

ISSN 1561-8323 (Print)
ISSN 2524-2431 (Online)

УДК 577.472
<https://doi.org/10.29235/1561-8323-2024-68-1-55-60>

Поступило в редакцию 14.04.2023
Received 14.04.2023

В. И. Разлуцкий

*Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по биоресурсам,
Минск, Республика Беларусь*

ОЦЕНКА МИГРАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ В ПОПУЛЯЦИЯХ ВЕТВИСТОУСЫХ РАКООБРАЗНЫХ (CLADOCERA)

(Представлено членом-корреспондентом В. П. Семенченко)

Аннотация. Изменение численности популяции (r) в локальном местообитании определяется соотношением между рождаемостью и смертностью, а также миграционными процессами. В естественных популяциях, включая Cladocera, r определяется как разность логарифмов ее величин, наблюдающихся в конце и начале интервала времени. При таком способе оценки миграционные процессы уже включены в конечную величину численности. Врожденная скорость изменения численности (r_{\max}) может быть определена по данным о возрастной смертности и плодовитости методом таблиц жизни. Между r_{\max} , временем начала репродукции (D_{repr}) и средней плодовитостью самок за период репродукции (mean_m_x) обнаружена тесная связь ($R^2 = 0,867$). Величина D_{repr} установлена для большинства Cladocera, аналог mean_m_x легко определяется в их естественных популяциях, что позволяет оценить возможную скорость изменения численности (r_{calc}). Разница между r и r_{calc} может быть использована для оценки миграционных процессов. Если эта разница положительная, значит из популяции идет эмиграция особей, если отрицательная – приток иммигрантов.

Ключевые слова: Cladocera, эксперименты таблиц жизни, скорость изменения численности популяции, миграционные процессы

Для цитирования. Разлуцкий, В. И. Оценка миграционных процессов в популяциях ветвистоусых ракообразных (Cladocera) / В. И. Разлуцкий // Докл. Нац. акад. наук Беларуси. – 2024. – Т. 68, № 1. – С. 55–60. <https://doi.org/10.29235/1561-8323-2024-68-1-55-60>

Vladimir I. Razlutskiy

Scientific and Practical Center of the National Academy of Sciences of Belarus for Bioresources, Minsk, Republic of Belarus

EVOLUTION OF MIGRATION PROCESSES IN CLADOCERA POPULATIONS

(Communicated by Corresponding Member Vitaly P. Semchenko)

Abstract. An intrinsic rate of population increase (r) in a local habitat is determined by the birth-to-death ratio and by migration processes. In natural populations, including Cladocera, r is estimated as the logarithm difference of population densities at the end and at the beginning of time interval. Under this method of evaluation, migration processes are already included in the final population density. A realized intrinsic rate of population increase (r_{\max}) can be determined from the data on age-related mortality and fecundity by the life table method. The high regression relation ($R^2 = 0.867$) was found between r_{\max} , the first time of reproduction (D_{repr}) and mean fecundity during the reproduction period (mean_m_x). D_{repr} is known for most of Cladocera, the mean_m_x analog can be easily determined in their natural populations; these parameters can be used to evaluate a possible intrinsic rate of population increase (r_{calc}). The differences between r and r_{calc} can be used to evaluate migration processes. If these differences are positive, then individuals are emigrating from the population, if they are negative, then there occurs the influx of immigrants.

