

ISSN 1029-8940 (Print)  
ISSN 2524-230X (Online)

УДК 57.081.1:595.38.384(476.7)  
<https://doi.org/10.29235/1029-8940-2019-64-1-60-71>

Поступила в редакцию 15.03.2018  
Received 15.03.2018

К. Сливинска

Научно-практический центр НАН Беларуси по биоресурсам, Минск, Республика Беларусь

## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ МОРФОМЕТРИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПОПУЛЯЦИЙ ДЛИННОПАЛОГО РАКА *PONTASTACUS LEPTODACTYLUS* ЗАПАДНОГО ПОЛЕСЬЯ

**Аннотация.** Таксономический статус комплекса видов, относящихся к длиннопалому раку, до настоящего времени является предметом дискуссий. Вид характеризуется широкой морфологической изменчивостью, однако специальных работ по оценке этой изменчивости относительно немного. В данном исследовании на основе многомерного канонического дискриминантного анализа проведено сравнение 7 популяций раков из водоемов бассейнов Черного и Балтийского морей Западного Полесья. С помощью морфометрического анализа популяций выявлены отличия между ними, особенно по таким параметрам, как abdomen и карапакс. Полученные результаты свидетельствуют о необходимости проведения молекулярно-генетического изучения длиннопалого рака в Беларуси и сопредельных стран.

**Ключевые слова:** длиннопалый рак *Pontastacus leptodactylus*, морфометрия, многомерная статистика

**Для цитирования:** Сливинска, К. Сравнительный морфометрический анализ популяций длиннопалого рака *Pontastacus leptodactylus* Западного Полесья / К. Сливинска // Вест. Нац. акад. наук Беларуси. Сер. биол. наук. – 2019. – Т. 64, № 1. – С. 60–71. <https://doi.org/10.29235/1029-8940-2019-64-1-60-71>

К. Śliwińska

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

## MORPHOMETRIC COMPARISON OF THE NARROW-CLAWED CRAYFISH *PONTASTACUS LEPTODACTYLUS* POPULATIONS FROM THE WESTERN PART OF THE POLESYE REGION

**Abstract.** Taxonomical status of the narrow-clawed crayfish species complex is remained as unclear and it is still the subject of discussion. Despite many ambiguities, uniform data related to morphological diversity are scarce. Therefore, the main aim was to compare populations from the same type of waterbody and different drainage (Baltic and Black Sea) from the Polesye region with multivariate statistics in order to morphological diversity verification. The result indicates that variability of studied populations is expressed especially in abdomen and cephalothorax parameters which is comparable to other works on morphometry of the European freshwater crayfish species. Some studies showed differences on morphology have been also confirmed at the genetic level. The information obtained in this study indicates that genetic analyses are necessary for understanding the diversity of this species.

**Keywords:** narrow-clawed crayfish *Pontastacus leptodactylus*, morphometry, multivariate statistics

**For citation:** Śliwińska K. Morphometric comparison of the narrow-clawed crayfish *Pontastacus leptodactylus* populations from the western part of the Polesye Region. *Vestsi Natsyyanal'nai akademii navuk Belarusi. Seryya biyalagichnykh navuk* = *Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Biological series*, 2019, vol. 64, no. 1, pp. 60–71 (in Russian). <https://doi.org/10.29235/1029-8940-2019-64-1-60-71>

**Введение.** Длиннопалый рак является одним из 5 выделяемых видов десятиногих европейских раков и рассматривается как аборигенный для бассейнов Черного и Каспийского морей [1], а его распространение по всему европейскому континенту связано с человеческой деятельностью [2]. Таксономический статус длиннопалого рака пока недостаточно изучен как на видовом, так и на родовом уровне. К примеру, на основе морфологических и зоогеографических критериев было выделено 4 вида, относящихся к роду *Astacus* и подроду *Pontastacus* [3]. В рамках этого подрода М. С. Караман [4, 5] выделил 3 вида. Согласно новому подходу, предложенному С. Я. Бродским [6, 7], к *Pontastacus* относится 6 видов. Я. И. Старобогатов [8] провел ревизию существующего систематического положения длиннопалого рака, определив, что *Pontastacus* включает 9 видов.

Таким образом, из-за отсутствия единой системы классификации таксона длиннопалый рак в настоящее время считается видовым комплексом [1, 9]. При этом одни астокологи склонны относить этот вид к роду *Astacus* [10, 11], другие – к *Pontastacus* [12, 13].

Несмотря на неоднозначный статус длиннопалого рака, до сих пор комплексные молекулярные исследования этого вида не проводились, а сопоставимых данных по его морфологической изменчивости относительно немного [13, 14].

Дискриминантный анализ, основанный на сравнении многих морфометрических параметров, выявляет различия не только между видами, но и между популяциями [15], а кроме того, позволяет типировать популяции с целью дальнейших молекулярных исследований [16].

Сравнительная морфометрическая характеристика раков водных объектов Беларуси никогда не проводилась, однако следует отметить, что имеется множество данных по промерам общей длины [17].

Цель работы – оценить экстерьерное разнообразие популяций длиннопалого рака и установить степень сходства и различия морфометрических параметров отдельных популяций.

**Материалы и методы исследования.** Сбор материала проведен в мае 2017 г. в юго-западной части Беларуси на озерах бассейна рек Западный Буг и Припять. Отлов раков проводили раколовками. Локализация мест отлова раков показана в табл. 1.

Таблица 1. Географические координаты исследованных популяций и количество измеренных особей

Table 1. Geographic coordinates of the populations and the number of measured individuals

Водоем	Координаты		К-во особей		
	N	E	Самцы	Самки	Всего
оз. Белое	52°49'02,31"	23°42'19,55"	15	18	33
оз. Селяхи	51°36'04,29"	23°36'40,86"	10	51	61
оз. Страдечское	51°52'54,60"	23°44'38,78"	11	8	19
оз. Меднянское	51°52'29,23"	23°44'37,86"	11	22	33
оз. Бобровицкое	52°37'08,27"	25°46'22,19"	12	12	24
оз. Олтушское	51°41'19,13"	23°57'39,80"	45	21	66
оз. Гоща	52°25'30,84"	25°40'39,32"	62	30	92
Итого			166	162	328

У отловленных особей измеряли 26 морфометрических параметров (рис. 1), 24 из которых являются общепринятыми для идентификации речных раков [14, 15], а 2 (ширина и длина частей тельсона) добавлены нами, поскольку морфологическая изменчивость тельсона считается важной характеристикой [18]. Измерения проводили с помощью электронного штангенциркуля с точностью 0,01 мм. Особей с повреждениями тела в исследование не включали.

При анализе симметрии выявлены статистически значимые отличия между правой и левой сторонами длины головного отдела карапакса и всеми измеряемыми параметрами клешней ( $t$ -тест,  $p > 0,05$ ), поэтому для параметров HEL, CLL, CFL, CPL, CLH, CLW рассчитывали средние значения. При анализе все показатели промеров делили на величину пост-орбитальной длины ( $POL = HEL + ARL$ ). Дополнительно использовали индекс соотношения  $POL:CPW$  и параметр  $ALFA (\alpha)$ , обозначающий боковую кривизну карапакса [15]. Чтобы исключить ошибки, которые могут возникнуть из-за разницы в размерах тела раков, исследуемые показатели выражали в относительных величинах. Из-за сильно выраженного полового диморфизма и значительных отличий в закономерностях изменчивости параметров промеры самок и самцов анализировали отдельно.

