Corythucha arcuata* (Say) distribution in northern Italy // *Journal of Forestry Science*. 2001. Vol. 47. PP. 54–55.
5. Mutun S. First report of the oak lace bug, *Corythucha arcuata* (Say, 1832) (Heteroptera: Tingidae) from Bolu, Turkey // *Israel Journal of Zoology*. 2003. № 49 (4). PP. 323–324.
6. Mutun S., Ceyhan Z., Sözen C. Invasion by the oak lace bug, *Corythucha arcuata* (Say) (Heteroptera: Tingidae), in Turkey // *Turkish Journal of Zoology*. 2009. № 33. PP. 263–268.
7. Dobрева M., Simov N., Georgiev G., Mirchev P., Georgieva M. First record of *Corythucha arcuata* (Say) (Heteroptera: Tingidae) on the Balkan Peninsula // *Acta Zoologica Bulgarica*. 2013. Vol. 3, № 65. PP. 409–412.
8. Forster B., Giacalone I., Moretti M., Dioli P., Wermelinger B. Die amerikanische Eichennetzwanze *Corythucha arcuata* (Say) (Heteroptera, Tingidae) hat die Südschweiz erreicht // *Mitteilungen der Schweizerischen Entomologischen Gesellschaft*. 2005. № 78. PP. 317–323.
9. Hrašovec B., Posarić D., Lukić I., Pernek M. First record of oak lace bug (*Corythucha arcuata*) in Croatia // *Šumarski list*. 2013. № 137 (9–10). PP. 499–503.
10. EPPO, 2019. *Corythucha arcuata* (Crthar). URL: <https://gd.eppo.int/taxon/CRTHAR/distribution> (дата обращения: 1.07.2020).
11. Gninenko Yu.I. Identification of invasive bugs in Russian forests. Pushkino : VNIILM, 2018. 32 p.
12. Гниненко Ю.И., Хегай И.В., Васильева У.А. Клоп дубовая кружевница – новый опасный инвайдер в лесах России // *Карантин растений. Наука и практика*. 2017. Т. 22, № 4. С. 9–12.
13. Гниненко Ю.И., Чернова У.А., Раков А.Г., Гимранов Р.И., Хегай И.В. Методические рекомендации по защите от дубового клопа-кружевницы (для производственной проверки). Пушкино : ВНИИЛМ, 2019. 28 с.
14. Neimorovets V.V., Shchurov V.I., Bondarenko A.S., Skvortsov M.M., Konstantinov F.V. First documented outbreak and new data on the distribution of *Corythucha arcuata* (Say, 1832) (Hemiptera: Tingidae) in Russia // *Acta Zoologica Bulgarica*. 2017. Suppl. 9. PP. 139–142.
15. Карпун Н.Н. Проценко В.Е., Борисов Б.А., Ширяева Н.В. Обнаружение дубовой кружевницы *Corythucha arcuata* (Say, 1832) (Heteroptera: Tingidae) в субтропической зоне Черноморского побережья Кавказа и прогноз изменения фитосанитарной ситуации в регионе // *Евразийский энтомологический журнал*. 2018. Т. 17, № 2. С. 113–119. doi: [10.15298/euroasentj.17.2.07](https://doi.org/10.15298/euroasentj.17.2.07)
16. Стрюкова Н.М., Омеляненко Т.З., Голуб В.Б. Дубовая кружевница в Республике Крым // *Защита и карантин растений*. 2019. № 9. С. 43–44.
17. Мартынов В.В., Никулина Т.В. Дубовая кружевница *Corythucha arcuata* (Say, 1832) (Hemiptera: Tingidae) – новый инвазивный вредитель в лесах юго-западной части Горного Крыма // *Субтропическое и декоративное садоводство*. 2020. № 72. С. 124–138. doi: [10.31360/2225-3068-2020-72-124-138](https://doi.org/10.31360/2225-3068-2020-72-124-138)
18. Мартынов В.В., Никулина Т.В. Первая находка дубовой кружевницы *Corythucha arcuata* (Say, 1832) (Hemiptera: Tingidae) в Ставропольском крае // *Сборник статей III Международной научно-практической конференции, посвященной памяти Вадима Анатольевича Цинкевича (1971–2018) «Итоги и перспективы развития энтомологии в Восточной Европе»*, 19–21 ноября 2019 г., г. Минск, Беларусь. Минск : А.Н. Варахсин, 2019. С. 245–247.
19. Щуров В.И., Замотайлов А.С., Бондаренко А.С., Щурова А.В., Скворцов М.М., Глушенко Л.С. Кружевница дубовая *Corythucha arcuata* (Say, 1832) (Heteroptera: Tingidae) на Северо-Западном Кавказе: фенология, биология, мониторинг территориальной экспансии и вредоносности // *Известия Санкт-Петербургской*

