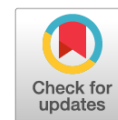


DOI: <https://doi.org/10.17816/ecogen317164>

Научная статья

Экологическая генетика жуков рода *Adalia*: перестройка состава популяций *A. bipunctata* как эффект глобального потепления



И.А. Захаров, А.В. Рубанович

Институт общей генетики им. Н.И. Вавилова РАН, Москва, Россия

Изучена динамика состава популяций *Adalia bipunctata* L. Санкт-Петербурга и Ялты (Крымский полуостров) на протяжении 47 и 32 лет соответственно. Доля черных особей в них снизилась почти в 2 раза. Сопоставление состава популяций с климатическими особенностями мест обитания (средней годовой температурой) показало, что доля черных особей в популяции отрицательно коррелирует со среднегодовой температурой предыдущего года. Наблюдаемое изменение состава географически удаленных популяций является, вероятно, эффектом глобального потепления.

Ключевые слова: *Adalia bipunctata*; меланизм; популяции; температура; глобальное потепление.

Как цитировать:

Захаров И.А., Рубанович А.В. Экологическая генетика жуков рода *Adalia*: перестройка состава популяций *A. bipunctata* как эффект глобального потепления // Экологическая генетика. 2023. Т. 21. № 1. С. 33–39. DOI: <https://doi.org/10.17816/ecogen317164>

DOI: <https://doi.org/10.17816/ecogen317164>
Research Article

Ecological genetics of beetles of the genus *Adalia*: restructuring of *A. bipunctata* populations as a global warming effect

Ilya A. Zakharov, Alexander V. Rubanovich

Institute of General Genetics of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

The dynamics of the composition of the populations of *Adalia bipunctata* L. in St. Petersburg and Yalta (Crimean Peninsula) for 47–32 years has been studied. The proportion of black individuals in them decreased by almost 2 times. Comparison of the composition of populations with climatic features of habitats (average annual temperature) showed that the proportion of black individuals in the population negatively correlates with the average annual temperature of the previous year. The observed change in the composition of geographically remote populations is probably the effect of global warming.

Keywords: *Adalia bipunctata*; melanism; population; temperature; global warming.

To cite this article:

Zakharov IA, Rubanovich AV. Ecological genetics of beetles of the genus *Adalia*: restructuring of *A. bipunctata* populations as a global warming effect. *Ecological genetics*. 2023;21(1):33–39. DOI: <https://doi.org/10.17816/ecogen317164>

Received: 06.03.2023

Accepted: 27.03.2023

Published: 31.03.2023

АКТУАЛЬНОСТЬ

Жуки *Adalia bipunctata* L. (Coleoptera: Coccinellidae) — популярный объект исследований в области экологической генетики благодаря их широкому распространению по территории Евразии и легко учитываемому моногенному полиморфизму. Изучение состава популяций этого вида в связи с экологическими условиями их обитания было начато Я.Я. Лусисом [1], а затем продолжено в ряде европейских стран и в СССР/России [2, 3]. Популяция Ленинграда — Санкт-Петербурга изучается одним из нас (И.А.З.) с 1975 г. Достаточно регулярно проводимые сборы показали существенное снижение к настоящему времени доли черных особей. Аналогичное изменение состава популяции было обнаружено и в Ялте (Крымский п-ов). В настоящем сообщении представлены результаты многолетнего изучения состава популяций Санкт-Петербурга и Ялты, и обосновывается предположение, что главным фактором, вызывающим обнаруженную перестройку популяций, является повышение среднегодовой температуры как результат глобального потепления.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Сбор жуков *A. bipunctata* проводили в Санкт-Петербурге с 1975 г., в Ялте — с 1986 г. Имаго, а также куколок обычно собирали в период активного размножения, в Санкт-Петербурге — в июне-июле, в Ялте — в июне; первый сбор был сделан в Ялте в сентябре, когда были собраны жуки, укрывшиеся в свернутых листьях плодовых деревьев. В Санкт-Петербурге жуков собирали на карагане (*Caragana* sp.), липах (*Tilia* sp.), шиповнике (*Rosa* sp.), в Ялте — на тамариксе (*Tamarix* sp.).