Определение морфометрической изменчивости изученных популяций осуществляли с помощью дисперсионного анализа, используя тесты post hoc Bonferroni, а также поэтапного дискриминантного анализа всех параметров, используя программу IBM SPSS Statistics 23. Статистически достоверным считали уровень значимости  $p < 0,05$ .

**Результаты исследования.** Диапазон изменчивости размеров и массы анализируемых особей показан в табл. 2.

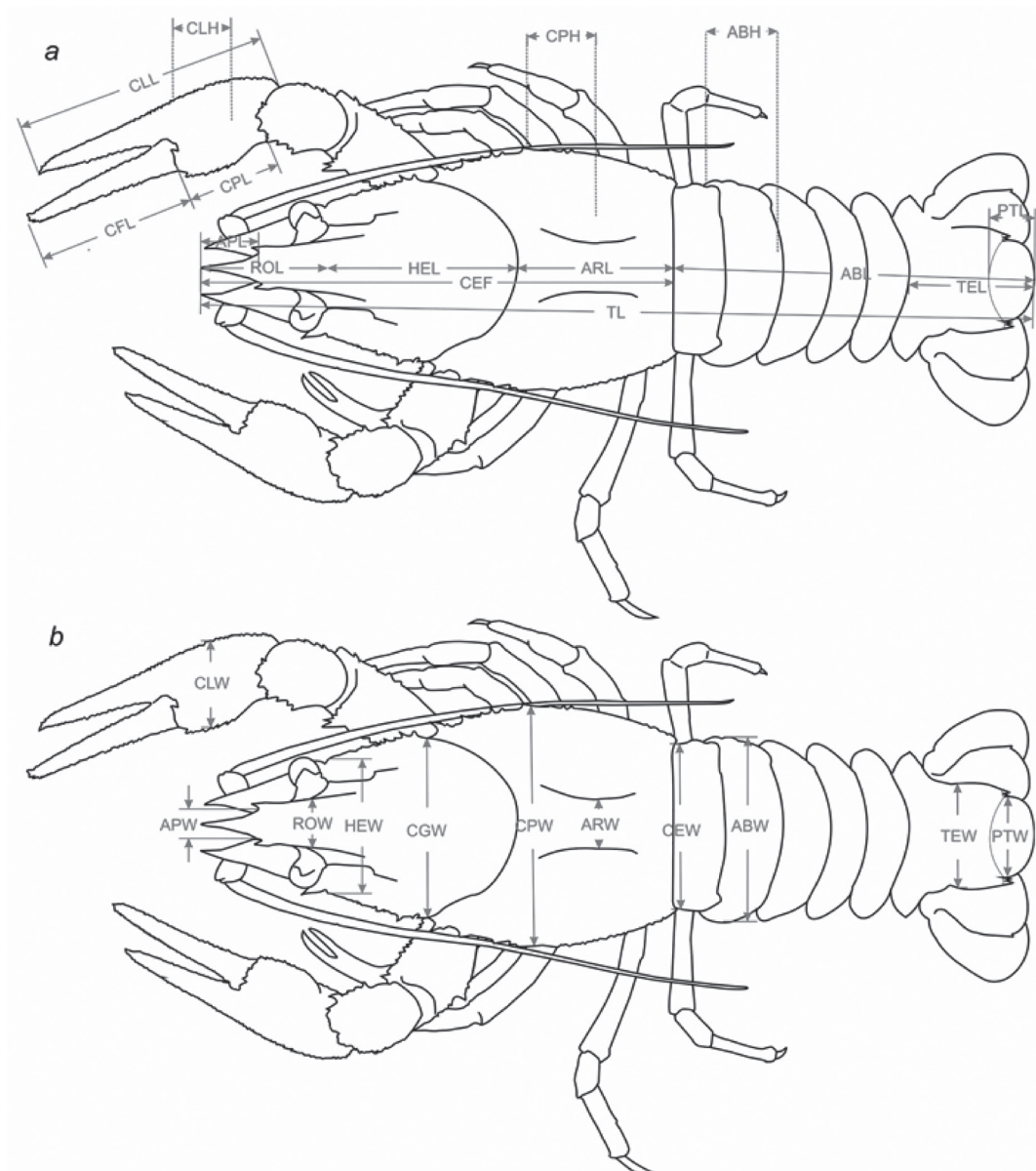


Рис. 1. Схемы измерения морфометрических параметров раков (*a* – длины и высоты, *b* – ширины). TL – общая длина тела, APL – длина апекса (острия роострума), APW – ширина апекса, ROL – длина роострума, ROW – ширина роострума, CEF – длина карапакса, CPW – ширина карапакса, CPH – высота карапакса, CGW – ширина карапакса по цервикальной борозде, ARW – ширина между сердечными бороздами, HEL – длина головного отдела карапакса без роострума, HEW – ширина головного отдела карапакса, ARL – длина грудного отдела карапакса, CEW – ширина задних краев карапакса, ABL – длина абдомена, ABW – ширина абдомена, ABH – высота абдомена, TEL – длина тельсона, TEW – ширина тельсона, PTL – длина частей тельсона, PTW – ширина частей тельсона, CLL – длина клешни, CFL – длина подвижной части клешни, CPL – длина неподвижной части клешни, CLH – толщина клешни, CLW – ширина клешни

Fig. 1. Measured morphometric parameters: *a* – length and height parameters, *b* – width parameters. TL – total length, APL – apex length, APW – apex width, ROL – rostrum length, ROW – rostrum width, CEF – carapace length, CPW – carapace width, CPH – carapace height, CGW – width at the cervical groove, ARW – areolar width, HEL – head length, HEW – head width, ARL – areolar length, CEW – width at the hind edges of the carapace, ABL – abdomen length, ABW – abdomen width, ABH – abdomen height, TEL – telson length, TEW – telson width, PTL – part of telson length, PTW – part of telson width, CLL – claw length, CFL – claw finger length, CPL – claw palm length, CLH – claw height, CLW – claw width

Т а б л и ц а 2. Показатели веса и длины тела раков

T a b l e 2. Characteristics of weight and body length of the specimens included in the analysis

