



В. Ю. Агеец¹, О. Н. Вишневская¹, Т. А. Сергеева³, М. В. Книга¹,
А. Ю. Крук¹, И. А. Орлов¹, Д. А. Жмойдяк¹, А. И. Царь²,
М. С. Парфенчик², В. Н. Кипень², В. А. Лемеш²

¹Институт рыбного хозяйства, Национальная академия наук Беларуси,
Минск, Республика Беларусь

²Институт генетики и цитологии, Национальная академия наук Беларуси,
Минск, Республика Беларусь

³Государственное объединение по мелиорации земель, водному и рыбному
хозяйству «Белводхоз», Минск, Республика Беларусь

ЭКСТЕРЬЕРНЫЕ И ГЕНЕТИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ БЕЛОРУССКОЙ ПОПУЛЯЦИИ САРБОЯНСКОЙ ПОРОДЫ КАРПА

Аннотация. В данном исследовании объектом изучения выступал зеркальный карп сарбоаянской породы, который входит в состав коллекционного ремонтно-маточного стада СПУ «Изобелино». Во время инвентаризации и бонитировки ремонтно-маточного стада карпа сарбоаянской породы были отобраны образцы биологического материала от старшего ремонта и производителей сарбоаянского карпа для последующих молекулярно-генетических исследований. С учетом генетического разнообразия особей была сформирована селекционная группа производителей, а их оценка осуществлялась по комплексу фенотипических характеристик.

Отмечено, что пятое и шестое поколения сарбоаянского карпа из коллекционного стада сохраняют характерные черты стандарта породы. Производители характеризуются высокими коэффициентами упитанности (2,96 и 3,34 соответственно), а также имеют высокоспинную форму тела с укороченным хвостовым стеблем.

При изучении старшего ремонта и производителей сарбоаянского карпа по локусу трансферрина была установлена высокая степень гетерогенности. Выделены 5 аллелей: А, А', В, С и Y, которые формируют 10 генотипов. В процессе формирования маточного стада сарбоаянского карпа было решено маркировать его аллелями А, А', В и С.

Для анализа генетической структуры выборки ремонтно-маточного стада сарбоаянского карпа из 60 особей использовалась программа GenAIEx v.6.5 с получением таких характеристик, как среднее количество аллелей на локус (Na), эффективное число аллелей (Ne), уровни ожидаемой (He) и наблюдаемой (Ho) гетерозиготности, значение информационного индекса Шеннона (I) и индекс фиксации (FIS).



Изучалось разнообразие аллелей по 14 микросателлитным локусам (MFW1, MFW2, MFW6, MFW9, MFW10, MFW11, MFW13, MFW16, MFW20, MFW24, MFW26, MFW28, MFW29 и Cid0909) в исследуемой выборке. Каждый из локусов был представлен либо двумя аллелями (гетерозиготное состояние), либо одним аллелем (гомозиготное состояние). Установлено, что в исследованной выборке в 14 STR-локусах было идентифицировано 187 аллелей. Число аллелей в этих локусах варьировалось от 7 до 20 при среднем значении $13,429 \pm 0,912$.

Согласно графику главных компонент (PCA), выборка сарбоянского карпа показывает значительное генетическое разнообразие. На основании результатов ДНК-типирования образцов установлено, что наиболее генетически разнообразными являются 10 особей ($K \geq 8$), которые имеют высокий уровень разнообразия. В то же время 8 особей показывают средний уровень разнообразия. Генетически обедненных особей ($K \leq 4$), с низким уровнем генетического разнообразия, в выборке не было обнаружено.

Выполненный анализ молекулярной дисперсии (AMOVA) выявил особей с различными частотами аллельных вариантов по изучаемым локусам, которые могут стать потенциальными парами для скрещивания.

Таким образом, расчет генетических показателей для каждой особи позволяет выявить перспективных производителей для участия в селекционных программах, исходя из их высоких показателей гетерозиготности, а также оптимизировать процессы поддержания ремонтно-маточного стада и селекции (провести подбор пар для скрещивания).