Keywords: Cladocera, life table experiments, intrinsic rate of population increase, migration processes

For citation. Razlutskiy V. I. Evolution of migration processes in Cladocera populations. *Doklady Natsional'noi akademii nauk Belarusi = Doklady of the National Academy of Sciences of Belarus*, 2024, vol. 68, no. 1, pp. 55–60 (in Russian). <https://doi.org/10.29235/1561-8323-2024-68-1-55-60>

Введение. Изменение численности любой популяции в локальном местообитании определяется соотношением поступления новых особей за счет рождаемости и их убыли за счет смертности, а также миграционными процессами, т. е. дополнительным поступлением извне,

или перемещением в другие местообитания. Для зоопланктона применяются методы для оценки рождаемости и смертности. Наиболее точно рождаемость оценивается по формуле Палохеймо [1–3]. Смертность рассчитывается по разности между рождаемостью и скоростью изменения численности популяции. При оценке последней возникают наибольшие ошибки вследствие высокой вариабельности численности различных видов кладоцер в отдельных повторностях отбора проб и в различных участках акватории водоемов, а также дополнительного поступления особей из покоящихся стадий¹. В случае дополнительного притока особей наблюдается такое явление как «отрицательная смертность», когда скорость изменения численности превышает рождаемость. В естественных популяциях удельная скорость изменения численности определяется как разность логарифма ее величины, наблюдающейся в конце и начале интервала времени:

$$r = (\ln(N_t) - \ln(N_0)) / t. \quad (1)$$

Но при таком способе оценки количество иммигрантов уже включено в N_t . Есть другой способ оценки изменения численности и других параметров популяции при определенных условиях – метод таблиц жизни [4]. Он широко применяется и для изучения различных аспектов жизненного цикла и демографических процессов в популяциях ветвистоусых ракообразных, влияния на популяционные характеристики различных факторов, конкурентных отношений между видами и т. д. [5–10]. Определив скорость изменения численности таким способом ее можно использовать для оценки миграционных процессов, сравнивая с величинами, рассчитанными по разности величин численности в начале и конце интервала времени (1). Если эта разница положительная, то из популяции идет эмиграция особей, если отрицательная – приток иммигрантов.

Материалы и методы исследования. Удельное изменение численности популяции описывается уравнением

$$r(t) = b(t) - d(t) + i(t) - e(t), \quad (2)$$

где b , d , i и e – удельные рождаемость, смертность, иммиграция и эмиграция соответственно.

Данные таблиц жизни позволяют оценить различные демографические характеристики, в том числе и скорость изменения численности (r_{\max}) при данной возрастной плодовитости и смертности по уравнению Эйлера:

$$\sum_x l_x m_x e^{-rx} = 1, \quad (3)$$

где x – возраст; e – основание натурального логарифма.

В течение сезона вегетации популяции Cladocera представлены практически только партеногенетическими самками, которые в течение жизни продуцируют несколько пометов молоди. Величины r_{\max} определяются в основном временем начала репродукции и размером первых пометов молоди [5; 11]. В естественных условиях легко установить популяционную плодовитость, которая представляет собой отношения количества яиц у самок определенного вида к их численности. Этот показатель практически является аналогом усредненной величины m_x из уравнения Эйлера. В естественных водоемах маловероятно, что самки кладоцер доживают до естественной смерти из-за пресса визуальных хищников, направленного на избирательное потребление наиболее крупных и заметных (с кладками яиц) особей [12]. Время начала репродукции установлено для многих видов в различных экспериментальных исследованиях [11] и для ее определения требуется значительно меньше времени, чем для проведения экспериментов таблиц жизни на протяжении всего жизненного цикла. Продолжительность жизни у кладоцер может составлять от нескольких дней до 1–2 месяцев. Учитывая выше сказанное, можно предполагать наличие связи врожденной скорости изменения численности кладоцер с такими параметрами, как время начала репродукции ($D_{\text{репр}}$) и величина средней плодовитости самок за период репродукции

¹Разлуцкий В. И. Оценка динамических характеристик Cladocera и их связь с факторами среды: автореф. дис. ... канд. биол. наук. Минск, 1995. – 20 с.

(mean_m_x) в экспериментах методом таблиц жизни. При наличии такой связи используя аналогичные показатели популяций кладоцер в природных водоемах можно рассчитывать скорость изменения численности популяции в естественных условиях.

