

УДК 595.782

© А. Н. Афонин, Ю. Б. Аханаев и А. Н. Фролов

**АРЕАЛ ЛУГОВОГО МОТЫЛЬКА *LOXOSTEGE STICTICALIS*
L. (LEPIDOPTERA, PYRALOIDEA: CRAMBIDAE) НА ТЕРРИТОРИИ
БЫВШЕГО СССР И ЕГО РАЙОНИРОВАНИЕ ПО ЧИСЛУ ГЕНЕРАЦИЙ
В СЕЗОНЕ**

[A. N. AFONIN, Yu. B. AKHANAEV a. A. N. FROLOV. THE RANGE OF THE BEET WEBWORM
LOXOSTEGE STICTICALIS L. (LEPIDOPTERA, PYRALOIDEA: CRAMBIDAE) IN THE TERRITORY
OF THE FORMER USSR AND ITS ARRANGEMENT BY NUMBER OF SUCCESSIVE GENERATIONS
DURING THE SEASON]

Луговой мотылек (*Loxostege sticticalis* L.) — особо опасный вредитель, для которого характерны внезапные вспышки массового размножения, многоядность, агрегированность пространственного распределения и способность имаго перелетать на весьма большие расстояния (Пятницкий, 1936; Трибель, 1989; Алехин, 2002; Фролов и др., 2008; Кнорр, 2011). Этот вид широко распространен в Евразии (Фалькович, Мартин, 1999); вспышки его массового размножения периодически происходят на территории бывшего СССР (Россия, Украина, Молдавия, Казахстан), в Китае и Монголии, реже — в Турции, Ираке и странах Восточной Европы (Болгария, Румыния, Венгрия, Польша, бывшие Югославия и Чехословакия) (Кожанчиков, 1941; Фролов и др., 2010). Особенности географического распространения лугового мотылька посвящено немало публикаций. Впервые границы ареала, области высокой численности и зоны массовых размножений этого вида на территории СССР были описаны Кожанчиковым (1941) по результатам наблюдения за вспышками размножения в первой половине XX в. В последнее время появились карты распространения, зон высокой вредоносности и очагов массового размножения насекомого, составленные с учетом особенностей проявления вспышек размножения во второй половине XX—начале XXI в. (Кузнецова, Чумаков, 2008; Саулич, 2009). Однако в отличие от Китая (Luo Li-Zhi, Li Guang-Bo, 1993) для территории бывшего СССР пока не создано карт с выделением зон, в которых возможно развитие того или иного числа генераций вредителя. Такие карты способствовали бы лучшему пониманию закономерностей формирования очагов массового размножения вредителя в разных частях ареала.

Создание карт, описывающих географическую изменчивость сезонной цикличности развития мотылька, затруднено высокой мобильностью этого вредителя. Отчасти из-за склонности к дальним миграциям у лугового мотылька не выявляются внутривидовые формы, адаптированные к местным условиям, в первую очередь к сезонно-циклическим изменениям климата. Лабораторные эксперименты с особями этого вида из восточных (Бурятия, Китай) и западных (Краснодарский край, Ростовская обл.) частей ареала, проведенные в Санкт-Петербурге, подтвердили отсутствие значимой вари-

ции параметров фотопериодической реакции (ФПР): значение порога у всех исследованных выборок расположено в интервале между 14 и 15 ч (Аханаев и др., 2013). Отсутствие географической изменчивости ФПР у лугового мотылька можно рассматривать как адаптацию, облегчающую свободные перемещения насекомых в пределах ареала, хотя она и ограничивает территорию, где фенология развития оптимально синхронизирована с местным климатом (Горышин и др., 1980; Саулич и др., 1983). Кроме того, проведенные в 2012 г. исследования полиморфизма лугового мотылька по SNP-локусам гена первой субъединицы митохондриальной цитохромоксидазы *cox1* показали, что несмотря на высокое разнообразие молекулярных гаплотипов, их распределение на широком пространстве Евразии (до 6000 км с востока на запад) статистически однородно (Малыш и др., 2013). Аналогичный вывод (Jiang Xing-Fu et al., 2010a) сделан в результате анализа полиморфизма длины амплифицированных фрагментов ДНК на многочисленных выборках лугового мотылька из 5 провинций Северного Китая. Таким образом, вредитель формирует в ареале структуру поселений, свойственную метапопуляции (Levins, 1969; Hanski, Gilpin, 2008). Поэтому оценки сумм эффективных температур (СЭТ) и критических значений фотопериода, полученные для отдельных популяций лугового мотылька, можно использовать для анализа распределения вредителя в пределах всего ареала.