Ключевые слова: сарбоянский карп, фенотипические признаки, генетическое разнообразие, трансферрин, генетическая структура, микросателлитные локусы, ДНК-маркеры

Uladzimir Yu. Aheyets¹, Olga N. Vishneuskaya¹, Tatiana A. Sergeeva³,
Maria V. Kniga¹, Anastasiya Yu. Kruk¹, Ivan A. Orlov¹, Daria A. Zhmoydyak¹,
Nastassia I. Tsar², Maria S. Parfenchyk², Viachaslau N. Kipen², Valentina A. Lemesh²

¹*Fish Industry Institute, National Academy of Sciences of Belarus,
Minsk, Republic of Belarus*

²*Institute of Genetics and Cytology, National Academy of Sciences of Belarus,
Minsk, Republic of Belarus*

³*State Association for Land Reclamation, Water and Fisheries "Belvodkhoz",
Minsk, Republic of Belarus*

EXTERIOR AND GENETIC FEATURES OF THE BELARUSIAN POPULATION OF SARBOYAN CARP BREED

Abstract. This study focused on mirror carp of the Sarboyan breed, which are part of the collection breeding stock of SPU "Izobelino."



During the research, biological material samples were collected from the senior breeding stock and producers of Sarboyan carp for subsequent molecular-genetic studies. The formation of a selection group of producers was conducted with consideration of the genetic diversity of the individuals, and their assessment was made based on a set of phenotypic characteristics.

It was noted that the fifth and sixth generations of Sarboyan carp from the collection stock retain the characteristic features of the breed standard. The producers are characterized by high condition coefficients (2.96 and 3.34, respectively) and possess a high-backed body shape with a shortened tail stem.

A high degree of heterogeneity was established while studying the senior breeding stock and producers of Sarboyan carp at the transferrin locus. Five alleles were identified: A, A', B, C, and Y, which form 10 genotypes. In the process of forming the breeding stock of Sarboyan carp, it was decided to mark it with alleles A, A', B, and C.

To analyze the genetic structure of a sample of the breeding stock of 60 Sarboyan carp, GenAIEx v.6.5 software was used, yielding characteristics such as the mean number of alleles per locus (N_a), effective number of alleles (N_e), levels of expected (H_e) and observed (H_o) heterozygosity, the Shannon information index (I), and fixation index (FIS).

The diversity of alleles was studied across 14 microsatellite loci (MFW1, MFW2, MFW6, MFW9, MFW10, MFW11, MFW13, MFW16, MFW20, MFW24, MFW26, MFW28, MFW29, and Cid0909) in the studied sample. Each locus was represented by either two alleles (heterozygous state) or one allele (homozygous state). It was found that the researched sample of Sarboyan carp identified 187 alleles across the 14 STR loci. The number of alleles in these loci varied from 7 to 20, with a mean of 13.429 ± 0.912 .

According to the principal component analysis (PCA) graph, the sample of Sarboyan carp shows significant genetic diversity. Based on the DNA profiling results of the Sarboyan carp samples, it was established that the most genetically diverse were 10 individuals ($K \geq 8$), which demonstrated a high level of diversity. At the same time, 8 individuals showed average levels of diversity. No genetically impoverished individuals ($K \leq 4$), with low genetic diversity, were found in the sample.

The analysis of molecular variance (AMOVA) revealed individuals with different frequencies of allelic variants across the studied loci, which could become potential pairs for breeding:

Thus, the calculation of genetic indicators for each individual allows for the identification of promising producers for participation in breeding programs based on their high heterozygosity levels, as well as optimizing



the maintenance processes of the breeding stock and selection (pairing for breeding).

Keywords: Sarboyan carp, phenotypic traits, genetic diversity, transferrin, genetic structure, microsatellite loci, DNA markers

Введение. В настоящее время в рыбоводных хозяйствах Беларуси местные малопродуктивные, заинбредированные стада карпа заменены на высокоценное племенное поголовье, представленное различными породами карпа и их высокопродуктивными помесями. Вместе с традиционными породами белорусской селекции в состав коллекционного стада СПУ «Изобелино» включены несколько пород карпа зарубежной селекции [1]. С целью расширить генетическое разнообразие пород, используемых в промышленной гибридизации для достижения гетерозисного эффекта, в 1990–1992 гг. в республику были завезены югославский, немецкий, сарбоянский карпы и карп фресинет [2].

В настоящее время сарбоянский карп, завезенный в СПУ «Изобелино», сохранен в чистом виде и представлен пятым и шестым поколениями. Наличие высокой общей комбинационной способности этой породы подтверждено экспериментально [2, 3]. Племенная работа с коллекционным генофондом сарбоянского карпа направлена на сохранение его генетической чистоты, контроля инбридинга, а также на изучение комбинационной способности исходного материала и подбор лучших компонентов для скрещивания. В связи с этим осуществляется мониторинг комплекса генетических, рыбохозяйственных, физиолого-биохимических и биохимических признаков сарбоянского карпа, входящего в состав коллекционного ремонтно-маточного стада.