- лесотехнической академии. 2019. Вып. 228. С. 58–87. doi: [10.21266/2079-4304.2019.228.58-87](https://doi.org/10.21266/2079-4304.2019.228.58-87)
20. Иерусалимов Е.Н. Зоогенная дефолиация и лесное сообщество. М. : Товарищество научных изданий КМК, 2004. 263 с.
 21. Halbert S.E. and Meeker J.R. Sycamore Lace Bug, *Corythucha ciliata* (Say) (Insecta: Hemiptera: Tingidae) // EDIS. 2004. Vol. 4. PP. 1–4.
 22. Щуров В.И., Замотайлов А.С., Щурова А.В. Особенности сезонного цикла и экологии кружевницы дубовой *Corythucha arcuata* (Say, 1832) (Heteroptera: Tingidae) в природных зонах и высотных поясах Западного Кавказа (Heteroptera: Tingidae) // Материалы международной научной конференции «Биосфера и человек». 24–25 октября 2019 г., г. Майкоп, Республика Адыгея. Майкоп : ООО «Электронные издательские технологии», 2019. С. 118–120.
 23. Борисов Б.А., Карпун Н.Н., Бибин А.Р., Грабенко Е.А., Ширяева Н.В., Лянгузов М.Е. Новые данные о трофических связях инвазионного клопа дубовой кружевницы *Corythucha arcuata* (Heteroptera: Tingidae) в Краснодарском крае и Республике Адыгея по результатам исследований в 2018 году // Субтропическое и декоративное садоводство. 2018. № 67. С. 188–203. doi: [10.31360/2225-3068-2018-67-188-203](https://doi.org/10.31360/2225-3068-2018-67-188-203)
 24. Щуров В.И., Бондаренко А.С., Скворцов М.М., Щурова А.В. Чужеродные насекомые – вредители леса, выявленные на северо-западном Кавказе в 2010–2016 гг., и последствия их неконтролируемого расселения // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2017. Вып. 220. С. 212–228. doi: [10.21266/2079-4304.2017.220.212-228](https://doi.org/10.21266/2079-4304.2017.220.212-228)
 25. Wu H., Liu H. Movement behavior and host location ability of *Corythucha ciliata* // Plos One. 2016. Vol. 11, № 3. PP. 1–13. doi: [10.1371/journal.pone.0152205](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0152205)
 26. Дребудазе Ю.Ю., Петросян В.Г., Хляп Л.А. Самые опасные инвазионные виды России (ТОП-100). М. : Товарищество научных изданий КМК, 2018. 688 с.
 27. Ju R.T., Wang F., Li B. Effects of temperature on the development and population growth of the sycamore lace bug, *Corythucha ciliata* // Journal of Insect Science. 2011. Vol. 11, № 1. PP. 1–16. doi: [10.1673/031.011.0116](https://doi.org/10.1673/031.011.0116)
 28. Ju R.T., Gao L., Zhou X.H., Li B. Tolerance to High Temperature Extremes in an Invasive Lace Bug, *Corythucha ciliata* (Hemiptera: Tingidae), in Subtropical China // Plos One. 2013. Vol. 8, № 1. PP. 1–8. doi: [10.1371/journal.pone.0054372](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0054372)
 29. Ju R.T., Luo Q.Q., Gao L., Zhou X.H., Yang J., Li B. Identification of HSP70 gene in *Corythucha ciliata* and its expression profiles under laboratory and field thermal conditions // Cell Stress and Chaperones. 2018. Vol. 23. PP. 195–201.
 30. Ju R.T., Xiao Y.Y., Li B. Rapid cold hardening increases cold and chilling tolerances more than acclimation in the adults of the sycamore lace bug, *Corythucha ciliata* (Say) (Hemiptera: Tingidae) // Journal of Insect Physiology. 2011. Vol. 57, № 11. PP. 1577–1582. doi: [10.1016/j.jinsphys.2011.08.012](https://doi.org/10.1016/j.jinsphys.2011.08.012)
 31. Ju R.T., Wang F., Xiao Y.Y., Li B. Supercooling capacity and cold hardiness of the adults of the sycamore lace bug, *Corythucha ciliata* (Hemiptera: Tingidae) // Cryo Letters. 2010. № 31 (6). PP. 445–453.
 32. Прогноз и архив погоды для городов России. URL: <https://weatherarchive.ru/catalog1> (дата обращения: 1.12.2020).
 33. Чернова Н.М., Былова А.М. Общая экология : учебник. М. : Дрофа, 2004. 416 с.
 34. Замотайлов А.С., Попов И.Б., Белый А.И. Экология насекомых : краткий курс лекций. Краснодар : КубГАУ, 2009. 184 с.
 35. Saulich A.Kh., Musolin D.L. Seasonal development of aquatic and semiaquatic true bugs (Heteroptera). St. Petersburg : Saint-Petersburg University Press, 2007. 225 p.
 36. Александров М.В. Тепло атмосферы и прогнозы развития пойкилотермных аэробов. Ташкент : Фан, 1974. 164 с.