Время, необходимое для прохождения полного цикла развития лугового мотылька, в первую очередь зависит от СЭТ (Кожанчиков, 1941; Luo Li-Zhi, Li Guang-Bo, 1993). Хотя порог развития не является постоянной величиной на протяжении онтогенеза насекомого (Кожанчиков, 1941), среднее его значение близко к 12 °С. При этом оценки СЭТ при пороге 12 °С, полученные при пересчете данных Кожанчикова (1941) и китайских авторов (Luo Li-Zhi, Li Guang-Bo, 1993), мало отличались друг от друга (см. таблицу).

Расчеты свидетельствуют, что для развития одного поколения в году необходимо 465 °С эффективных температур (в том числе 80 °С — для реализации жизненных функций имаго, 35 °С — для развития яйца, 200 °С — гусеницы, 150 °С — куколки), а для зимующего поколения — 530 °С (дополнительные 65 °С — для развития проницфы).

Для расчета возможного числа поколений (Чп) лугового мотылька использовали формулу:

$$\text{Чп} = ((\text{СЭТ} > 12 \text{ °С}) - 530 \text{ °С}) / 465 \text{ °С} + 1.$$

Число генераций в сезоне зависит не только от температуры, но и от реакции насекомых на изменение длины дня. Основной экологической характеристикой ФПР является ее порог (или критический фотопериод), т. е. длина дня, при которой индуцируется диапауза. В лабораторных условиях за критическую длину дня обычно принимают фотопериод, при котором диапауза формируется у половины особей. Эти критические значения для лугового мотылька приводились в литературе неоднократно, и их оценки весьма близки между собой (Горышин и др., 1980; Саулич и др., 1983; Huang Shao-Hong et al., 2009; Аханаев и др., 2013, и др.). Принципиально важно, что ФПР вредителя мало зависит от температуры (Huang Shao-Hong et al., 2009; Аханаев и др., 2013, и др.). В природных условиях критический фотопериод разделяет сезон на 2 альтернативных этапа: до сокращения дня до критического значения идет активное развитие популяции, а позже начинается формирование диапаузы. В отличие от модельных лабораторных условий выбор критического фотопериода для природных популяций затруднен тем, что после уменьшения длины дня до значения, при котором формируется диапауза у 50 % особей, половина популяции продолжит развитие, и если численность родительского поколения высока, то вполне можно ожи-

**Значения суммы эффективных температур (°С; порог 12 °С)
для прохождения разных стадий онтогенеза, использованные
при районировании ареала лугового мотылька
на территории бывшего СССР по числу возможного числа
генераций за сезон**

Стадия онтогенеза	По: Кожанчиков, 1941	По: Luo Li-Zhi, Li Guang-Bo, 1993	Значения СЭТ, использованные при составлении карты
Куколка	145.8	152.8	150
Имаго	80.0	82.9	80
Яйцо	35.5	35.4	35
Гусеница	166.6	201.2	200
Пронимфа	30.5	60.0	65
Всего	458.4	532.3	530