В мировом рыбоводстве, в том числе и в Беларуси, молекулярно-генетический анализ ремонтно-маточных стад достаточно широко внедряется в практику карповодства, что повышает эффективность племенной работы в аквакультуре. Одним из распространенных типов генетических маркеров являются микросателлиты (SSR-маркеры, англ. Simple sequence repeats (SSRs)). Популярность использования микросателлитов для изучения генетического разнообразия внутри и между популяциями/породами обусловлена их высокой полиморфностью, кодоминантным наследованием, равномерностью распределения по всему геному, а также экономической эффективностью [22]. SSR-анализ позво-



ляет охарактеризовать генетический полиморфизм представителей разных видов и подвигов, может использоваться для внутри- и межвидовой идентификации генотипов [23].

Целью исследований являлось создание заводского зеркального типа в породе карпа сарбоаянский.

Для этого были решены следующие задачи:

- провести инвентаризацию и бонитировку имеющегося ремонтно-маточного стада сарбоаянского карпа;
- исследовать имеющееся стадо по маркирующим генетическим признакам;
- сформировать селекционную группу производителей, подобранных с учетом генетического разнообразия особей;
- оценить их по комплексу фенотипических признаков.

Материалы и методы исследований. На основе инвентаризации и бонитировки по общепринятым методикам осенью проводили рыбохозяйственную и фенотипическую оценку сарбоаянской породы карпа. Данные по рыбохозяйственным, морфометрическим и генетическим показателям стандарта (первого поколения) и современного состояния (пятого-шестого поколения) получены с использованием общепринятых методик [4, 5, 6].

Комплекс рыбохозяйственных признаков включал среднештучную массу производителей (и далее всех возрастных групп), их выживаемость [7].

Сеголетков сарбоаянской породы карпа выращивали отдельно в сходных прудах с одинаковым режимом кормления, санитарно-профилактических мероприятий, в одинаковых гидрохимических условиях [7, 8]. Осенью и весной перед размещением на зимовку и выращивание рыбу метили серийными механическими метками, которые подновляли в период весеннего и осеннего облова и сохраняли до конца жизни рыбы [9, 10]. У старшего ремонта (четырёхлетки, четырёхгодовики и старше) проводится индивидуальное мечение холодо-водорастворимыми красителями [11], а также мечение индивидуальными электронными чипами. Все производители и старший ремонт коллекционного ремонтно-маточного стада в настоящее время помечены индивидуально в соответствии с принятой схемой.

Биохимико-генетические исследования проводили методом электрофореза в полиакриламидном геле (ПААГ) в камере вертикальной модификации Г.Н. Нефедова и К.А. Трувелера [15].



ПААГ готовили по методу Б. Девиса [16], окрашивание гелевых блоков — по модификации А. Таммерта [17]. Белки трансферрина выявляли методом окрашивания в спиртово-уксусном растворе сложного красителя Кумасси и просветляли в таком же растворе без красителя. Закрепление окраски и временное хранение фореграмм проводили в спиртово-уксусном растворе [18].

Статистическую обработку собранного материала проводили общепринятыми методами [19, 20, 21]. Все результаты, полученные в ходе многочисленных опытов и экспериментов, обработаны биометрически в пакете EXCEL.

Для проведения исследований генома производителей сарбоянского карпа была проведена оптимизация условий ПЦР, состава реакционной смеси и режима амплификации. ПЦР проводилась в 25 мкл реакционной смеси, содержащей буфер для Taq-полимеразы (650 мМТрис- HCl , 166 мМ $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, 0,2 % Твин 20, pH 8,8), 0,2 мМдНТФ, 2,5 пМ каждого праймера, 2,5 мМ MgCl_2 , 0,5 ед. High-Fidelity ДНК-полимеразы («ОДО Праймтех»), 10–20 нг исследуемой ДНК. Программа амплификации включала следующие температурные режимы: 1 цикл (95 °C — 5 мин), 35 циклов (95 °C — 1 мин, 57 °C — 1 мин, 72 °C — 1 мин 20 с), 1 цикл (72 °C — 10 мин). Продукты реакции визуализировались в 1,5 % агарозном геле при окраске раствором бромид этидия.

Определение размеров ампликонов осуществлялось путем капиллярного гель-электрофореза на приборе с высокой разрешающей способностью ABI 3500 Genetic Analyzer, который, считывая флуоресцентный сигнал, определял размер фрагмента в сравнении с размерным стандартом Orange 500 DNA Size Standard («Nimagen»). Обработка полученного массива данных проводилась с использованием ПО Gene Mapper Software v5.