Для установления связи между врожденной скоростью изменения численности (r_{max}) и средней величиной возрастной плодовитости (mean_m_x) использовались собственные и опубликованные данные таблиц жизни Cladocera. Все эксперименты, собственные и других исследователей, проводились согласно стандартной методике. Одновозрастную молодь, полученную от самок из лабораторных культур, или из естественных условий, рассаживали в индивидуальные емкости, и содержали при определенных условиях до момента естественной гибели. В качестве пищи в собственных экспериментах использовались различные концентрации монокультур *Chlorella vulgaris*, гидролизных дрожжей и естественный фитопланктон из озер Северный Волосо, Обстерно, Горушка (Браславский р-н, Витебская обл.). В исследованиях других авторов в качестве корма в основном использовались *Chlorella* sp. и *Scenedesmus* sp., в экспериментах на *Moina macrocopa* – настоем навоза. Воду с определенной концентрацией водорослей или свежую озерную воду меняли ежедневно, фиксируя количество погибших самок и количество рожденной молодежи.

Врожденную скорость изменения численности (r_{max}) определяли по (3). Mean_m_x рассчитывали делением количества рожденной молодежи (gross reproductive rate, $\sum m_x$), которое представляет собой среднее количество потомков, произведенных самками в течение жизни, на продолжительность периода репродукции (D_{repr}). Величину D_{repr} определяли как промежуток времени между первым и последним размножением.

Связь между r_{max} с D_{repr} , mean_m_x оценивали с помощью множественного регрессионного анализа. Для оценки уместности модели линейной регрессии использовали остаточный анализ. Статистический анализ проводили в программе Sigma Stat версия 3.5.

Полученное регрессионное уравнение использовали для оценки скорости изменения численности естественных популяций кладоцер *Diaphanosoma brachyurum*, *Daphnia cucullata*, *D. cristata*. Ранее эти данные были использованы для оценки рождаемости и поступления в популяции этих и других видов кладоцер иммигрантов из других частей акватории водоема и из покоящихся яиц [2]. Эти методы основаны на том, что самки кладоцер имеют одинаковые размеры в течение периода развития кладки (до линьки, когда происходит отрождение молодежи) и стадия развития яиц может служить в качестве маркера.

Величины r , рассчитанные по полученному регрессионному уравнению (6) для естественных популяций, также могут быть использованы для оценки поступления иммигрантов и оттока эмигрантов. По уравнению (6) величина r_{calc} соответствует максимальной скорости изменения численности, возможной при наблюдающейся плодовитости и возрасте первого размножения. Таким образом, оценивая различия между наблюдаемым изменением численности, рассчитанным по уравнениям (2) и (5), можно оценить иммиграцию и эмиграцию. Количество иммигрантов (I) можно оценить по уравнению

$$I = i(N_t - N_0) / r, \quad (4)$$

а количество эмигрантов по аналогичному уравнению

$$E = e(N_t - N_0) / r. \quad (5)$$

Результаты и их обсуждение. Для получения регрессионного уравнения были использованы данные 98 наблюдений (например, [7–9; 13–18]), из них 62 собственные экспериментальные данные. Последние получены для следующих видов: *Sida crystallina*, *Simocephalus vetulus*, *Diaphanosoma brachyurum*, *Daphnia cucullata*, *D. longispina*, *D. carinata*, *Ceriodaphnia reticulata*, *C. pulchella*. Из литературы были привлечены данные для *Ceriodaphnia dubia*, *Simocephalus exspinosus*, *S. serrulatus*, *S. mixtus*, *Moina macrocopa*, *M. mongolica*, *M. irrasa*, *Macrothrix triserialis*, *Alona rectangularis*. Исследования проводились как при постоянных температурах в диапазоне от 5 до 35 °С с интервалом 5 °С, так и при естественных температурах, варьирувавших от 10 до 35 °С в период проведения исследований. Среди анализируемых данных величина r_{max} варьировала от –0,282 до 1,825 в день (рисунок), mean_m_x от 0,1 до 33,14 потомков/самку и D_{repr} от 0,9 до 23,14 суток.