дать появления большого количества их потомков. Поскольку численность лугового мотылька сильно колеблется по годам, выбор значения критического фотопериода с целью картирования зон с пригодными для развития насекомых условиями зависит от уровня численности популяции. Очевидно, что для определения границ зон устойчивого развития популяции (в том числе и в периоды депрессий, когда луговой мотылек вообще не обнаруживается на значительной части ареала) значение критического фотопериода не должно быть слишком низким, и в качестве такового мы выбрали длину дня, при которой в диапаузу впадает 75 % особей. Отметим, что для определения границы распространения насекомых в периоды вспышек, когда численность взлетающих имаго на 1 шаг не поддается учету, в качестве критической длины дня, вероятно, была бы выбрана такая, при которой бездиапаузно развивается 5 или даже 1 % особей. На основе данных Аханаева с соавт. (2013) нами было вычислено, что 75 % гусениц диапаузирует при длине дня, очень близкой к 14 ч.

Фотопериод рассчитывали как длину дня от восхода до заката с учетом половины гражданских сумерек (Саулич, 1996). Для ГИС анализа и картографирования использовали программные пакеты Idrisi Kilimanjaro и MapInfo 9.0, статистические расчеты проводили в программе Statistica 6. Для расчета СЭТ > 12 °С использовали карты среднемесячных температур из Агроатласа (Афонин и др., 2008) с актуализацией их по периоду метеонаблюдений до 2000 г. Пересчет среднемесячных температур в СЭТ проводили по стандартной процедуре (Кельчевская, 1971). Аридность территории учитывали по карте гидротермического коэффициента Селянинова за вегетационный период (Афонин и др., 2008). Территорию с ГТК менее 0.3 считали непригодной для развития генераций лугового мотылька по показателю аридности. Северная граница распространения лугового мотылька проведена по изолинии СЭТ > 12 °С, составляющей 530 °С.

По результатам проведенного ГИС-анализа на территории бывшего СССР выделено несколько зон, в которых обеспечивается устойчивое развитие за сезон одного, двух, трех или четырех поколений лугового мотылька (рис. 1).

В годы вспышек массового размножения луговой мотылек будет обнаруживаться за пределами обозначенных нами границ устойчивого развития, нанося там существенный вред [см. карты в публикациях Кузнецовой и Чумакова (2008) и Саулич (2009)]. Однако эти поселения будут временными, поскольку климатические условия в этих районах не обеспечивают устойчивого развития насекомого. Для целей своевременного прогнозирования на-

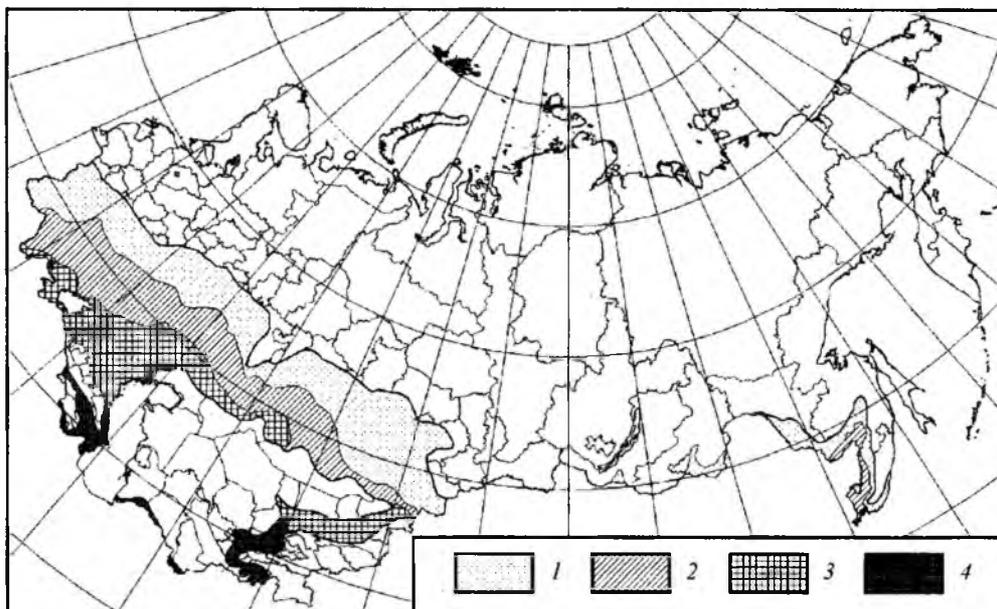


Рис. 1. Области устойчивого развития различного числа поколений лугового мотылька за сезон на территории бывшего СССР, выделенные средствами геоинформационных технологий (проекция Равновеликая Альберса на СССР).