Собранных жуков делили на красных и черных (меланистов). К первым относили морфы *typica* и *anulata*, к черным — морфы *6-pustulata* и *4-maculata*, встречающиеся

в популяциях примерно с одинаковой частотой. Перечисленные морфы имеют следующий генотип: *typica* — *StSt*, *6-pustulata* — *Sp-*, *4-maculata* — *Sm-*. Аллели образуют ряд доминирования: *Sm* > *Sp* > *St*. Редкая морфа *anulata* не показывает в скрещиваниях четкой картины наследования.

Состав популяций сопоставлен с данными о среднегодовой температуре в местах сборов. Последние взяты из баз данных [4, 5]. Поскольку в большинстве случаев собирали жуков в начале лета и в сборах преобладали перезимовавшие особи, было сочтено правильным состав популяций сопоставлять со среднегодовой температурой не года сбора, а предыдущего года.

Для обработки результатов использовали встроенные процедуры пакета Excel.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В Санкт-Петербурге были собраны жуки четырех популяций: ул. Кораблестроителей (западная часть Васильевского острова), университет (восточная часть Васильевского острова, сборы проводили на Университетской набережной и в некоторых случаях во дворе главного здания университета), Петроградская сторона (сборы вдоль Каменноостровского проспекта от Заячьего острова до р. Карповки) и Московский парк Победы. Последняя популяция на юго-западе города удалена от остальных более чем на 8 км и отделена сплошной застройкой. Разделены также две изученные популяции Васильевского острова (расстояние между ними около 5 км).

Результаты сборов представлены в табл. 1–3. В Московском парке Победы в 1975 г. была собрана 281 особь, доля черных среди них 59,1 % (значительно ниже, чем в центральной части города). В 2022 г. здесь было собрано Д.А. Романовым 72 особи, доля черных 38,9 %.

Таблица 1. Состав популяции *Adalia bipunctata* «Петербург — Университет»

Table 1. Composition of the population of *Adalia bipunctata* "Petersburg University"

| Время сбора | Всего жуков | Из них черных особей | % черных особей* |
|-------------|-------------|----------------------|------------------|
| 07.1975 | 340 | 288 | 84,7 (80,4–88,4) |
| 06–08.1982 | 657 | 548 | 83,4 (80,3–86,2) |
| 07.1984 | 213 | 172 | 80,7 (74,8–85,8) |
| 07.1986 | 244 | 200 | 82,0 (76,6–86,6) |
| 06.1988 | 124 | 96 | 77,4 (69,0–84,4) |
| 07.1990 | 451 | 340 | 75,4 (71,1–79,3) |
| 07.1994 | 230 | 163 | 70,9 (64,5–76,7) |
| 06.2001 | 263 | 156 | 59,3 (53,1–65,3) |
| 07.2002 | 620 | 389 | 62,7 (58,8–66,6) |
| 06.2009 | 186 | 89 | 47,8 (40,5–55,3) |
| 06.2010 | 109 | 61 | 56,0 (46,1–65,5) |
| 07.2018 | 270 | 122 | 45,2 (39,2–51,3) |

*В скобках указаны 95 % доверительные интервалы (точный тест Фишера).

Таблица 2. Состав популяции *Adalia bipunctata* «Петербург – ул. Кораблестроителей»**Table 2.** Composition of the population of *Adalia bipunctata* "Petersburg–Korablestroiteley Street"