37. Шарова И.Х. Зоология беспозвоночных : учеб. для студ. высш. учеб. заведений. М. : Гуманит. изд. центр ВЛАДОС, 2002. 592 с.
38. Болдырев М.И. Теплосодержание воздуха и продолжительность развития яблонной плодовой гнили // Вестник сельскохозяйственной науки. 1983. № 7. С. 59–64.
39. Badowska-Czubik T., Suski Zbigniew W. Influence of variable temperature on the development of the codling moth *Laspeyresia pomonella* L. // Agr. Meteor. 1981. № 4. PP. 112–121.

Поступила в редакцию 11.01.2021 г.; повторно 24.05.2021 г.;
принята 31.05.2021 г.; опубликована 29.06.2021 г.

Авторский коллектив:

Беседина Екатерина Николаевна, канд. биол. наук, с.н.с. сектора биотехнологии, ФГБНУ «Федеральный научный центр биологической защиты растений» (Россия, 350039, г. Краснодар, п/о 39, ВНИИБЗР).

ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-9976-5614>

E-mail: katrina7283@yandex.ru

Исмаилов Владимир Яковлевич, канд. биол. наук, заведующий лабораторией химической коммуникации и массового разведения насекомых, ФГБНУ «Федеральный научный центр биологической защиты растений» (Россия, 350039, г. Краснодар, п/о 39, ВНИИБЗР).

ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-6713-0059>

E-mail: vlyaism@yandex.ru

For citation: Besedina EN, Ismailov VYa. Monitoring the development of the oak lace bug (*Corythucha arcuata* Say) based on the use of atmospheric heat content. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Biologiya = Tomsk State University Journal of Biology*. 2021;54:138-157. doi: 10.17223/19988591/54/7
In Russian, English Summary

Ekaterina N. Besedina, Vladimir Ya. Ismailov

Federal Scientific Center of Biological Plant Protection, Krasnodar, Russian Federation

**Monitoring the development of the oak lace bug
(*Corythucha arcuata* Say) based on the use of atmospheric heat content**

In recent years, a negative situation has developed as a result of mass invasions of adventive pests on the lands of the forest fund, among which the oak lace bug *Corythucha arcuata* Say (Heteroptera: Tingidae) requires special attention. The pest poses a great danger to the survival and productivity of oak forests and forest plantations in the South of Russia. The existing methods of pest monitoring do not always reflect the real constants of the phenology of target objects, which leads to errors in determining the optimal timing of protective measures and a decrease in their effectiveness. Hence, research in the development of precision methods for phytosanitary monitoring of harmful species is an important problem of plant protection, especially biological. The study of the phenology and dynamics of the oak lace bug will allow optimizing protective measures, taking into account the most vulnerable phases of phytophage development and the timing of treatments. The aim of this study was to develop precision methods for monitoring the dynamics of the number and age structure of the oak lace bug population based on the use of the heat content of the atmosphere.