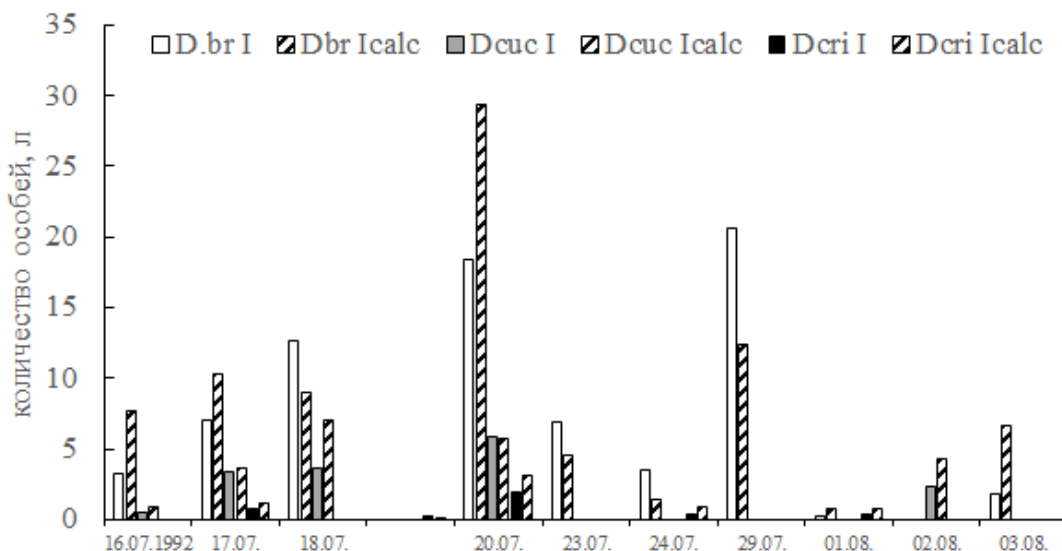
Таким образом, использовались данные для довольно большого количества видов кладоцер, относящихся к разным таксономическим группам, характерных для литоральных и пелагических местообитаний, в широком диапазоне температур и с широким диапазоном анализируемых параметров. Проведенный множественный регрессионный анализ позволил найти очень тесную связь r_{calc} с логарифмом десятичных величин D_{repr} и mean_m_x , которая описывается уравнением

$$r_{\text{calc}} = 0,9466 + (-0,9117D_{\text{repr}}) + 0,3029\text{mean}_m_x. \quad (6)$$

Коэффициент корреляции наблюдаемых и рассчитанных по данному уравнению величин составляет $R = 0,9311$; $R^2 = 0,8670$; скорректированный $R^2 = 0,8642$; $F(2,95) = 309,62$, $p < 0,0000$; стандартная ошибка 0,1103. Остатки модели (разница между действительными и расчетными величинами) соответствуют нормальному распределению ($\chi^2 = 0,62$, $p = 0,733$), следовательно, выполняются необходимые допущения для полученной регрессии.

Демографические характеристики, полученные при расчете скорости изменения численности по (1) и по регрессионному уравнению (6), существенно различаются. При традиционном расчете r наблюдаются отрицательные величины смертности, что объясняется несоответствующим рождаемости увеличением удельной скорости изменения численности. При расчете r_{calc} по (6) в ряде случаев ее величины являются отрицательными, что объясняется низкими величинами яйцевого отношения (E_0 / N_0), наблюдавшимися в этот период, особенно у *D. brachyurum*. Применение нового метода позволяет избежать отрицательной смертности, которая возникает в результате притока иммигрантов и неоправданно высоких величин удельного роста численности популяции. Также наблюдается и обратный процесс: эмиграция особей из популяции, что приводит к завышенным величинам смертности (таблица).