| Время сбора | Всего жуков | Из них черных особей | % черных особей* |
|-------------|-------------|----------------------|------------------|
| 06.1989 | 128 | 83 | 64,8 (55,9–73,1) |
| 07.1990 | 147 | 114 | 77,6 (69,9–84,0) |
| 07.1994 | 220 | 170 | 77,3 (71,2–82,6) |
| 06.1995 | 114 | 85 | 74,6 (65,5–82,3) |
| 07.1999 | 81 | 68 | 83,9 (74,1–91,2) |
| 07.2004 | 125 | 78 | 62,4 (53,3–70,9) |
| 06.2005 | 109 | 72 | 66,1 (56,4–74,9) |
| 06.2007 | 89 | 69 | 77,5 (67,5–85,7) |
| 06.2010 | 79 | 48 | 60,8 (49,1–71,6) |
| 06.2012 | 168 | 99 | 58,9 (51,1–66,5) |
| 06.2015 | 152 | 80 | 52,6 (44,4–60,8) |
| 06.2018 | 354 | 150 | 42,4 (37,2–47,7) |
| 06.2019 | 59 | 28 | 47,5 (34,3–60,9) |
| 07.2022** | 137 | 75 | 54,7 (46,0–63,3) |

*В скобках указаны 95 % доверительные интервалы (точный тест Фишера). **Сбор Д.А.Романова.

Таблица 3. Состав популяции *Adalia bipunctata* «Петербург – Петроградская сторона»**Table 3.** Composition of the population of *Adalia bipunctata* "Petersburg–Petrogradskaya side"

| Время сбора | Всего жуков | Из них черных особей | % черных особей* |
|-------------|-------------|----------------------|--------------------|
| 08.1987 | 144 | 121 | 84,0 (77,00–89,60) |
| 07.1990 | 267 | 198 | 74,2 (68,47–79,30) |
| 08.1996 | 241 | 185 | 76,8 (70,91–81,94) |
| 07.1997 | 228 | 167 | 73,2 (67,00–78,87) |
| 07.1999 | 341 | 231 | 67,7 (62,50–72,68) |
| 07.2022** | 79 | 42 | 53,2 (41,60–64,49) |

*В скобках указаны 95 % доверительные интервалы (точный тест Фишера). **Сбор Д.А. Романова.

Таблица 4. Состав популяции *Adalia bipunctata* «Ялта»**Table 4.** Composition of the population of *Adalia bipunctata* "Yalta"

| Время сбора | Всего жуков | Из них черных особей | % черных особей* |
|-------------|-------------|----------------------|------------------|
| 09.1986 | 127 | 82 | 64,6 (55,6–72,9) |
| 06.1992 | 130 | 84 | 64,6 (55,8–72,8) |
| 06.1997 | 466 | 280 | 60,1 (55,5–64,6) |
| 06.2017 | 114 | 34 | 29,8 (21,6–39,1) |
| 06.2018 | 85 | 23 | 27,1 (18,0–37,8) |

*В скобках указаны 95 % доверительные интервалы (точный тест Фишера).

Таким образом, во всех представленных здесь петербургских популяциях за время наблюдений произошло значительное снижение доли меланистов. То же самое наблюдается и в Ялте (табл. 4, рис. 1).

Прежде всего, надо убедиться в достоверности снижения в изученных популяциях доли черных особей. Для этого оценивали коэффициенты регрессии между частотой встречаемости и годом наблюдения.

Таблица 5. Корреляции по Пирсону частоты встречаемости черных форм особей с годом наблюдения и среднегодовой температурой**Table 5.** Pearson correlations of the frequency of occurrence of black forms with the year of observation and the average annual temperature (*p*-values in parentheses)

| Популяция | Число временных точек | Корреляция с годом наблюдения | Корреляция со среднегодовой температурой |
|-----------------------------------|-----------------------|-------------------------------|--|
| Петербург – ул. Кораблестроителей | 14 | –0,781 (0,001) | –0,650 (0,012) |
| Петербург – Университет | 12 | –0,976 (6,6E-8) | –0,632 (0,037) |
| Петербург – Петроградская сторона | 6 | –0,951 (0,003) | –0,540 (0,269) |
| Ялта | 5 | –0,981 (0,003) | –0,492 (0,400) |

Примечание. В скобках приведены *p*-значения.