Выделены области развития одного (1), двух (2), трех (3), четырех и более (4) поколений.

чала всплеск размножения мониторинг состояния вредителя следует проводить лишь на территориях, где климатические условия способствуют устойчивому развитию вредителя в течение длительных периодов (Фролов, 2011).

В заключение отметим, что составленная нами карта потенциального числа генераций лугового мотылька в течение сезона на территории России валидирована путем ее сопоставления с аналогичной картой, составленной для Китая (Luo Li-Zhi, Li Guang-Bo, 1993); границы зон развития вредителя в одном и двух поколениях на сопредельных территориях замечательно точно совпали (рис. 2), что свидетельствует о корректности обеих карт. При этом южная граница области с устойчивым развитием в течение сезона четырех и большего числа поколений лугового мотылька на территории бывшего СССР, по всей видимости, нуждается в уточнении, поскольку известно, что высокие зимние температуры снижают выживаемость диапаузирующих гусениц, жизнеспособность и плодовитость имаго как непосредственно (Jiang Xing-Fu et al., 2010b), так и опосредованно, в частности из-за повышенной смертности пронице в коконах от энтомопатогенных гифомицетов (Алехин, 2002). К сожалению, недостаток количественных данных пока не позволяет описать негативное воздействие упомянутых факторов на численность вредителя с помощью ГИС-анализа.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке грантами Российского фонда фундаментальных исследований № 12-04-91174-ГФЕН_a и СПбГУ № 0.37.526.2013.