Применение метода оценки иммиграции с использованием размерной структуры самок и возрастной структуры кладок (4) позволяет в определенной степени прямо и логически не противоречиво оценивать количество иммигрантов в популяциях кладоцер. Сравнение показывает, что оценки количества иммигрантов в популяциях трех видов *D. brachyurum*, *Daphnia cucullata* и *D. cristata*, полученные разными методами, оказались достаточно близкими. Кроме того количество иммигрантов в популяции *D. brachyurum* и двух других видов тесно положительно коррелируют ($R = 0,56$ и $0,68$ соответственно, $p < 0,05$). Это свидетельствует о том, что поступление иммигрантов в популяции разных видов вызвано сходными причинами, вероятно, ветровым



Количество иммигрировавших особей в популяциях *Diaphanosoma brachyurum* (D. br), *Daphnia cucullata* (D. cuc) и *D. cristata* (D. cri), рассчитанное разными методами (I – при расчете r по (2), I_{calc} – при расчете r_{calc} по (6))

The numbers of immigrants in the populations of *Diaphanosoma brachyurum* (D. br), *Daphnia cucullata* (D. cuc) and *D. cristata* (D. cri) calculated by different methods (I obtained with use the formula (2) to calculate r , I_{calc} – with use the formula (6) to calculate r_{calc})

Демографические характеристики *Diaphanosoma brachyurum* (D. br) и *Bosmina crassicornis* (B. cr), полученные при расчете скорости изменения численности по (1) (r) и (6) (r_{calc}) для популяций этих видов в оз. Обстерно в 1992 г. Отрицательные величины в последнем столбце – удельная скорость поступления иммигрантов (i), положительные – удельная скорость убыли эмигрантов (e)

Demographic characteristics of *Diaphanosoma brachyurum* (D. br) and *Bosmina crassicornis* (B. cr) obtained when intrinsic rate of increase calculated by (1) (r) and (6) (r_{calc}) for there species in Lake Obsterno at 1992. Negative values in the last column are intrinsic rate of immigration (i), positive values are intrinsic rate of emigration (e)

| Дата, вид | E_0 / N_0 | 1 размножение, сут | b , сут ⁻¹ | r , сут ⁻¹ | d , сут ⁻¹ | r_{calc} , сут ⁻¹ | d_{calc} , сут ⁻¹ | i или e |
|--------------|-------------|--------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|--------------------------------|--------------------------------|---------|
| 20.07, D. br | 0,056 | 7 | 0,054 | -0,670 | 0,804 | -0,068 | 0,201 | 0,603 |
| 21.07, D. br | 0,133 | 7 | 0,125 | 1,258 | -1,204 | -0,188 | 0,242 | -1,446 |
| 22.07, D. br | 0,002 | 6 | 0,002 | -0,406 | 0,531 | -0,077 | 0,202 | 0,329 |
| 23.07, D. br | 0,247 | 6 | 0,220 | -0,664 | 0,665 | -0,569 | 0,571 | 0,095 |
| 24.07, D. br | 0,152 | 6 | 0,142 | 0,368 | -0,148 | 0,064 | 0,156 | -0,304 |
| 29.07, D. br | 0,177 | 7 | 0,163 | 0,080 | 0,062 | 0,003 | 0,139 | -0,077 |
| 15.07, B. cr | 1,585 | 7 | 0,950 | 0,302 | 0,648 | 0,239 | 0,711 | -0,063 |
| 16.07, B. cr | 0,333 | 7 | 0,287 | 1,160 | -0,873 | 0,040 | 0,247 | -1,120 |
| 17.07, B. cr | 0,044 | 7 | 0,043 | 1,221 | -1,178 | -0,219 | 0,262 | -1,440 |
| 18.07, B. cr | 0,061 | 7 | 0,060 | -2,054 | 2,114 | -0,176 | 0,235 | 1,879 |

перемещением водных масс. Такой вывод был сделан на основании анализа этих данных использовавшимся ранее методом¹.