С использованием GenAIEx v.6.5 [24] рассчитаны показатели, характеризующие генетическую структуру выборки ремонтно-маточного стада сарбоянского карпа:

Na (среднее количество выявленных аллелей на локус) — показатель, который позволяет оценить аллельное разнообразие в популяции, основываясь на общем числе выявленных вариантов;

Ne (количество эффективных аллелей) — показатель, который характеризует распространенность аллелей, которые теоретически необходимы для достижения той же ожидаемой гетерозиготности,



что и в изучаемой популяции; позволяет определить разнообразие с учетом частоты встречаемости аллелей по конкретному локусу;

Но (наблюдаемая гетерозиготность) — показатель изменчивости (полиморфности) популяции, который описывает долю гетерозиготных генотипов в эксперименте;

Не (ожидаемая гетерозиготность) — показатель, который описывает долю гетерозиготных генотипов, ожидаемых в равновесии Харди-Вайнберга;

I (индекс разнообразия Шеннона) — количественная мера, которая отражает, сколько различных типов (например, субпопуляций) имеются в наборе данных (популяции); индекс позволяет произвести статистическую оценку изучаемых выборок и оценить значимость различий между уровнями разнообразия;

F_{IS} (индивидуальный индекс фиксации) — позволяет оценить степень родственного спаривания особей в субпопуляции, отражает отклонения генотипических частот с точки зрения недостатка или избытка гетерозигот.

Результаты исследований и их обсуждение. Состав ремонтно-маточного стада сарбоянского карпа. В настоящее время племенное коллекционное стадо сарбоянского карпа в СПУ «Изобелино» представлено пятым и шестым поколениями.

Ремонтно-маточное стадо представлено младшими (сеголетки) и старшими (трехлетки) ремонтными группами и производителями (пятiletки и старше).

Рыбохозяйственные показатели ремонтно-маточного стада (данные осени 2023 г.) представлены в табл. 1, а его состав — в табл. 2.

Таблица 1. Рыбохозяйственные показатели ремонтно-маточного стада сарбоянского карпа

Table 1. Fishery indicators of the Sarboyan carp broodstock

Возраст	Посажено			Вывлечено			Выживаемость, %
	количество, экз.	средняя масса, г	вес, кг	количество, экз.	средняя масса, г	вес, кг	
0+	6000	—	—	1240	40,5	51,4	21,2
2+	27	370,4	10,0	23	1291,3	29,7	85,2
4+	46	1993,5	91,7	46	2830,4	130,2	100
6+	22	3750,0	82,5	19	4905,3	93,2	86,4
8+	6	5410	30,8	6	6066,7	36,4	100
Итого	6101	—	214,7	1364	—	340,9	—



Таблица 2. Наличие коллекционного стада карпа чистых линий сарбомянского карпа в СПУ «Изобелино»
 Table 2. Availability of a collection stock of pure lines of Sarboyan carp in the SPU "Izobelino"

Возраст, лет	Наличие осенью 2023 г., экз.	Отобрано осенью, экз.	Процент отобранных особей	Средняя масса производителей, г
0+	1270	1140	89,8	40,1
2+	23	23	85,2	1291,3
4+	46	46	100,0	2830,4
6+	19	16	72,7	4768,8
8+	6	2	40,0	5250,0
В том числе производителей	71	64	84,0	—

Младшая ремонтная группа (сеголетки) сарбомянского карпа включает 1140 экз. средней массой тела 40,1 г. Старший ремонт (трехлетки) представлен 23 экз. со средней массой 1291 г. Стадо производителей насчитывает 64 экз., в том числе пятого поколения — 46 пятилеток (29 самок и 17 самцов, живой массой 2879 и 2527 г. соответственно), 16 семилеток (11 самок и 5 самцов, живой массой 5256 и 4180 г. соответственно). В стаде сохранены 2 производителя первой генерации пятого поколения (девятилетки) — 2 экз. (самки), ранее не использовавшиеся для получения племенного потомства.

Для дальнейшего использования оставлено 84 % производителей, имевшихся весной.

В процессе бонитировки отобрано 100 образцов биологического материала (кусочки плавников) у производителей сарбомянского карпа для проведения молекулярно-генетических исследований, которые в соответствии с требованиями методики, были зафиксированы в 96 % этиловом спирте.