Водоем	Самцы				Самки			
	Общая длина тела, мм		Масса тела, г		Общая длина тела, мм		Масса тела, г	
	Среднее значение	Диапазон	Среднее значение	Диапазон	Среднее значение	Диапазон	Среднее значение	Диапазон
оз. Белое	95,01 ± 5,04	77,21–152,00	26,58 ± 2,85	15,3–49,9	95,14 ± 3,12	61,60–110,27	25,73 ± 2,16	13,3–38,2
оз. Селяхи	90,48 ± 3,07	72,21–103,00	23,28 ± 0,98	16,9–27,2	95,13 ± 1,60	71,66–123,13	28,27 ± 1,41	10,9–53,9
оз. Страдичское	86,06 ± 3,02	69,60–101,36	22,19 ± 2,48	10,7–35,4	23,87 ± 3,00	78,78–115,30	92,88 ± 4,85	15,5–40,1
оз. Меднянское	96,89 ± 2,64	85,35–111,35	31,18 ± 2,60	20,5–48,2	94,86 ± 2,83	72,06–122,27	28,06 ± 2,49	11,8–55,7
оз. Бобровичское	98,06 ± 4,00	69,62–110,92	33,89 ± 3,77	11,9–51,5	100,80 ± 4,93	74,39–125,46	30,82 ± 4,05	12,8–53,2
оз. Олтушское	95,18 ± 1,96	72,59–128,53	30,08 ± 2,04	11,50–71,30	85,49 ± 1,02	74,28–92,37	17,95 ± 0,69	11,50–23,60
оз. Гоща	92,64 ± 3,31	67,58–138,50	24,29 ± 2,67	9,00–74,10	96,86 ± 2,18	58,01–134,89	32,28 ± 2,11	7,70–73,10

Дисперсионный анализ показал, что по большинству анализируемых параметров между особями обоего пола имеются статистически значимые различия (табл. 3). Не обнаружено отличий только по длине карапакса (CPL) у самцов и самок, а также по ширине рострума (ROW), ширине частей тельсона (PTW) у самцов и ширине между краями цервикальной борозды (CGW).

Т а б л и ц а 3. Результаты одностороннего дисперсионного анализа ANOVA

T a b l e 3. The results of one-way ANOVA analysis of variance

Параметр	Самцы		Самки	
	F	Значимость	F	Значимость
TL	3,122	0,006	<b>2,050</b>	<b>0,062</b>
APL	7,942	0,000	3,671	0,002
ROL	2,435	0,028	2,603	0,020
CPL	<b>1,791</b>	<b>0,104</b>	<b>1,931</b>	<b>0,079</b>
HEL	4,521	0,000	5,250	0,000
ARL	4,077	0,001	5,183	0,000
CPH	18,412	0,000	21,627	0,000
ARW	8,317	0,000	3,982	0,001
CPW	8,853	0,000	5,080	0,000
CGW	2,692	0,016	<b>1,384</b>	<b>0,224</b>
HEW	20,439	0,000	3,707	0,002
ROW	<b>0,759</b>	<b>0,603</b>	3,753	0,002
APW	16,546	0,000	21,045	0,000
ABH	3,041	0,008	11,664	0,000
PTL	4,999	0,000	7,217	0,000
TEL	5,456	0,000	4,425	0,000
ABL	3,665	0,002	6,904	0,000
CEW	6,134	0,000	5,626	0,000
ABW	3,265	0,005	24,985	0,000
TEW	22,182	0,000	4,889	0,000
PTW	<b>1,988</b>	<b>0,070</b>	10,453	0,000
CLL	14,943	0,000	13,161	0,000
CFL	18,014	0,000	10,381	0,000
CLP	16,003	0,000	22,154	0,000
CLH	33,138	0,000	32,422	0,000
CLW	25,410	0,000	26,937	0,000
POL:CPW	7,455	0,000	3,813	0,001
ALFA	2,709	0,016	2,222	0,044

П р и м е ч а н и е. Полужирным выделены значения, не имеющие достоверных статистических различий.

Параметры, по которым отличаются между собой как самцы, так и самки, относятся ко всем сравниваемым частям тела раков – абдомену, карапаксу, клешням. При сравнении абдомена большие различия между популяциями наблюдаются у самок, особенно у популяции из оз. Гоща (у этой популяции отличия были статистически значимы по всем измеряемым параметрам абдомена,  $p < 0,05$ ).

Тесты post hoc Bonferroni показали, что по длине тельсона самцы из оз. Гоща отличаются от самцов из озер Меднянское ( $p = 0,024$ ) и Олтушское, а самки из оз. Гоща – от самок из озер Олтушское и Селяхи ( $p = 0,000$ ), а также Меднянское ( $p = 0,015$ ), в меньшей степени – от самок из оз. Белое ( $p = 0,046$ ). Ширина тельсона (TEW) отличается у самцов из оз. Гоща и у всех других сравниваемых популяций ( $p < 0,001$ ), а также у самок из озер Гоща и Белое, а также Селяхи и Олтушское ( $p < 0,002$ ). По длине частей тельсона (PTL) у самцов отличаются популяции из озер Бобровицкое, Страдечское, Олтушское и Гоща ( $p < 0,016$ ), у самок – из озер Селяхи, Меднянское, Гоща.

Параметры карапакса, в отличие от параметров абдомена, значительно больше различаются у самцов, чем у самок. Промеры, связанные с рострумом, такие как длина апекса у самцов, у особей из оз. Бобровицкое отличаются от таковых у особей всех других озер ( $p < 0,013$ ), за исключением оз. Олтушское. Самки по этим параметрам не различаются в озерах Селяхи и Меднянское. Ширина апекса (APW) у самцов и самок из оз. Гоща отличается от таковой у всех других популяций ( $p < 0,003$  и  $p = 0,000$  соответственно). Длина рострума у особей обоего пола отличается в озерах Бобровицкое, Селяхи, Олтушское ( $p < 0,05$ ), а также у самцов из оз. Гоща. По ширине рострума отличия обнаружены только у самок из озер Гоща и Селяхи ( $p = 0,002$ ). Для самцов параметры головного отдела карапакса (HEL, HEW) отличаются в популяциях из озер Гоща, Бобровицкое, Олтушское, Селяхи ( $p < 0,05$ ). Самки из оз. Селяхи статистически значимо отличаются по этому параметру от всех других популяций ( $p = 0,000$ ). Различия отмечаются также по расстоянию между сердечными бороздами у самцов из озер Бобровицкое и Селяхи, а также Меднянское ( $p < 0,010$ ). У самок различия отмечены между популяциями из озер Белое, Селяхи, Страдечское и популяциями из озер Бобровицкое, Олтушское и Гоща ( $p < 0,023$ ). По параметру POL:CPW особи обоего пола из оз. Белое отличались от особей из озер Гоща и Меднянское ( $p < 0,05$ ), самцы из оз. Белое – от особей из оз. Страдечское ( $p = 0,017$ ), а из оз. Гоща – от особей озер Селяхи и Олтушское ( $p < 0,005$ ).

Таблица 4. Стандартизованные канонические коэффициенты дискриминационных функций для морфометрических характеристик самцов

Table 4. Standardized canonical coefficients of discriminatory functions of the morphometric characteristics of males

Морфометрический параметр	Функция 1	Функция 2
CPH	0,465	-0,070
ARW	0,106	0,272
HEW	-0,145	-0,886
TEL	-0,469	0,516
ABL	0,510	-0,834
CEW	0,095	0,654
ABW	0,447	-0,246
TEW	-1,127	0,184
WPT	0,835	0,312
CFL	0,378	-0,873
CLH	0,225	0,813
CLW	-0,098	0,353
POL:CPW	0,497	0,079
Дисперсия, %	56,7	26,9

Тесты post hoc показали, что в популяции из оз. Гоща наибольшие отличия по всем параметрам клешни (CLL, CFL, CLP, CLH, CLW) отмечаются у особей обоего пола ( $p < 0,05$ ), а в популяции из оз. Олтушское различия по параметрам CLP, CLH и CLW имеются у особей обоего пола, по длине клешней – только у самок.