The studies were carried out in the central (Krasnodar), northeastern (Tikhoretsk) and western (Krymsk) zones of Krasnodar Krai belonging to the temperate climatic zone, as well as the Black Sea zone (Sochi), located in the subtropical climatic zone. The choice of localities for the research was carried out taking into account the territories of invasive distribution of the oak lace bug and the differences in climatic conditions

from moderate continental to subtropical. The calculation of the heat content (enthalpy) of air was carried out using a modified Ramzin nomogram (See Fig. 1). Phenological observations and counting of the number of *C. arcuata* bugs were carried out on model trees of English oak (*Quercus robur* L.) (See Fig. 2). The reference date was chosen empirically based on the use of heat content indicators that are different in terms of reference periods and corresponding to these periods (See Table 1).

As a result of the studies carried out during 2018-2020, the actual dates of the onset of the phenophases of the oak lace bug and the corresponding enthalpy of air (the heat content) were determined (See Table 2). We calculated the amount of heat required for the emergence of the oak lace bug after winter diapause (140-145 kcal/kg air) and passing through the preimaginal stages of development from egg-laying (158-167 kcal/kg), hatching of larvae (180-194 kcal/kg) before fledging of adults of a new generation (136-145 kcal/kg). The sum of effective temperatures (SET) was calculated according to the generally accepted method (Chernova, Bylova, 2004; Zamotajlov et al., 2009) (See Table 3). We have shown that the enthalpy of air is the most preferable indicator for assessing thermal characteristics for determining the timing of the appearance of overwintered individuals, the passage of phenophases of insects and the number of their generations in comparison with the sum of effective temperatures (See Table 2 and 3). We found that the number of generations of oak lace bug in the central, western and northeastern zones (temperate climatic zone) of Krasnodar Krai, which is directly dependent on the heat content of the air, was three, and in the Black Sea zone (subtropical climatic zone) there were four generations per seasonal cycle. To improve the reliability of predicting the timing of phenological phases of the oak lace bug, a method for monitoring phenophases of the pest based on calculating the heat content of the air has been developed, which can be used for practical purposes to optimize protective measures associated with the use of insecticides, growth and development regulators of insects, entomopathogens and entomophages in agricultural and forest cenoses.

Thus, distribution, development rate, number dynamics and harmfulness of the species to the greatest extent depend on the ecological resource of the inhabited territory, determined by the enthalpy of the air. On the basis of enthalpy, the rate of passage of phenophases and the number of generations of the pest, which determine its invasive development in large areas, are reliably calculated.

The paper contains 2 Figures, 3 Table and 39 References.

Key words: *Corythucha arcuata*; insects; pests; phenology; generation; enthalpy; biological plant protection.

Funding: The reported study was carried out in accordance with the State Assignment of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the framework of research work topic No. 0686-2019-0012 partially supported by the Russian Foundation for Basic Research and the Administration of Krasnodar Krai according to the Scientific Project No. 19-44-233009 r_mol_a.

The Authors declare no conflict of interest.

References

1. Froeschner RC, Miller LT. *Corythucha melissa*, a new species of lace bug (Heteroptera: Tingidae) from manzanita in California. *Entomological News*. 2002;113(2):94-96.
2. Bernardinelli I. Potential host plants of *Corythucha arcuata* (Het., Tingidae) in Europe: a laboratory study. *Applied Entomology*. 2006;130(9-10):480-484.
3. Bernardinelli I, Zandigiacomo P. First record of the oak lace bug *Corythucha arcuata* (Say) (Heteroptera, Tingidae) in Europe. *Informatore Fitopatologico*. 2000;12:47-49.
4. Bernardinelli I. GIS representation of *Corythucha arcuata* (Say) distribution in northern Italy. *Forestry Science*. 2001;47:54-55.