Характеристика сарбомянского карпа. Происхождение. Сарбомянский карп (рис. 1) является породой, выведенной в России, для создания которой использовались зеркальные карпы из белорусского рыбхоза «Тремля», а также амурский сазан и ропшинский карп группы (ММ). В процессе селекции были сформированы три зональных типа сарбомянского карпа: северный, омский и степной. Эти типы характеризуются сплошным чешуй-



чатым покрывом, и при разведении дают небольшое расщепление по чешуйному покрову (не превышающим 15 % зеркальных особей).



Рис. 1. Двухлетки сарбоянского карпа пятого поколения в СПУ «Изобелино»
Fig. 1. Two-year-old Sarboyan carp of the fifth generation in the SPU "Izobelino"

Главной целью селекции сарбоянского карпа было создание породы, подходящей для разведения в условиях степной зоны Западной Сибири, что включало повышение плодовитости при естественном нересте и улучшение выживаемости молоди в первые два года.

Первая генерация гибридов была получена в 1961–1962 гг. в рыбсовхозе «Зеркальный» в Новосибирской области. При воспроизводстве гибридов проводилось возвратное скрещивание с зеркальным карпом, что позволило сформировать поголовье северного типа. В его наследственности содержится $1/8$ доля амурского сазана. Во втором поколении произошло скрещивание гибридов первого поколения зеркального карпа с ропшинским карпом и амурским сазаном, результатом чего стало маточное стадо омского типа, которое содержит $3/16$ доли амурского сазана.



В 1978 г., путем скрещивания северного и омского типов, было получено потомство четвертого поколения, сформировавшее массив степного типа, в котором 5/32 доли составляет наследственность амурского сазана.

Сарбомянский карп был завезен в Беларусь личинкой в 1991 г. из Литвы, где разводился омский зональный тип (с примерно 20 % долей наследственности амурского сазана). Этот тип отличается быстротой роста, устойчивостью к гипоксии и повышенным температурам. В первом поколении наблюдалось расщепление по чешуйчатому покрову, и для племенной работы в коллекционном стаде были оставлены только зеркальные особи. С первых лет наблюдалась высокая выживаемость сарбомянского карпа в период нагула и зимовки, начиная с двухлетнего возраста, а также более быстрые темпы роста по сравнению с другими зарубежными породами, выведенными и выращенными одновременно.

Для улучшения фенотипических характеристик сарбомянского карпа во втором селекционном поколении было проведено вводное скрещивание с отводкой Три прим Изобелинского карпа, а в третьем поколении – возвратное скрещивание.

На сегодняшний день порода, выращиваемая в Беларуси на протяжении пяти поколений, адаптировалась к условиям второй зоны рыбоводства, при этом значительно отклонившись от исходного генетического материала. Младший ремонт (сеголетки, годовики, двухлетки) показывает рыбохозяйственные показатели, близкие к нормативным требованиям для второй зоны рыбоводства. В Беларуси имеется генетически обособленная группа племенного материала, прошедшая период адаптации, которая представляется перспективной для селекционной работы по созданию нового заводского зеркального типа сарбомянского карпа.

Генетическая характеристика. Сарбомянский карп (омский зональный тип) отличался от остальных завезенных пород повышенным генетическим разнообразием локуса трансферрина. У старшего ремонта первого поколения, завезенного в Беларусь, установлено 6 вариантов генотипа с частотами встречаемости AA – 30,0 %, BB – 6,6 %, AB – 16,8 %, AC – 23,3 %, AD – 13,3 %, BC – 10,0 %. Самым распространенным аллелем у этой породы был аллель A (qA-0,533), частота встречаемости остальных аллелей составила qB-0,250, qB-0,167, qD-0,05.



В настоящее время у пятилетков сарбоянского карпа отмечены два аллеля трансферрина: А и С, имеется только один вариант гомозигот – АА (93,1 %) и один вариант гетерозигот – АС (6,9 %), табл. 3.

Таблица 3. Частоты генотипов по трансферриновому локусу генофонда сарбоянского карпа, %

Table 3. Frequencies of genotypes for the transferrin locus of the Sarboyan carp gene pool, %

Частоты генотипов, %	4+	6+	8+
Гомозиготы			
АА	93,1	29,4	63,63
ВВ	—	1,96	—
СС	—	—	9,09
ZZ	—	7,84	—
YY	—	—	—
Итого	93,1	39,2	72,72
Гетерозиготы	—	—	—
АВ	—	19,6	18,18
АС	6,9	3,92	—
AZ	—	11,76	—
AY	—	9,80	—
AA'	—	5,88	9,09
BC	—	1,96	—
BZ	—	3,92	—
A'B	—	1,96	—
A'Z	—	1,96	—
Итого	6,9	60,80	27,28

Повышенной генетической изменчивостью характеризуется карп возрастом 6+ (рис. 2). Гетерозиготность этой возрастной группы составила 60,8 %, всего отмечено 9 вариантов гетерозигот, из которых с повышенной частотой встречается АВ и AZ, 19,6 % и 11,76 % соответственно.