Закключение. Таким образом, обнаружена тесная регрессионная связь максимальной удельной скорости изменения численности кладоцер со средней плодовитостью самок за репродуктивный период и началом воспроизводства, полученных методом таблиц жизни. Полученное регрессионное уравнение позволяет оценивать скорость изменения численности естественных популяций кладоцер, используя аналогичные популяционные показатели, такие как популяционная плодовитость (отношение количества яиц и эмбрионов к численности особей) и начало репродукции. Использование данного метода позволяет избежать отрицательных оценок смертности и оценивать миграционные процессы в популяциях кладоцер. Применение предложенного подхода вполне пригодно и для других групп зоопланктона.

Благодарности. Работа выполнена при финансовой поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований (грант Б23-012).

Acknowledgements. The work has been sponsored by the Belarusian Republican Foundation for Fundamental Research (Grant Б23-012).

Список использованных источников

1. Полищук, Л. В. Динамические характеристики популяций планктонных животных / Л. В. Полищук. – М., 1986. – 128 с.
2. Razlutskiy, V. I. Estimating cladoceran birth rate: use of the egg age distribution to estimate mortality of ovigerous females and eggs / V. I. Razlutskiy // *Hydrobiologia*. – 2000. – Vol. 428. – P. 135–144. <https://doi.org/10.1023/a:1003915431746>
3. Paloheimo, J. E. Calculation of instantaneous birth rate / J. E. Paloheimo // *Limnol. and Oceanogr.* – 1974. – Vol. 19, N 4. – P. 692–694. <https://doi.org/10.4319/lo.1974.19.4.0692>
4. Пианка, Э. Эволюционная экология / Э. Пианка. – М., 1981. – 399 с.
5. Orcutt, J. D., jr. Diel vertical migration by zooplankton. Constant and fluctuating temperature effects on the life history parameters of *Daphnia* / J. D. Orcutt, jr, K. G. Porter // *Limnol. Oceanogr.* – 1983. – Vol. 28, N 4. – P. 720–730. <https://doi.org/10.4319/lo.1983.28.4.0720>
6. Porter, K. G. Functional response and fitness in a generalist filter feeder, *daphnia magna* (cladocera: crustacea) / K. G. Porter, J. D. Orcutt, J. Gerritsen // *Ecology*. – 1983. – Vol. 64, N 4. – P. 735–742. <https://doi.org/10.2307/1937196>
7. Семенченко, В. П. Ранжирование планктонных ракообразных в градиенте концентраций пищи / В. П. Семенченко // Докл. Акад. наук СССР. – 1991. – Т. 316, № 6. – С. 1505–1508.
8. Разлуцкий, В. И. Влияние трофических условий на скорость биологических процессов у *Moina macroscopa* Straus и *M. rectirostris* Leydig / В. И. Разлуцкий // *Гидробиол. журн.* – 1992. – Т. 28, № 1. – С. 53–59.
9. Sarma, S. S. S. Life history strategies of cladocerans: comparisons of tropical and temperate taxa / S. S. S. Sarma, S. Nandini, R. D. Gulati // *Hydrobiologia*. – 2005. – Vol. 542. – P. 315–333. <https://doi.org/10.1007/s10750-004-3247-2>
10. Allelopathic interactions between the macrophyte *Egeria densa* and plankton alga (*Scenedesmus acutus* and cladocerans, *Simocephalus* spp.): a laboratory study / C. A. Espinosa-Rodríguez [et al.] // *J. Limnol.* – 2016. – Vol. 75. – P. 151–160. <https://doi.org/10.4081/jlimnol.2016.1397>

¹ Разлуцкий В. И. Оценка динамических характеристик Cladocera и их связь с факторами среды: автореф. дис. ... канд. биол. наук. Минск, 1995. – 20 с.