Согласно результатам поэтапного дискриминантного анализа, первые две дискриминационные функции объясняют большую часть дисперсии в параметрах самцов, при этом первая дискриминантная функция объясняет 56,7 % общей дисперсии, вторая – 26,9 %. При дискриминантном анализе изменчивость 13 параметров у самцов определяет разнообразие популяций, наиболее значимыми из которых являются ширина тельсона (TEW), ширина частей тельсона (PTW) и длина абдомена (ABL) по первой дискриминантной функции и ширина головного отдела карапакса (HEW), длина подвижной части клешни (CFL), длина абдомена (ABL), толщина клешни (CLH) по второй дискриминантной функции (табл. 4).

С помощью дискриминационного анализа у самок установлено 12 морфометрических параметров, позволяющих выявить отличия между популяциями. В 69,5 % случаев дисперсию объясняет первая дискриминационная функция,



Таблица 5. Стандартизованные канонические коэффициенты дискриминационных функций для морфометрических характеристик самок

Table 5. Standardized canonical coefficients of discriminatory functions of the morphometric characteristics of females

Морфометрический параметр	Функция 1	Функция 2
ARL	0,002	-0,014
CPH	0,412	-0,729
APW	-0,446	0,166
ABH	-0,161	0,619
TEL	0,036	0,113
ABL	0,244	-0,521
ABW	0,427	0,369
TEW	-0,624	0,138
CFL	0,197	-0,566
CLP	0,117	0,392
CLH	0,777	0,399
POL:CPW	0,468	-0,129
Дисперсия, %	68,5	16,1

Таблица 6. Средние значения дискриминантных переменных для 7 популяций

Table 6. Mean values of discriminant variables for 7 populations

Водоем	Самцы		Самки	
	Функция 1	Функция 2	Функция 1	Функция 2
оз. Белое	1,742	1,494	0,895	-0,483
оз. Селяхи	2,550	4,179	1,685	0,161
оз. Страдечское	1,539	1,009	0,783	1,441
оз. Меднянское	2,510	0,502	1,408	0,575
оз. Бобровицкое	0,842	1,030	0,315	1,791
оз. Олтушское	1,817	-2,151	-0,21	-2,560
оз. Гоша	-3,033	,059	-4,754	0,286

с помощью которой определяются параметры, которые имеют наибольшие различия: толщина клешни (CLH), ширина тельсона (TEW) и соотношение POL:CPW. Значение второй функции объясняет 16,1 % дисперсии, а наиболее изменчивыми параметрами являются высота карапакса (CPH), высота абдомена (ABH) и длина подвижной части клешни CFL (табл. 5).

Среднее значение первой дискриминантной функции самцов позволяет четко отделить популяцию из оз. Гоша от остальных популяций раков (табл. 6, рис. 2, 3).