5. Mutun S. First report of the oak lace bug, *Corythucha arcuata* (Say, 1832) (Heteroptera: Tingidae) from Bolu, Turkey. *Israel Zoology*. 2003;49(4):323-324.
6. Mutun S, Ceyhan Z, Sözen C. Invasion by the oak lace bug, *Corythucha arcuata* (Say) (Heteroptera: Tingidae), in Turkey. *Turkish Zoology*. 2009;33:263-268.
7. Dobрева M, Simov N, Georgiev G., Mirchev P, Georgieva M. First record of *Corythucha arcuata* (Say) (Heteroptera: Tingidae) on the Balkan Peninsula. *Acta Zoologica Bulgarica*. 2013;65(3):409-412.
8. Forster B, Giacalone I, Moretti M, Dioli P, Wermelinger B. Die amerikanische Eichennetzwanze *Corythucha arcuata* (Say) (Heteroptera, Tingidae) hat die Südschweiz erreicht. *Mitteilungen der Schweizerischen Entomologischen Gesellschaft*. 2005;78:317-323. In German
9. Hrašovec B, Posarić D, Lukić I, Pernek M. First record of oak lace bug (*Corythucha arcuata*) in Croatia. *Šumarski list*. 2013;137(9-10):499-503. In Croatia
10. EPPO, 2019. *Corythucha arcuata* (Crthar). [Electronic resource]. Available at: <https://gd.eppo.int/taxon/CRTHAR/distribution> (accessed: 01.07.2020).
11. Gninenko YuI. Identification of invasive bugs in Russian forests. Pushkino: VNIILM; 2018. 32 p.
12. Gninenko YuI, Kheday IV, Vasil'eva WA. Klop dubovaya kruzhevitsa - novyy opasnyy invayder v lesakh Rossii [Oak lace bug is a new dangerous invader in the forests of Russia]. *Karantin Rasteniy. Nauka i Praktika*. 2017;4(22):9-12. In Russian
13. Gninenko YuI, Chernova UA, Rakov AG, Gimranov RI, Kheday IV. Metodicheskie rekomendatsii po zashchite ot dubovogo klopa-kruzhevitsy (dlya proizvodstvennoy proverki) [Guidelines for protection against the oak lace bug (for production check)]. Pushkino: VNIILM Publ.; 2019. 28 p. In Russian
14. Neimorovets VV, Shchurov VI, Bondarenko AS, Skvortsov MM, Konstantinov FV. First documented outbreak and new data on the distribution of *Corythucha arcuata* (Say, 1832) (Hemiptera: Tingidae) in Russia. *Acta Zoologica Bulgarica*. 2017;9:139-142.
15. Karpun NN, Protsenko VE, Borisov BA, Shiryayeva NV. A new record of the oak lace bug, *Corythucha arcuata* (Say, 1832) (Heteroptera: Tingidae), in subtropical zone of Black Sea coast of the Caucasus with forecast of phytosanitary situation change in the region. *Evrazijskii Entomologicheskii Zhurnal*. 2018;17(2):113-119. doi: [10.15298/euroasentj.17.2.07](https://doi.org/10.15298/euroasentj.17.2.07) In Russian, English Summary
16. Stryukova NM, Omelyanenko TZ, Golub VB. *Corythucha arcuata* in the Republic of Crimea. *Plant Protection and Quarantine*. 2019;9:43-44. In Russian, English Summary
17. Martynov VV, Nikulina TV. Oak lace bug *Corythucha arcuata* (Say, 1832) (Hemiptera: Tingidae) - a new invasive pest in forests of the south-western part of Mountain Crimea. *Subtropical and Ornamental Horticulture*. 2020;72:124-138. doi: [10.31360/2225-3068-2020-72-124-138](https://doi.org/10.31360/2225-3068-2020-72-124-138) In Russian, English Summary
18. Martynov VV, Nikulina TV. Pervaya nakhodka dubovoy kruzhevitsy *Corythucha arcuata* (Say, 1832) (Hemiptera: Tingidae) v Stavropol'skom krae [First finding of *Corythucha arcuata* (Say, 1832) (Hemiptera: Tingidae) in Stavropol region]. In: *Itogi i perspektivy razvitiya entomologii v vostochnoy Evrope*. Sbornik statey III Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, posvyashchennoy pamyati Vadima Anatol'evicha Tsinkevicha (1971-2018) [Results and prospects for the development of entomology in Eastern Europe. Proc. of the Int. Sci.-Pract Conf. (Minsk, Belarus, 19-21 November 2019)]. Varaksin AN, editor. Minsk: Minsk Publ.; 2019. pp. 245-247. In Russian, English Summary
19. Shchurov VI, Zamotajlov AS, Bondarenko AS, Shchurova AV, Skvortsov MM, Glushchenko LS. The oak lace bug *Corythucha arcuata* (Say, 1832) (Heteroptera: Tingidae) in the Northwestern Caucasus: phenology, biology, monitoring of the territorial expansion and harmfulness. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj lesotehnicheskoy akademii*. 2019;228:58-87. doi: [10.21266/2079-4304.2019.228.58-87](https://doi.org/10.21266/2079-4304.2019.228.58-87) In Russian, English Summary