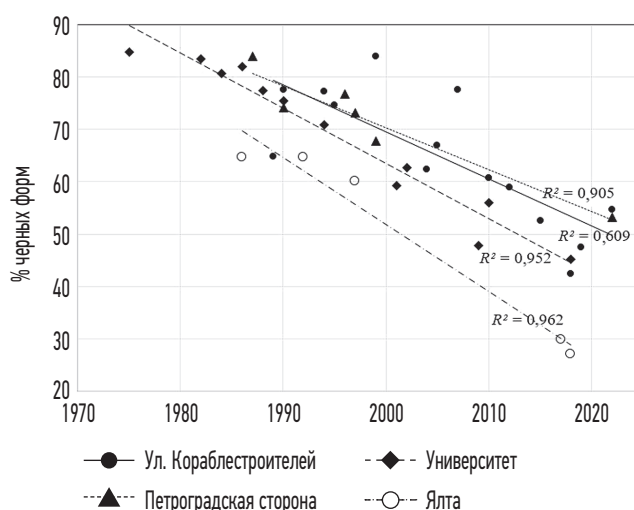
Во всех случаях они были статистически значимы (табл. 5).

Из рисунка видно, что углы регрессий частоты черных форм на год сбора практически не зависят от места сбора. Так, различия углов наклона для популяций Ялты и Университета согласно *Z*-тесту составляют 1,77, *p* = 0,177.

Популяции Санкт-Петербурга и Ялты удалены на 1700 км и существуют в сильно отличающихся климатических и экологических условиях. Кажется вероятным, что одновременное и параллельное снижение доли черных особей в северных (Санкт-Петербург) и в южной популяциях вызвано не локальными изменениями экологических условий, а каким-то глобально действующим фактором. В качестве такового прежде всего можно указать глобальное потепление. Действительно, с 1979 по 2021 г. расчетная среднегодовая температура в Петербурге возросла от 3,5 до 6,2°, а в Ялте от 10,2 до 12,4°. Мы рассчитали корреляцию частоты черных особей в популяциях со среднегодовой температурой предшествующего сборам года (табл. 5). Во всех случаях был получен высокий коэффициент корреляции, который, однако, в случае популяций «Петроградская сторона» и «Ялта» из-за малого числа наблюдений оказался незначимым.

Таким образом, кажется возможным объяснить наблюдаемое в нескольких популяциях снижение доли черных особей повышением среднегодовой температуры. К представленным в настоящей статье наблюдениям можно добавить и результаты изучения состава популяции Берген (Норвегия), где доля меланистов в 1973–1975 гг. составляла 83 %, а в 2017 г. снизилась до 35,7 % [6].

Брейкфилд и Де Йонг представили аналогичные нашим данные по снижению доли черных особей в популяциях Нидерландов [7]. Наблюдения проводились с 1980 по 2004 г. в 16 точках с юга на север, от внутренней части страны до побережья. Вдоль этой трансекты в 1980 г. наблюдалось изменение доли меланистов с 56,2 до 17,8 %. В тех же точках сбора в 2004 г. доли черных особей составляли 21,7 и 22,2 %, то есть различия между «приморскими» и «континентальными» популяциями исчезли, и доля меланистов в первых резко снизилась [7].

**Рисунок.** Зависимость частоты черных особей в популяции от времени сбора**Figure.** Dependence of the frequency of black individuals in the population on the time of collection

Есть по меньшей мере три группы наблюдений, говорящих в пользу сделанного здесь предположения о роли повышения среднегодовой температуры в перестройке состава популяций.

В прямых экспериментах было показано, что черные особи сильнее прогреваются солнечной радиацией, чем красные, и при повышении инсоляции проявляют большую двигательную активность [8, 9].

При изучении ряда популяций в Крыму нами показана зависимость доли черных особей от средней температуры летних месяцев в местах сборов, а именно, чем выше температура летом, в период размножения жуков, тем меньше в популяции черных особей [10]. То же самое было нами обнаружено для популяций Италии [11]. При более высокой окружающей температуре преимущество черных особей перед красными снижается или совсем нивелируется.

Наконец, можно сослаться на старые наблюдения Н.В. Тимофеева-Ресовского над популяцией *A. bipunctata* в пригороде Берлина: на протяжении 10 лет черные особи размножались в летние месяцы более успешно, чем красные [12].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, мы предполагаем, что в стабильных климатических условиях в каждой популяции складывается некое равновесие селективной ценности красных и черных морф *A. bipunctata*, поддерживаемое большим успехом черных особей в размножении в летние месяцы в результате их лучшей прогреваемости солнечной радиацией.