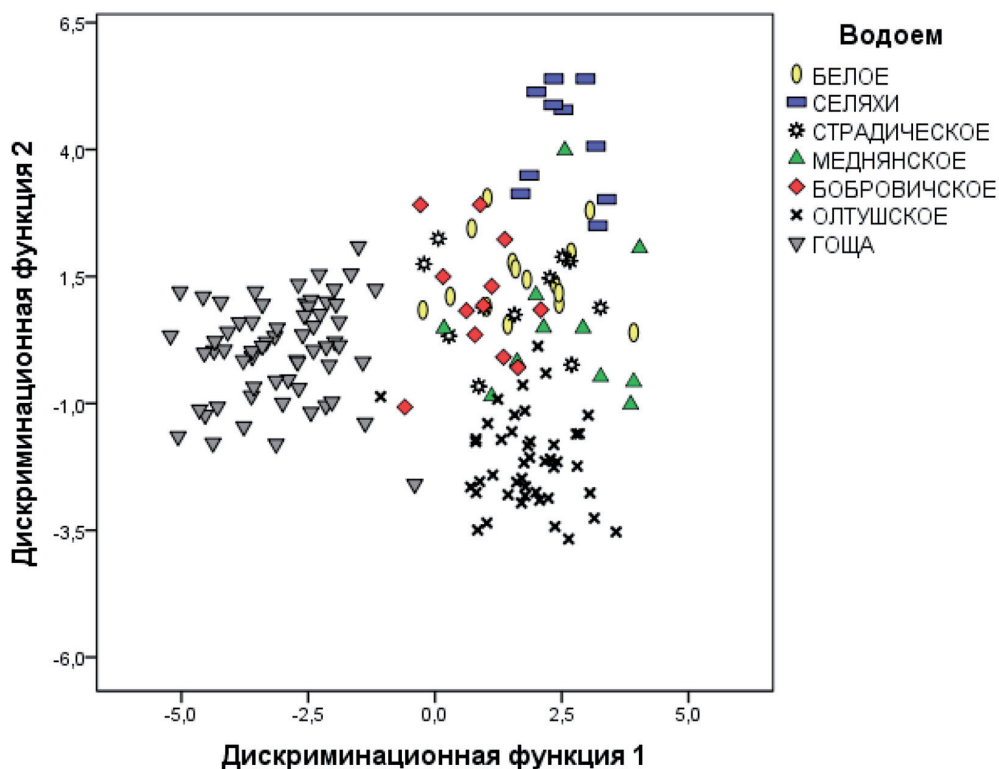


Рис. 2. Графическое представление различий между популяциями самцов

Fig. 2. Discrimination by the first two discriminant functions for males

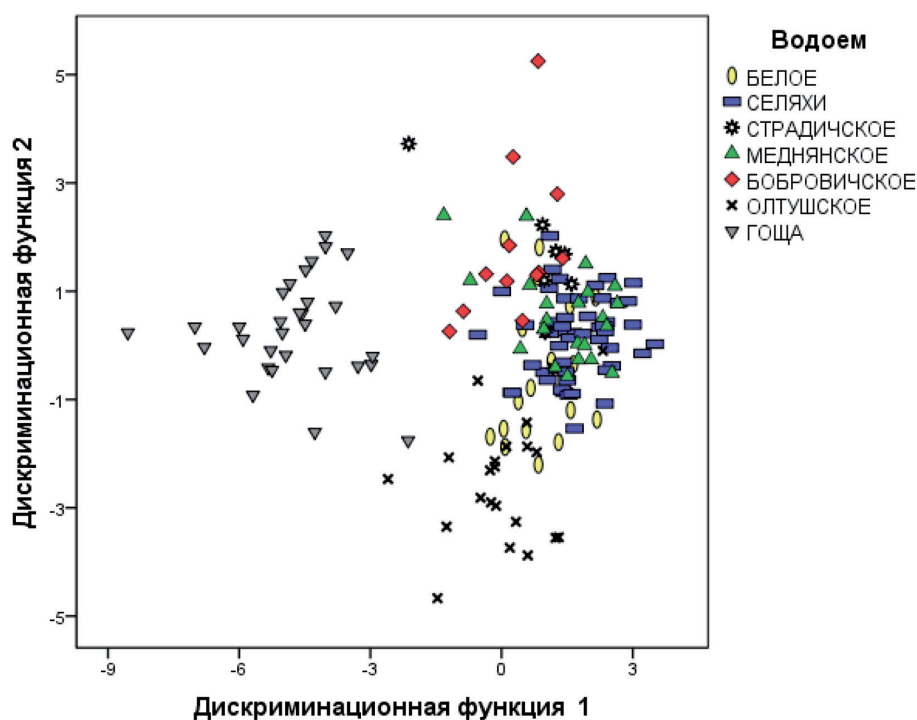


Рис. 3. Графическое представление различий между популяциями самок

Fig. 3. Discrimination by the first two discriminant functions for females

Низкие значения параметров первой дискриминантной функции, такие как TEW, TEL, HEW (см. табл. 4), показывают, что в популяции самцов из оз. Гоща эти промеры низкие по сравнению с другими популяциями, а высокие значения WPT, ABL, POL:CPW, ABW указывают то, что во всех популяциях по сравнению с популяцией оз. Гоща значения промеров более высокие. Отрицательные значения параметров второй дискриминантной функции по параметрам HEW, CFL, ABL указывают, что у самцов из популяции оз. Олтушское характеризуются низкими значениями этих параметров, а более высокие значения CLH, CEW, TEL указывают то, что в популяции из оз. Селяхи эти параметры имеют высокие значения по сравнению с другими. У самок же значения первой дискриминационной функции указывают на то, что популяция из оз. Гоща, имевшая отрицательные значения функции, отличается от всех других популяций с положительными значениями функции (табл. 6, рис. 3). Значения CLH, POL:CPW, ABW (см. табл. 5) указывают на то, что в популяциях из озер Белое, Селяхи, Меднянское, Бобровицкое и Олтушское эти параметры более высокие, чем у самок из оз. Гоща. Значения TEW, APW, ABH показывают, что в популяции самок из оз. Гоща параметры меньше, чем у других самок, а значения CPN, CFL, ABL при второй дискриминантной функции означают, что в популяции самок из

Таблица 7. Распределение самцов по отношению к конкретным популяциям

Table 7. Results of classification to different populations for males

Водоем	оз. Белое	оз. Селяхи	оз. Страдечское	оз. Меднянское	оз. Бобровицкое	оз. Олтушское	оз. Гоща
оз. Белое	14/93,3	0/0,0	1/6,7	0/0,0	0/0,0	0/0,0	0/0,0
оз. Селяхи	1/10,0	8/80,0	1/10,0	0/0,0	0/0,0	0/0,0	0/0,0
оз. Страдечское	1/9,1	0/0,0	8/72,0	1/9,1	1/9,1	0/0,0	0/0,0
оз. Меднянское	1/9,1	0/0,0	2/18,2	7/63,6	1/9,1	0/0,0	0/0,0
оз. Бобровицкое	0/0,0	0/0,0	1/8,3	0/0,0	11/91,7	0/0,0	0/0,0
оз. Олтушское	0/0,0	0/0,0	1/2,2	0/0,0	1/2,2	42/93,3	1/2,2
оз. Гоща	0/0,0	0/0,0	0/0,0	0/0,0	0/0,0	1/1,6	61/98,4

Примечание. Данные представлены как количество особей/процент по отношению к целой популяции. Из первоначально сгруппированных проб правильно классифицировано 91,0 %.

Т а б л и ц а 8. Распределение самок по отношению к конкретным популяциям

Table 8. Results of classification to different populations for females

Водоем	оз. Белое	оз. Селяхи	оз. Страдечское	оз. Меднянское	оз. Бобровицкое	оз. Олтушское	оз. Гоща
оз. Белое	11/61,1	2/11,1	1/5,6	3/16,7	0/0,0	1/5,6	0/0,0
оз. Селяхи	4/7,8	39/76,5	2/3,9	6/11,8	0/0,0	0/0,0	0/0,0
оз. Страдечское	0/0,0	1/12,5	2/25,0	4/50,0	1/12,5	0/0,0	0/0,0
оз. Меднянское	1/4,5	1/4,5	1/4,5	18/81,8	1/4,5	0/0,0	0/0,0
оз. Бобровицкое	0/0,0	0/0,0	1/8,3	0/0,0	11/91,7	0/0,0	0/0,0
оз. Олтушское	1/4,8	1/4,8	0/0,0	0/0,0	0/0,0	19/90,5	0/0,0
оз. Гоща	0/0,0	0/0,0	0/0,0	0/0,0	0/0,0	1/3,3	29/96,7

П р и м е ч а н и е. Данные представлены как количество особей/процент по отношению к целой популяции. Из первоначально сгруппированных проб правильно классифицировано 79,6 %.

оз. Олтушское более низкие значения этих параметров. Значения ABH, CLH, ARW, CLP указывают на то, что в популяциях озер Страдечское и Бобровицкое эти промеры более высокие.

При проведении дискриминантного анализа по размерным параметрам среди обследованных самцов доля правильно классифицированных особей по отношению к конкретным популяциям была выше, чем у самок, – 91 и 79,6 % соответственно (табл. 7, 8). Для популяций из озер Гоща, Олтушское, Бобровицкое получены высокие доли правильной классификации как для самцов, так и для самок. Для других озер различия в классификации были более выражены.

**Обсуждение.** Предполагается, что генетическое разнообразие определяет различия в фенотипе [19]. Одним из методов исследования фенотипа является морфометрия, которая дает точное описание морфологии изучаемых объектов. Сопоставление данных, основанное на многомерном каноническом дискриминантном анализе, позволяет показать различия не только между видами длиннопалого рака [20], но и между популяциями одного вида [20, 21] или видового комплекса [14, 16]. Исследование популяций длиннопалого рака Западного Полесья выявили отличия в морфологии особей из различных озер. При проведении дискриминантного анализа морфометрических показателей процент правильной классификации у самцов был выше, чем у самок, что свидетельствует о том, что анализ параметров самцов больше подходит для оценки различий между популяциями длиннопалого рака. Более высокий процент правильной классификации самцов был также у другого вида из семейства Astacidae – широкопалого рака [12, 15]. При сравнении популяций длиннопалого рака из Хорватии и Армении у особей обоего пола установлен высокий процент правильной классификации [14]. Следует отметить, что нами изучены особи из одного региона, а озера Белое, Селяхи, Страдечское и Меднянское расположены в непосредственной близости друг от друга. Это нашло отражение в результатах классификации самок, популяции которых из озер Меднянское и Страдечское характеризуются общими чертами (большинство самок из оз. Страдечское классифицированы как особи из оз. Меднянское). Отметим, что озера Страдечское и Меднянское соединены протокой, по которой раки могут мигрировать.

Полученные результаты подтверждают эффективность используемого метода. Известно, что изоляция популяций и отсутствие потока генов [22] влияют на высокую степень правильной классификации особей при дискриминантном анализе морфологических параметров в конкретных популяциях [15]. Несмотря на то что у самцов выявлены более выраженные отличия, сравнительный анализ популяций раков должен проводиться и по промерам самок.