11. Lynch, M. The evolution of cladoceran life histories / M. Lynch // *Quart. Rev. Biol.* – 1980. – Vol. 55, N 1. – P. 23–42. <https://doi.org/10.1086/411614>
12. Brooks, J. Predation, body size and composition of plankton / J. Brooks, S. Dodson // *Science.* – 1965. – Vol. 150, N 3692. – P. 28–35. <https://doi.org/10.1126/science.150.3692.28>
13. Boersma, M. Food effects on life history traits and seasonal dynamics of *Ceriodaphnia pulchella* / M. Boersma, J. Vijverberg // *Freshwater Biology.* – 1996. – Vol. 35, N 1. – P. 25–34. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2427.1996.00478.x>
14. Deng, D. Effect of food and temperature on the growth and development of *Moina irrasa* (Cladocera: Moinidae) / D. Deng, P. Xie // *J. Freshwater Ecology.* – 2003. – Vol. 18, N 4. – P. 503–513. <https://doi.org/10.1080/02705060.2003.9663991>
15. Goulden, C. E. Body size, energy reserves and competitive ability in three species of Cladocera / C. E. Goulden, L. L. Henry, A. J. Tessier // *Ecol.* – 1982. – Vol. 63, N 6. – P. 1780–1789. <https://doi.org/10.2307/1940120>
16. Muro-Cruz, G. Comparative life table demography and population growth of *Alona rectangula* and *Macrothrix triserialis* (Cladocera: Crustacea) in relation to algal (*Chlorella vulgaris*) food density / G. Muro-Cruz, S. Nandini, S. S. S. Sarma // *J. Freshwater Ecology.* – 2002. – Vol. 17, N 1. – P. 1–11. <https://doi.org/10.1080/02705060.2002.9663862>
17. Nandini, S. S. Lifetable demography of four cladoceran species in relation to algal food (*Chlorella vulgaris*) density / S. Nandini, S. S. S. Sarma // *Hydrobiologia.* – 2000. – Vol. 435. – P. 117–126. <https://doi.org/10.1023/a:1004021124098>
18. Ramos-Jiliberto, R. Between-species differences in demographic responses to temperature of coexisting cladocerans / R. Ramos-Jiliberto, A. Aránguiz-Acuña // *Austral Ecology.* – 2007. – Vol. 32, N 7. – P. 766–774. <https://doi.org/10.1111/j.1442-9993.2007.01758.x>