При повышении температуры, которое глобально наблюдается в последние 4 десятилетия, лучшее поглощение тепла черными особями перестает быть критическим и меланисты теряют свое преимущество перед красными морфами, что ведет к перестройке состава популяции — к снижению доли первых. Необходимы дальнейшие многолетние наблюдения, которые покажут, до какого нового равновесного состояния будет идти описанный здесь процесс изменения состава изучаемых популяций.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Благодарность. Авторы выражают свою признательность Д.А. Романову, предоставившему свои сборы 2022 г.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лусис Я.Я. О биологическом значении полиморфизма окраски у двуточечной коровки *Adalia bipunctata* L. // Latv Entomologs. 1961. № 4. С. 3–29.
2. Majerus M.E.N. *Melanism. Evolution in action*. Oxford: Oxford University Press, 1998. 338 p.
3. Захаров И.А. Индустриальный меланизм и его динамика в популяциях двуточечной божьей коровки *Adalia bipunctata* L. // Успехи современной биологии. 2003. Т. 123, № 1. С. 3–15.
4. meteoblue.com [Электронный ресурс]. Погода. Санкт-Петербург [дата обращения: 20.04.2023]. Доступ по ссылке: <https://www.meteoblue.com/ru>
5. pogodaiklimat.ru [Электронный ресурс]. Погода и климат [дата обращения: 20.04.2023]. Доступ по ссылке: <http://www.pogodaiklimat.ru>
6. Захаров И.А., Рубанович А.В. Экологическая генетика жуков рода *Adalia*: популяции *A. bipunctata* Норвегии и Кольского полуострова // Экологическая генетика. 2018. Т. 16, № 1. С. 49–52. DOI: 10.17816/ecogen16149–52
7. Brakefield P.M., de Jong P.W. A steep cline in ladybird melanism has decayed over 25 years: a genetic response to climate change? // Heredity. 2011. Vol. 107. P. 574–578. DOI: 10.1038/hdy.2011.49

REFERENCES

1. Lusis YaYa. O biologicheskom znachenii polimorfizma okraski u dvutochechnoi korovki *Adalia bipunctata* L. *Latv Entomologs*. 1961;(4):3–29. (In Russ.)
2. Majerus MEN. *Melanism. Evolution in action*. Oxford: Oxford University Press, 1998. 338 p.
3. Zakharov IA. Industrial melanism and its dynamics in populations of the two-spot ladybird *Adalia bipunc-*

Влад авторов. Все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией.

Источник финансирования. Работа была выполнена при финансовой поддержке Российского научного фонда (грант № 22-24-00435).

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

ADDITIONAL INFORMATION

Acknowledgments. The authors express their gratitude to D.A. Romanov, who provided his collecting materials for 2022.

Author contribution. Thereby, all authors made a substantial contribution to the conception of the study, acquisition, analysis, interpretation of data for the work, drafting and revising the article, final approval of the version to be published and agree to be accountable for all aspects of the study. Contribution of each author:

Funding source. This work was supported by the with the financial support of the Russian Science Foundation (No. 22-24-00435).

Competing interests. The authors declare that they have no competing interests.

8. Brakefield P.M., Willmer P.G. The basis of thermal melanism in the ladybird *Adalia bipunctata*: Differences in reflectance and thermal properties between the morphs // Heredity. 1985. Vol. 54. P. 9–14. DOI: 10.1038/hdy.1985.3
9. De Jong P.W., Gussekloo S.W.S., Brakefield P.M. Differences in thermal balance, body temperature and activity between non-melanic and melanic twospot ladybird beetles (*Adalia bipunctata*) under controlled conditions // J Exp Biol. 1996. Vol. 199, No. 12. P. 2655–2666. DOI: 10.1242/jeb.199.12.2655
10. Захаров И.А., Рубанович А.В. Экологическая генетика жуков рода *Adalia*: состав крымских популяций *A. bipunctata* зависит от климатических факторов // Экологическая генетика. 2018. Т. 16, № 1. С. 45–48. DOI: 10.17816/ecogen16145–48
11. Захаров И.А., Рубанович А.В. Экологическая генетика жуков рода *Adalia*: зависимость состава популяций *A. bipunctata* Италии, но не Франции, от климатических факторов // Экологическая генетика. 2020. Т. 18, № 3. С. 289–292. DOI: 10.17816/ecogen18669
12. Timofeeff-Ressovsky N.V. Zur Analyse des Polymorphismus bei *Adalia bipunctata* L. // Biologisches Zentrblatt. 1940. Vol. 60. P. 130–137.