Установленные нами параметры, отличающие популяции самцов между собой, сходны с параметрами, приведенными Maguire и Dakić [14], и относятся в основном к промерам карапакса и тельсона, в меньшей степени – к промерам клешней. Тем не менее, в обоих случаях конкретные параметры были разными. В популяциях самок из Хорватии и Армении имелись различия при промерах клешней и общей длины тела [14], а в популяциях Полесского региона Беларуси самки различались в основном по тем же параметрам, что и самцы, но большую значимость имели параметры клешней.



Параметры, по которым отличаются популяции длиннопалого рака Полесского региона страны, совпадают с параметрами, отличающими популяции широкопалого рака на Балканах. При этом в обоих случаях имели значимость такие параметры, как ширина головного отдела карапакса и тельсона, а также толщина клешни и параметры карапакса [20]. В работе Sint с соавт. [21] дискриминационный анализ основан главным образом на промерах карапакса и клешней, что позволило установить четкие отличия между популяциями раков *Austropotamobius pallipes*, *A. torrentium* и *Astacus astacus*. Те же авторы отмечают, что меньшая значимость параметров абдомена в различных популяциях может быть связана с важной репродуктивной функцией этой части тела у самок и с их адаптивной изменчивостью. Изученные полесские популяции и популяции широкопалых раков на Балканах не были консервативны по параметрам абдомена, что значительно повлияло на дифференциацию популяций.

Центр гаплотипического разнообразия широкопалого рака в Европе сконцентрирован в Германии и на Балканах [23], и в обоих случаях были доказаны различия в морфометрии между популяциями *A. astacus*, обитающими в этих регионах [20, 21]. Продемонстрированные с помощью морфометрического анализа различия между популяциями длиннопалого рака [14] были подтверждены молекулярно-генетическим методом, а изученные популяции были разделены на отдельные филогруппы, представляющие две отдельные эволюционные линии [16]. Изучение морфометрии и генетики раков показало, что отсутствие морфологических отличий отражается также на генетическом уровне [24].

С другой стороны, известно, что наличие морфометрических отличий у раков зависит от среды обитания (это подтверждено при исследовании популяций, обитающих в текущих и стоячих водах [25, 26]), однако степень фенотипического разнообразия длиннопалого рака в зависимости от среды обитания неизвестна.

Современное распространение аборигенных раков в Европе было сформировано под значимым антропогенным влиянием [27], и среди большинства астокологов существует убеждение, что появление длиннопалого рака в бассейне Балтийского моря является результатом деятельности человека [2]. Созданные человеком популяции часто характеризуются наличием эффекта бутылочного горлышка [28], что может отражаться и на морфологических различиях, так как известно, что эффект бутылочного горлышка может индуцировать морфологические изменения [29–31]. Следовательно, нельзя исключать и того, что указанные различия между популяциями длиннопалых раков на территории Полесья также являются результатом проявления эффекта бутылочного горлышка.

**Заключение.** Согласно полученным нами результатам исследования, различия морфологических признаков у популяций длиннопалого рака в западной части Полесского региона страны имеют неясное происхождение. Поэтому, чтобы оценить таксономический статус комплекса видов, каким является длиннопалый рак, необходимо провести молекулярно-генетические исследования в сочетании с морфологической идентификацией популяций. Определение генетической структуры позволит не только объяснить многие морфологические аспекты, но и станет незаменимым инструментом при разработке планов управления популяциями длиннопалого рака как ресурсного вида.

**Благодарности.** Работа проведена при поддержке гранта Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований № Б16К-011 «Определение видового состава и оценка ресурсного потенциала речных раков водоемов бассейна реки Припять».

**Acknowledgements.** This study was financially supported by the Belarusian Republican Foundation for Fundamental Research, project no. Б16К-011, entitled “Identification of species composition and evaluation of resource potential of crayfish in Pripyat River basin”.

#### Список использованных источников

1. A review of the ever increasing threat to European crayfish from non-indigenous crayfish species / D. M. Holdich [et al.] // Knowledge Management of Aquatic Ecosystems. – 2009. – N 394–395. – P. 11. <https://doi.org/10.1051/kmae/2009025>
2. Kouba, A. Continental-wide distribution of crayfish species in Europe: update and maps / A. Kouba, A. Petrusek, P. Kozák // Knowledge and Management of Aquatic Ecosystems. – 2014. – N 413. – P. 05. <https://doi.org/10.1051/kmae/2014007>
3. Bott, R. Die Flusskrebse Europas / R. Bott // Abhandlungen der Senckenbergischen Naturforschenden Gesellschaft. – 1950. – N 483. – P. 1–36.