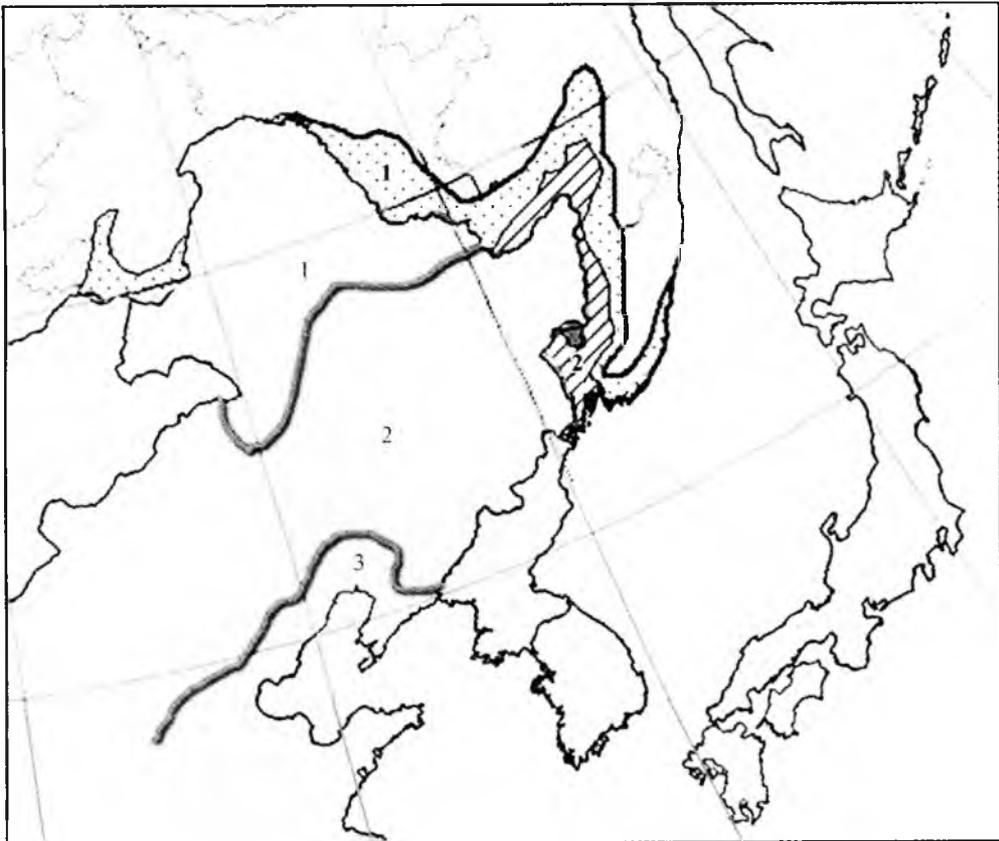


Рис. 2. Стыковка границ областей развития одного и двух поколений лугового мотылька на территориях России и Китая (по: Luo Li-Zhi, Li Guang-Bo, 1993).

Цифрами обозначено число поколений, развитие которых возможно в соответствующей области.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Алехин В. Т. Луговой мотылек // Защита и карантин растений. 2002. № 6. С. 50—71.
- Афонин А. Н., Грин С. Л., Дзюбенко Н. И., Фролов А. Н. (отв. ред.). Агрэкологический атлас России и сопредельных стран: экономически значимые растения, их вредители, болезни и сорные растения [DVD версия]. СПб., 2008. ISBN 978-5-288-05007-7.
- Аханаев Ю. Б., Верим М. Н., Дзян Синьфу, Кучеров Д. А., Луо Личжи, Малыш Ю. М., Резник С. Я., Саулич А. Х., Соболев В. А., Токарев Ю. С., Фролов А. Н., Чжан Лей. Фотопериодическая реакция популяций лугового мотылька *Loxostege sticticalis* L. (Lepidoptera, Pyraloidea: Crambidae) из восточных и западных частей ареала вредителя в Евразии // Энтомологический обзор. 2013. Т. 92, вып. 2. С. 234—240.
- Горышин Н. И., Саулич А. Х., Волкович Т. А., Абдель-Хамид М. А. Роль температуры и фотопериода в регуляции развития и диапаузы лугового мотылька (*Loxostege sticticalis* L.) // Зоол. журн. 1980. Т. 59, вып. 4. С. 533—545.
- Кельчевская Л. С. Методы обработки наблюдений в агроклиматологии. Л.: Гидрометеиздат, 1971. 215 с.
- Кнорр И. Б. Луговой мотылек (*Loxostege sticticalis* L.) в Сибири. Новосибирск, 2011. 196 с.