tata L. *Uspekhi sovremennoi biologii*. 2003;123(1): 3–15. (In Russ.)

4. meteoblue.com [Internet]. Pogoda. Sankt-Peterburg [cited 2023 April 19]. Available at: <https://www.meteoblue.com/ru> (In Russ.)
5. pogodaiklimat.ru [Internet]. Pogoda i klimat [cited 2023 April 19]. Available at: <http://www.pogodaiklimat.ru> (In Russ.)

6. Zakharov IA, Rubanovich AV. Ecological genetics of beetles of the genus *Adalia*: populations of *A. bipunctata* of Norway and Kola Peninsula. *Ecological genetics*. 2018;16(1):49–52. (In Russ.) DOI: 10.17816/ecogen16149-52
7. Brakefield PM, de Jong PW. A steep cline in ladybird melanism has decayed over 25 years: a genetic response to climate change? *Heredity*. 2011;107:574–578. DOI: 10.1038/hdy.2011.49
8. Brakefield PM, Willmer PG. The basis of thermal melanism in the ladybird *Adalia bipunctata*: Differences in reflectance and thermal properties between the morphs. *Heredity*. 1985;54:9–14. DOI: 10.1038/hdy.1985.3
9. De Jong PW, Gussekloo SWS, Brakefield PM. Differences in thermal balance, body temperature and activity between non-melanic and melanic twospot ladybird beetles (*Adalia bipunctata*) under controlled conditions. *J Exp Biol*. 1996;199(12):2655–2666. DOI: 10.1242/jeb.199.12.2655
10. Zakharov IA, Rubanovich AV. Ecological genetics of beetles of the genus *Adalia*: population structure of *A. bipunctata* of the Crimea depends on climatic factors. *Ecological genetics*. 2018;16(1):45–48. (In Russ.) DOI: 10.17816/ecogen16145-48
11. Zakharov IA, Rubanovich AV. Ecological genetics of beetles of the genus *Adalia*: composition of *A. bipunctata* populations from Italy but not France depends on climatic factors. *Ecological genetics*. 2020;18(3):289–292. (In Russ.) DOI: 10.17816/ecogen18669
12. Timofeeff-Ressovsky NV. Zur Analyse des Polymorphismus bei *Adalia bipunctata* L. *Biologisches Zentrblatt*. 1940;60:130–137. (In Germ.)

ОБ АВТОРАХ

***Илья Артемьевич Захаров**, д-р биол. наук, профессор, чл.-корр. РАН; адрес: Россия, 119991, ГСП-1, Москва, ул. Губкина, д. 3; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7779-1969>; Scopus Author ID: 7202049481. E-mail: zakharov@vigg.ru

Александр Владимирович Рубанович, д-р биол. наук; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1251-8806>; Scopus Author ID: 7004237387; eLibrary SPIN: 2941-6237; e-mail: rubanovich@vigg.ru

AUTHORS' INFO

Ilya A. Zakharov, Dr. Sci. (Biol.), professor, Corresponding member of the Russian Academy of Sciences; address: 3 Gubkina st., Moscow, 119991, Russia; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7779-1969>; Scopus Author ID: 7202049481. E-mail: zakharov@vigg.ru

Alexander V. Rubanovich, Dr. Sci. (Biol.); ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1251-8806>; Scopus Author ID: 7004237387; eLibrary SPIN: 2941-6237; e-mail: rubanovich@vigg.ru

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author