4. Karaman, M. S. Ein Beitrag zur Systematik der Astacidae (Decapoda) / M. S. Karaman // Crustaceana. – 1962. – Vol. 3, N 3. – P. 173–191. <https://doi.org/10.1163/156854062x00409>
5. Karaman, M. S. Studie der Astacidae (Crustacea, Decapoda). II Teil. / M. S. Karaman // Hydrobiologia. – 1963. – Vol. 22, N 1–2. – P. 111–132. <https://doi.org/10.1007/bf00039685>
6. Brodsky, S. Y. On the systematics of palaearctic crayfishes (Crustacea, Astacidae) / S. Y. Brodsky // Freshwater Crayfish. – 1983. – Vol. 5. – P. 464–469.
7. Фауна України : в 40 т. / редкол. : В. А. Топачевский (пред.) [и др.]. – Киев : Наук. думка. – Т. 26 : Высшие раки, вып. 3 : Речные раки / С. Я. Бродский. – 1981. – 210 с.
8. Starobogatov, Y. I. Taxonomy and geographical distribution of crayfishes Asia and East Europe (Crustacea, Decapoda, Astacoidei) / Y. I. Starobogatov // Arthropoda Selecta. – 1995. – Vol. 4, N 3. – P. 3–25.
9. Atlas of Crayfish in Europe / C. Souty-Grosset [et al.]. – Paris : Museum d'Histoire naturelle, 2006. – 187 p.
10. Harlioğlu M. M. The present situation of freshwater crayfish, *Astacus leptodactylus* (Eschscholtz, 1823) in Turkey / M. M. Harlioğlu // Aquaculture. – 2004. – Vol. 230, N 1–4. – P. 181–187. [https://doi.org/10.1016/s0044-8486\(03\)00429-0](https://doi.org/10.1016/s0044-8486(03)00429-0)
11. Holdich, D. M. Distribution of crayfish in Europe and some adjoining countries / D. M. Holdich // Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture. – 2002. – N 367. – P. 611–650. <https://doi.org/10.1051/kmae:2002055>
12. Crandall, K. A. An updated classification of the freshwater crayfishes (Decapoda: Astacidea) of the world, with a complete species list / K. A. Crandall, S. de Grave // J. Crustacean Biol. – 2017. – Vol. 37, N 5. – P. 615–653. <https://doi.org/10.1093/jcbiol/rux070>
13. A proposal for accepting *Pontastacus* as a genus of European crayfish within the family Astacidae based on a revision of the west and east European taxonomic literature / P. Šmietana [et al.] // Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture. – 2006. – N 380–381. – P. 1041–1052. <https://doi.org/10.1051/kmae:2006010>
14. Maguire, I. Comparative analyses of *Astacus leptodactylus* morphological characteristics from Croatia and Armenia / I. Maguire, L. Dakić // Biologia. – 2011. – Vol. 66, N 3 – P. 491–498. <https://doi.org/10.2478/s11756-011-0045-y>
15. Sint, D. Morphological variations in *Astacus astacus* L. and *Austropotamobius pallipes* (Lereboullet) populations / D. Sint, J. Dalla Via, L. Füreder // Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture. – 2005. – N 376–377. – P. 637–652. <https://doi.org/10.1051/kmae:2005021>
16. Two distinct evolutionary lineages of the *Astacus leptodactylus* species-complex (Decapoda : Astaciadae) inferred by phylogenetic analyses / I. Maguire [et al.] // Invertebrate Systematics. – 2014. – Vol. 28, N 2. – P. 117–123. <https://doi.org/10.1071/is13030>
17. Алехнович, А. В. Речные раки Беларуси в современных условиях: распространение, динамика численности, продукционно-промысловый потенциал / А. В. Алехнович. – Минск : Беларус. навука, 2016. – 303 с.
18. Persistent infection by crayfish plague *Aphanomyces astaci* in a noble crayfish population – a case report / S. Viljamaa-Dirks [et al.] // Bulletin of the European Association of Fish Pathologists. – 2011. – Vol. 31, N 5. – P. 182–188.
19. Klingenberg, C. P. Morphometrics and the role of the phenotype in studies of the evolution of developmental mechanisms / C. P. Klingenberg // Gene. – 2002. – Vol. 287. – N 1–2. – P. 3–10. [https://doi.org/10.1016/s0378-1119\(01\)00867-8](https://doi.org/10.1016/s0378-1119(01)00867-8)
20. Morphometric variations among *Astacus astacus* populations from different regions of the Balkan Peninsula / S. Đuretanović [et al.] // Zoomorphology. – 2016. – Vol. 136, N 1. – P. 19–27. <https://doi.org/10.1007/s00435-016-0331-x>
21. Sint, D. Phenotypical characterization of indigenous freshwater crayfish populations / D. Sint, J. Dalla Via, L. Füreder // J. Zool. – 2007. – N 273. – P. 210–219. <https://doi.org/10.1111/j.1469-7998.2007.00318.x>
22. Mitochondrial and microsatellite DNA analyses of *Austropotamobius pallipes* in South Tyrol (Italy) and Tyrol (Austria) / S. Baric [et al.] // Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture. – 2005. – N 376–377. – P. 599–612. <https://doi.org/10.1051/kmae:2005018>
23. Phylogeography of noble crayfish (*Astacus astacus*) reveals multiple refugia / A. Schrimpf [et al.] // Freshwater Biol. – 2014. – Vol. 59, N 4. – P. 761–776. <https://doi.org/10.1111/fwb.12302>
24. Grandjean, F. Genetic and morphological variation in the endangered crayfish species, *Austropotamobius pallipes* (Lereboullet) (Crustacea, Astacidae) from the Poitou–Charentes region (France) / F. Grandjean, C. Souty-Grosset // Aquatic Science. – 2000. – Vol. 62, N 1. – P. 1–19. <https://doi.org/10.1007/pl00001327>
25. Chambers, C. L. Geographic variation in the dwarf crayfish, *Cambarellus puer* Hobbs (Decapoda, Cambaridae) / C. L. Chambers, M. L. Kennedy, J. F. Payne // Crustaceana. – 1979. – Vol. 36, N 1. – P. 39–55. <https://doi.org/10.1163/156854079x00195>
26. Haddaway N. R. Morphological diversity and phenotypic plasticity in the threatened British white-clawed crayfish (*Austropotamobius pallipes*) / N. R. Haddaway [et al.] // Aquatic conservation: marine and freshwater ecosystems. – 2012. – Vol. 22, N 2. – P. 220–231. <https://doi.org/10.1002/aqc.2225>
27. Albrecht, H. Besiedlungsgeschichte und ursprünglich holozäne Verbreitung der europäischen Flusskrebse / H. Albrecht // Spixiana. – 1983. – Vol. 6, N 1. – P. 61–77.
28. Grandjean, F. Drastic bottlenecks in the endangered crayfish species *Austropotamobius pallipes* in Spain and implications for its colonization history / F. Grandjean [et al.] // Heredity. – 2001. – Vol. 86, N 4. – P. 431–438. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2540.2001.00849.x>
29. Bryant, E. H. Nonadditive genetic structuring of morphometric variation in relation to a population bottleneck / E. H. Bryant, L. M. Meffert // Heredity. – 1996. – Vol. 77, N 2. – P. 168–176. <https://doi.org/10.1038/hdy.1996.121>
30. Bryant, E. H. Multivariate phenotypic differentiation among bottleneck lines of the housefly / E. H. Bryant, L. M. Meffert // Evolution. – 1990. – Vol. 44, N 3. – P. 660–668. <https://doi.org/10.2307/2409443>
31. Templeton, A. The relation between speciation mechanisms and macroevolutionary patterns / A. Templeton // Evolutionary Processes and Theory. – 1986. – P. 497–512. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-398760-0.50025-0>