- Кожанчиков И. В. Распространение и годовичные изменения численности озимой совки и лугового мотылька в связи с условиями тепла и влажности // Зоол. журн. 1941. Т. 20, вып. 1. С. 30—45.
- Кузнецова Т. Л., Чумаков М. А. *Loxostege sticticalis* L. — Луговой мотылек / Афонин А. Н., Грин С. Л., Дзюбенко Н. И., Фролов А. Н. (ред.) // Агроэкологический атлас России и сопредельных стран: экономически значимые растения, их вредители, болезни и сорные растения. 2008, http://www.agroatlas.ru/ru/content/pests/Loxostege_sticticalis/
- Малыш Ю. М., Аханаев Ю. Б., Токарев Ю. С., Игнатьева А. Н., Фролов А. Н. Полиморфизм нуклеотидной последовательности митохондриального гена *cox1* в природных популяциях лугового мотылька // Научное обоснование развития АПК в условиях реформирования. Сб. науч. тр. СПбГАУ, 2013. Ч. 1. С. 78—80.
- Пятницкий Г. К. К вопросам экологии и теории массовых размножений лугового мотылька. Л.: ЦУЕГМС, 1936. 112 с.
- Саулич А. Х. Экспериментальный анализ сезонного развития насекомых и оценка возможности их расселения. Дис. ... д-ра биол. наук. СПб.: Зоол. ин-т РАН, 1996. 362 с.
- Саулич А. Х. Биология и экология лугового мотылька *Loxostege sticticalis* L. (Lepidoptera, Pyraustidae). СПб.: Изд-во СПбГУ, 2009. 68 с.
- Саулич А. Х., Волкович Т. А., Горышин Н. И. Фотопериодический контроль развития лугового мотылька (*Loxostege sticticalis*) в природных условиях // Зоол. журн. 1983. Т. 62, вып. 11. С. 1663—1675.
- Трибель С. А. Луговой мотылек. М.: Агропромиздат, 1989. 64 с.
- Фалькович М. И., Мартин М. О. Сем. Pyraustidae — ширококрылые огневки // Насекомые и клещи — вредители сельскохозяйственных культур. Т. 3, ч. 2. Чешуекрылые. СПб.: Наука, 1999. С. 167—170.
- Фролов А. Н. Современные направления совершенствования прогнозов и мониторинга // Защита и карантин растений. 2011. № 4. С. 15—20.
- Фролов А. Н., Малыш Ю. М., Токарев Ю. С. Особенности биологии и прогнозирования динамики численности лугового мотылька *Pyrausta sticticalis* L. (Lepidoptera, Pyraustidae) в период его низкой численности в Краснодарском крае // Энтомол. обозр. 2008. Т. 87, вып. 2. С. 291—302.
- Фролов А. Н., Саулич М. И., Малыш Ю. М., Токарев Ю. С. Луговой мотылек: цикличность многолетней динамики численности // Защита и карантин растений. 2010. № 2. С. 49—54.
- Hanski I., Gilpin M. Metapopulation dynamics: brief history and conceptual domain // Biol. J. Linnean Soc. 2008. Vol. 42, N 1—2. P. 3—16.
- Huang Shao-Hong, Jiang Xing-Fu, Luo Li-Zhi. Effects of photoperiod and temperature on diapause induction in the beet webworm *Loxostege sticticalis* Linnaeus (Lepidoptera: Pyralidae) // Acta Entomol. Sinica. 2009. Vol. 52, N 3. P. 274—280.
- Jiang Xing-Fu, Cao Wei-Ju, Zhang Lei, Luo Li-Zhi. Beet webworm (Lepidoptera: Pyralidae) migration in China: evidence from genetic markers // Environ. Entomol. 2010a. Vol. 39, N 1. P. 232—242.
- Jiang Xing-Fu, Huang Shao-Hong, Luo Li-Zhi, Liu Yueqiu, Zhang Lei. Diapause termination, post-diapause development and reproduction in the beet webworm, *Loxostege sticticalis* (Lepidoptera: Pyralidae) // J. Insect Physiol. 2010b. Vol. 56, N 9. P. 1325—1331.
- Levins R. Some demographic and genetic consequences of environmental heterogeneity for biological control // Bull. Entomol. Soc. Amer. 1969. Vol. 15, N 3. P. 237—240.
- Luo Li-Zhi, Li Guang-Bo. The threshold temperature, thermal constant and division of generation regions of meadow moth (*Loxostege sticticalis* L.) in China // Acta Entomol. Sinica. 1993. Vol. 36, N 3. P. 332—339.

Санкт-Петербургский государственный университет;
 Всероссийский НИИ защиты растений
 Россельхозакадемии,
 Пушкин—Санкт-Петербург.
 E-mail: andrei.n.frolov@gmail.com

Поступила 28 VI 2013.

SUMMARY

The distribution limits of the beet webworm, *Loxostege sticticalis* L., with its sustainable development in single, two, three, or four successive generations during the season in the former USSR territory were mapped for the first time using routine GIS procedures. The expected number of generations was calculated based on the degree-day accumulations (threshold 12 °C), critical day length value (14 h), and hydrothermal index of Selyaninov (> 0.3). The compiled map was successfully validated by its comparison with that prepared for China (Luo Li-Zhi, Li Guang-Bo, 1993).