References

1. Polishchuk L. V. *Dynamic parameters of plankton animal populations.* Moscow, 1986. 128 p. (in Russian).
2. Razlutskiy V. I. Estimating cladoceran birth rate: use of the egg age distribution to estimate mortality of ovigerous females and eggs. *Hydrobiologia*, 2000, vol. 428, pp. 135–144. <https://doi.org/10.1023/a:1003915431746>
3. Paloheimo J. E. Calculation of instantaneous birth rate. *Limnology and Oceanography*, 1974, vol. 19, no. 4, pp. 692–694. <https://doi.org/10.4319/lo.1974.19.4.0692>
4. Pianka E. R. *Evolutionary ecology.* New York, 1973.
5. Orcut J. D., jr., Porter K. G. Diel vertical migration by zooplankton. Constant and fluctuating temperature effects on life history parameters of *Daphnia*. *Limnology and Oceanography*, 1983, vol. 28, no. 4, pp. 720–730. <https://doi.org/10.4319/lo.1983.28.4.0720>
6. Porter K. G., Orcut J. D., jr., Gerritsen J. Functional response and fitness in a generalist filter feeder, *daphnia magna* (Cladocera: Crustacea). *Ecology*, 1983, vol. 64, no. 4, pp. 735–742. <https://doi.org/10.2307/1937196>
7. Semenchenko V. P. Ranking of planktonic crustaceans in a food concentration gradient. *Doklady Akademii nauk SSSR = Reports of Academy of Sciences of USSR*, 1991, vol. 316, no. 6, pp. 1505–1508 (in Russian).
8. Razlutskiy V. I. Influence of trophic conditions on the rate of biological processes of *Moina macrocopa* Straus и *M. recirostris* Leydig. *Gidrobiologicheskij zhurnal = Hydrobiological Journal*, 1992, vol. 28, no. 1, pp. 53–59 (in Russian).
9. Sarma S. S. S., Nandini S., Gulati R. D. Life history strategies of cladocerans: comparisons of tropical and temperate taxa. *Hydrobiologia*, 2005, vol. 542, pp. 315–333. <https://doi.org/10.1007/s10750-004-3247-2>
10. Espinosa-Rodríguez C. A., Rivera-De la Parra L., Martínez-Téllez A., Gomez-Cabral Gisela C., Sarma S. S. S., Nandini S. Allelopathic interactions between the macrophyte *Egeria densa* and plankton alga *Scenedesmus acutus* and cladocerans, *Simocephalus* spp.: a laboratory study. *Journal of Limnology*, 2016, vol. 75, pp. 151–160. <https://doi.org/10.4081/jlimnol.2016.1397>
11. Lynch M. The evolution of cladoceran life histories. *The Quarterly Review of Biology*, 1980, vol. 55, no. 1, pp. 23–42. <https://doi.org/10.1086/411614>
12. Brooks J. L., Dodson S. I. Predation, body size and composition of plankton. *Science*, 1965, vol. 150, no. 3692, pp. 28–35. <https://doi.org/10.1126/science.150.3692.28>
13. Boersma M., Vijverberg J. Food effects on life history traits and seasonal dynamics of *Ceriodaphnia pulchella*. *Freshwater Biology*, 1996, vol. 35, no. 1, pp. 25–34. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2427.1996.00478.x>
14. Deng D., Xie P. Effect of food and temperature on the growth and development of *Moina irrasa* (Cladocera: Moinidae). *Journal of Freshwater Ecology*, 2003, vol. 18, no. 4, pp. 503–513. <https://doi.org/10.1080/02705060.2003.9663991>
15. Goulden C. E., Henry L. L., Tessier A. J. Body size, energy reserves and competitive ability in three species of Cladocera. *Ecology*, 1982, vol. 63, no. 6, pp. 1780–1789. <https://doi.org/10.2307/1940120>
16. Muro-Cruz G., Nandini S., Sarma S. S. S. Comparative life table demography and population growth of *Alona rectangula* and *Macrothrix triserialis* (Cladocera: Crustacea) in relation to algal (*Chlorella vulgaris*) food density. *Journal of Freshwater Ecology*, 2002, vol. 17, no. 1, pp. 1–11. <https://doi.org/10.1080/02705060.2002.9663862>
17. Nandini S., Sarma S. S. S. Lifetable demography of four cladoceran species in relation to algal food (*Chlorella vulgaris*) density. *Hydrobiologia*, 2000, vol. 435, pp. 117–126. <https://doi.org/10.1023/a:1004021124098>
18. Ramos-Jiliberto R., Aránguiz-Acuña A. Between-species differences in demographic responses to temperature of coexisting cladocerans. *Austral Ecology*, 2007, vol. 32, no. 7, pp. 766–774. <https://doi.org/10.1111/j.1442-9993.2007.01758.x>

Информация об авторе

Разлуцкий Владимир Ильич – канд. биол. наук, вед. науч. сотрудник, доцент. НИЦ НАН Беларуси по биоресурсам (ул. Академическая, 27, 220072, Минск, Республика Беларусь). E-mail: vladimirrazl@gmail.com. ORCID: 0000-0001-8612-6955.

Information about the author

Razlutskiy Vladimir I. – Ph. D. (Biology), Leader Researcher, Associate Professor. Scientific and Practical Center of the National Academy of Sciences of Belarus for Biore-sources (27, Akademicheskaya Str., 220072, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: vladimirrazl@gmail.com. ORCID: 0000-0001-8612-6955.