## References

1. Holdich D. M., Reynolds J. D., Souty-Grosset C., Sibley P. J. A review of the ever increasing threat to European crayfish from non-indigenous crayfish species. *Knowledge Management of Aquatic Ecosystems*, 2009, no. 394–395, p. 11. <https://doi.org/10.1051/kmae/2009025>
2. Kouba A., Petrusek A., Kozák P. Continental-wide distribution of crayfish species in Europe: update and maps. *Knowledge and Management of Aquatic Ecosystems*, 2014, no. 413, p. 05. <https://doi.org/10.1051/kmae/2014007>
3. Bott R. Die Flusskrebse Europas. *Abhandlungen der Senckenbergischen Naturforschenden Gesellschaft*, 1950, no. 483, pp. 1–36.
4. Karaman M. S. Ein Beitrag zur Systematik der Astacidae (Decapoda). *Crustaceana*, 1962, vol. 3, no. 3, pp. 173–191. <https://doi.org/10.1163/156854062x00409>
5. Karaman M. S. Studie der Astacidae (Crustacea, Decapoda). II Teil. *Hydrobiologia*, 1963, vol. 22, no. 1–2, pp. 111–132. <https://doi.org/10.1007/bf00039685>
6. Brodsky S. Y. On the systematics of palaearctic crayfishes (Crustacea, Astacidae). *Freshwater Crayfish*, 1983, vol. 5, pp. 464–469.
7. Brodskii S. Ya. *Fauna of Ukraine. Vol. 26, iss. 3, Graduate Crayfish. River Crayfish*. Kiev, Naukova dumka Publ., 1981. 210 p. (in Ukrainian).
8. Starobogatov Y. I. Taxonomy and geographical distribution of crayfishes Asia and East Europe (Crustacea, Decapoda, Astacoidei). *Arthropoda Selecta*, 1995, vol. 4, no. 3, pp. 3–25.
9. Souty-Grosset C., Holdich D., Noël P. Y., Reynolds J. D., Haffner P. Atlas of crayfish in Europe. Paris, Museum d'Histoire naturelle, 2006. 187 p.
10. Harlıoğlu M. M. The present situation of freshwater crayfish, *Astacus leptodactylus* (Eschscholtz, 1823) in Turkey. *Aquaculture*, 2004, vol. 230, no. 1–4, pp. 181–187. [https://doi.org/10.1016/s0044-8486\(03\)00429-0](https://doi.org/10.1016/s0044-8486(03)00429-0)
11. Holdich D. M. Distribution of crayfish in Europe and some adjoining countries. *Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture*, 2002, no. 367, pp. 611–650. <https://doi.org/10.1051/kmae:2002055>
12. Crandall K. A., de Grave S. An updated classification of the freshwater crayfishes (Decapoda: Astacidea) of the world, with a complete species list. *Journal of Crustacean Biology*, 2017, vol. 37, no. 5, pp. 615–653. <https://doi.org/10.1093/jcbiol/rux070>
13. Šmietana P., Schulz H. K., Keszka S., Schulz R. A proposal for accepting *Pontastacus* as a genus of European crayfish within the family Astacidae based on a revision of the west and east European taxonomic literature. *Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture*, 2006, no. 380–381, pp. 1041–1052. <https://doi.org/10.1051/kmae:2006010>
14. Maguire I., Dakić L. Comparative analyses of *Astacus leptodactylus* morphological characteristics from Croatia and Armenia. *Biologia*, 2011, vol. 66, no. 3, pp. 491–498. <https://doi.org/10.2478/s11756-011-0045-y>
15. Sint D., Dalla Via J., Füreder L. Morphological variations in *Astacus astacus* L. and *Austropotamobius pallipes* (Lereboullet) populations. *Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture*, 2005, no. 376–377, pp. 637–652. <https://doi.org/10.1051/kmae:2005021>
16. Maguire I., Podnar M., Jelić M., Štambuk A., Schrimpf A., Schulz H., Klobučar G. Two distinct evolutionary lineages of the *Astacus leptodactylus* species-complex (Decapoda : Astaciadae) inferred by phylogenetic analyses. *Invertebrate Systematics*, 2014, vol. 28, no. 2, pp. 117–123. <https://doi.org/10.1071/is13030>
17. Alekhovich A. V. The river crayfishes of Belarus nowadays: distribution, population dynamics and production-trade potential. Minsk, Belaruskaya navuka Publ., 2016. 303 p. (in Russian).
18. Viljamaa-Dirks S. Persistent infection by crayfish plague *Aphanomyces astaci* in a noble crayfish population – a case report. *Bulletin of the European Association of Fish Pathologists*, 2011, vol. 31, no. 5, pp. 182–188.
19. Klingenberg C. P. Morphometrics and the role of the phenotype in studies of the evolution of developmental mechanisms. *Gene*, 2002, no. 287, no. 1–2, pp. 3–10. [https://doi.org/10.1016/s0378-1119\(01\)00867-8](https://doi.org/10.1016/s0378-1119(01)00867-8)
20. Đuretanović S., Jaklič M., Milošković A., Radojković N., Radenković M., Simić V., Maguire I. Morphometric variations among *Astacus astacus* populations from different regions of the Balkan Peninsula. *Zoomorphology*, 2016, vol. 136, no. 1, pp. 19–27. <https://doi.org/10.1007/s00435-016-0331-x>
21. Sint D., Dalla Via J., Füreder L. Phenotypical characterization of indigenous freshwater crayfish populations. *Journal of Zoology*, 2007, vol. 273, no. 2, pp. 210–219. <https://doi.org/10.1111/j.1469-7998.2007.00318.x>
22. Baric S., Höllrigl A., Füreder L., Dalla via J. Mitochondrial and microsatellite DNA analyses of *Austropotamobius pallipes* in South Tyrol (Italy) and Tyrol (Austria). *Bulletin Français de la Pêche et de la Pisciculture*, 2005, no. 376–377, pp. 599–612. <https://doi.org/10.1051/kmae:2005018>
23. Schrimpf A., Theissinger K., Dahlem J., Maguire I., Pârvulescu L., Schulz H. K., Schulz R. Phylogeography of noble crayfish (*Astacus astacus*) reveals multiple refugia. *Freshwater Biology*, 2014, vol. 59, no. 4, pp. 761–776. <https://doi.org/10.1111/fwb.12302>
24. Grandjean F., Souty-Grosset C. Genetic and morphological variation in the endangered crayfish species, *Austropotamobius pallipes* (Lereboullet) (Crustacea, Astacidae) from the Poitou–Charentes region (France). *Aquatic Science*, 2000, vol. 62, no. 1, pp. 1–19. <https://doi.org/10.1007/pl00001327>
25. Chambers C. L., Kennedy M. L., Payne J. F. Geographic variation in the dwarf crayfish, *Cambarellus puer* Hobbs (Decapoda, Cambaridae). *Crustaceana*, 1979, vol. 36, no. 1, pp. 39–55. <https://doi.org/10.1163/156854079x00195>
26. Haddaway N. R., Mortimer R. J. G., Christmas M., Grahame J. W., Dunn A. M. Morphological diversity and phenotypic plasticity in the threatened British white-clawed crayfish (*Austropotamobius pallipes*). *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems*, 2012, vol. 22, no. 2, pp. 220–231. <https://doi.org/10.1002/aqc.2225>

27. Albrecht H. Besiedlungsgeschichte und ursprünglich holozäne Verbreitungsdereuropäischen Flusskrebe. *Spixiana*, 1983, vol. 6, no. 1, pp. 61–77.
28. Grandjean F., Gouin N., Souty-Grosset C., Diéguez-Urbeondo J. Drastic bottlenecks in the endangered crayfish species *Austropotamobius pallipes* in Spain and implications for its colonization history. *Heredity*, 2001, vol. 86, no. 4, pp. 431–438. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2540.2001.00849.x>
29. Bryant E. H., Meffert L. M. Nonadditive genetic structuring of morphometric variation in relation to a population bottleneck. *Heredity*, 1996, vol. 77, no. 2, pp. 168–176. <https://doi.org/10.1038/hdy.1996.121>
30. Bryant E. H., Meffert L. M. Multivariate phenotypic differentiation among bottleneck lines of the housefly. *Evolution*, 1990, vol. 44, no. 3, pp. 660–668. <https://doi.org/10.2307/2409443>
31. Templeton A. The relation between speciation mechanisms and macroevolutionary patterns. *Evolutionary Processes and Theory*, 1986, pp. 497–512. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-398760-0.50025-0>

### Інфармацыя аб аўторэ

Сливинска Каролина – магистр биол. наук, мл. науч. сотрудник. Научно-практический центр НАН Беларуси по биоресурсам (ул. Академическая, 27, 220072, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: karolina.sliwinska@outlook.com

### Information about the author

Śliwińska Karolina – Master of Biology, Junior researcher. Scientific and Practical Center for Biological Resources of the National Academy of Sciences (27, Akademicheskaya Str., 220072, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: karolina.sliwinska@outlook.com