20. Ierusalimov EN. Zoogennaya defoliatsiya i lesnoe soobshchestvo [Zoogenic defoliation and forest community]. Moscow: Tovarishestvo nauchnykh izdaniy KMK Publ.; 2004. 263 p. In Russian
21. Halbert SE, Meeker JR. Sycamore Lace Bug, *Corythucha ciliata* (Say) (Insecta: Hemiptera: Tingidae). *EDIS*. 2004;4:1-4.
22. Shchurov VI, Zamotajlov AS, Shchurova AV. Osobennosti sezonnogo tsikla i ekologii kruzhevnytsy dubovoy *Corythucha arcuata* (Say, 1832) (Heteroptera: Tingidae) v prirodnykh zonakh i vysotnykh poyasakh Zapadnogo Kavkaza (Heteroptera: Tingidae) [Features of the seasonal cycle and ecology of the oak lace bug *Corythucha arcuata* (Say, 1832) (Heteroptera: Tingidae) in natural zones and high-altitude zones of the Western Caucasus (Heteroptera: Tingidae) (Maykop, Adygeya Republic, 24-25 October 2019)]. In: *Biosfera i chelovek*. Materialy mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii [Biosphere and Man. Proc. of the Int. Sci. Conf.]. Maykop: OOO «Elektronnye izdatel'skie tekhnologii» Publ.; 2019. pp.118-120. In Russian
23. Borisov BA, Karpun NN, Bibin AR, Grabenko EA, Shiryayeva NV, Lyanguzov ME. New data on trophic relations of the invasive oak lace bug *Corythucha arcuata* (Heteroptera: Tingidae) in the Krasnodar region and in the republic of Adygea based on the research findings for the year 2018. *Subtropical and ornamental horticulture*. 2018;67:188-203. doi: [10.31360/2225-3068-2018-67-188-203](https://doi.org/10.31360/2225-3068-2018-67-188-203) In Russian, English Summary
24. Shchurov VI, Bondarenko AS, Skvortsov MM, Shchurova AV. Alien forest insect pests revealed in the Northwest Caucasus in 2010-2016 and consequences of their uncontrolled dispersal. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj Lesotekhnicheskoy Akademii*. 2017;220:212-228. doi: [10.21266/2079-4304.2017.220.212-228](https://doi.org/10.21266/2079-4304.2017.220.212-228) In Russian, English Summary
25. Wu H, Liu H. Movement Behavior and Host Location Ability of *Corythucha ciliata*. *Plos One*. 2016;11(3):1-13. doi: [10.1371/journal.pone.0152205](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0152205)
26. Dgebuadze YuYu, Petrosyan VG, Khlyap LA. The most dangerous invasive species of Russia (TOP-100). Moscow: Tovarishestvo nauchnykh izdaniy KMK Publ.; 2018. 688 p. In Russian
27. Ju RT, Wang F, Li B. Effects of temperature on the development and population growth of the sycamore lace bug, *Corythucha ciliata*. *J Insect Science*. 2011;11(1):1-16. doi: [10.1673/031.011.0116](https://doi.org/10.1673/031.011.0116)
28. Ju RT, Gao L, Zhou XH, Li B. Tolerance to High Temperature Extremes in an Invasive Lace Bug, *Corythucha ciliata* (Hemiptera: Tingidae), in Subtropical China. *Plos One*. 2013;8(1):1-8. doi: [10.1371/journal.pone.0054372](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0054372)
29. Ju RT, Luo QQ, Gao L, Zhou XH, Yang J, Li B. Identification of HSP70 gene in *Corythucha ciliata* and its expression profiles under laboratory and field thermal conditions. *Cell Stress and Chaperones*. 2018;23:195-201
30. Ju RT, Xiao YY, Li B. Rapid cold hardening increases cold and chilling tolerances more than acclimation in the adults of the sycamore lace bug, *Corythucha ciliata* (Say) (Hemiptera: Tingidae). *J Insect Physiology*. 2011;57(11):1577-1582. doi: [10.1016/j.jinsphys.2011.08.012](https://doi.org/10.1016/j.jinsphys.2011.08.012)
31. Ju RT, Wang F, Xiao YY, Li B. Supercooling capacity and cold hardiness of the adults of the sycamore lace bug, *Corythucha ciliata* (Hemiptera:Tingidae). *Cryo Letters*. 2010;31(6):445-453
32. Prognoz i arhiv pogody dlja gorodov Rossii. [Electronic resource]. Available at: <https://weatherarchive.ru/catalog1> (accessed: 01.12.2020).
33. Chernova NM, Bylova AM. Obshhaya ekologiya. Uchebnik [General ecology. Textbook]. Moscow: Drofa Publ.; 2004. 416 p. In Russian
34. Zamotaylov AS, Popov IB, Belyi AI. Ekologiya nasekomykh. Kratkiy kurs lektsiy [Ecology of insects. Short course of lectures]. Krasnodar: Kuban State Agrarian University Publ.; 2009. 184 p. In Russian

35. Saulich AKh, Musolin DL. Seasonal development of aquatic and semiaquatic true bugs (Heteroptera). St. Petersburg: Saint-Petersburg University Press; 2007. 225 p. In Russian
36. Alexandrov MV. Teplo atmosfery i prognozy razvitiya poikilothermykh aerobov [The warmth of the atmosphere and forecasts of development of poikilothermic aerobes]. Tashkent: Fan Publ.; 1974. 164 p. In Russian
37. Sharova IKh. Zoologiya bespozvonochnykh: Ucheb. dlya stud. vyssh. ucheb. zavedeniy [Zoology of invertebrates: Textbook for students of Higher Education]. Moscow: Gumanit. izd. tsentr VLADOS Publ.; 2002. 592 p. In Russian
38. Boldyrev MI. Teplosoderzhanie vozduha i prodolzhitel'nost' razvitiya jablonnoj plodozhorki [The heat content of the air and the duration of the codling moth development]. *Vestnik Sel'skhozjajstvennoj Nauki*. 1983;7:59-64. In Russian
39. Badowska-Czubik T, Suski Zbigniew W. Influence of variable temperature on the development of the codling moth *Laspeyresia pomonella* L. *Agr. Meteor*. 1981;4:112-121.

*Received 11 January 2021; Revised 24 May 2021;
Accepted 31 May 2021; Published 29 June 2021.*

Author info:

Besedina Ekaterina N, Cand. Sci. (Biol.), Senior Researcher, Sector of Biotechnology, FSBSI "Federal Scientific Center of Biological Plant Protection", p/o 39, Krasnodar 350039, Russian Federation.

ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-9976-5614>

E-mail: katrina7283@yandex.ru

Ismailov Vladimir Ya, Cand. Sci. (Biol.), Leading Researcher, Laboratory of Chemical Communication and Mass Insect Breeding, FSBSI "Federal Scientific Center of Biological Plant Protection", p/o 39, Krasnodar 350039, Russian Federation.

ORCID iD: <https://orcid.org/0000-0002-6713-0059>

E-mail: vlyaism@yandex.ru