У семилетков выявлено три варианта гомозигот, отмечена повышенная частота генотипа АА (29,4 %).

У девятилеток выявлено два варианта гомозигот с преобладанием варианта АА (63,63 %). В возрастной группе 8+ отмечено два варианта гетерозигот с преобладанием АВ (18,18 %).



Рис. 2. Генетическая структура по типам трансферрина сарбоянского карпа разных возрастных групп

Fig. 2. Genetic structure by transferrin types of Sarboyan carp of different age groups

Все возрастные группы сарбоянского карпа характеризовались повышенной частотой встречаемости аллеля А (0,54–0,96), табл. 4.

Таблица 4. Частоты аллелей по локусу трансферрина генофонда сарбоянского карпа

Table 4. Allele frequencies for the transferrin locus of the Sarboyan carp gene pool

Возраст	Частота аллелей					
	q ^A	q ^B	q ^C	q ^Y	q ^Z	q ^{A'}
4+	0,96	—	0,04	—	—	—
6+	0,54	0,16	0,02	0,05	0,17	0,05
8+	0,77	0,09	0,09	—	—	0,05

Самая высокая частота встречаемости аллеля А (0,96) среди сарбоянского карпа отмечена у возраста 4+. Частота встречаемости аллелей В, С, А' значительно ниже (0,02–0,16).

Следует отметить, что тип трансферрина D, который редко встречался (qD-0,05) у производителей первого поколения, завезенного в нашу республику, у производителей четвертого и пятого поколения полностью отсутствует, что говорит о выпадении данного гена из популяции сарбоянского карпа в СПУ «Изобелино».

Морфологическая характеристика производителей. В целом производители сарбоянского карпа из коллекционного стада сохраняют особенности стандарта породы (табл. 5).



Таблица 5. Морфологические особенности производителей сарбоянского карпа

Table 5. Morphological features of Sarboyan carp producers

Показатель	Значения $\bar{x} \pm S_{\bar{x}}$		
	4+	6+	8+
Возраст рыб, лет			
Масса тела, кг	$2,75 \pm 0,08$	$4,87 \pm 0,30$	6,5
Коэффициент упитанности	$2,93 \pm 0,05$	$2,70 \pm 0,05$	2,86
Индекс высокоспинности, %	$2,92 \pm 0,02$	$3,34 \pm 0,06$	3,2
Индекс широкоспинности, %	$16,71 \pm 0,15$	$16,55 \pm 0,20$	17,54
Индекс длины головы, %	$26,57 \pm 0,21$	$23,74 \pm 0,42$	25,74
Индекс обхвата тела, %	$84,5 \pm 0,73$	$81,62 \pm 1,82$	83,61

Производители сарбоянского карпа характеризуются высокими значениями коэффициента упитанности, который в возрастной группе пятилетних производителей составляет 2,93 (с колебаниями от 2,61 до 3,50), семилетних производителей 2,7 (с колебаниями от 2,40 до 3,14), девятилетних – 2,86, т.е. у подавляющего большинства производителей данный показатель меньше 3.

Пропорция длины головы относительно длины тела существенно уменьшается с увеличением возраста: с 26,57 % у пятилеток до 23,74 % у семилетних производителей. По индексу широкоспинности производители пяти- и семилетнего возраста существенно не отличаются, в среднем этот индекс составил 16,71 % у производителей пятилетнего возраста и 16,55 % у семилеток. Индекс обхвата тела у пятилеток – 84,5 %, что немного больше, чем у производителей старших возрастов 81,6–83,6 %

По коэффициенту высокоспинности производители сарбоянского карпа семилетнего возраста (среднее значение индекса 3,34) значительно отличаются от производителей пятилетнего возраста (среднее значение индекса 2,92).

У производителей пятилетнего возраста изученные экстерьерные показатели указывают на относительно высокоспинную форму тела с крупной по размеру головой. Семилетние производители имеют более прогонистую форму тела и меньший размер головы, что вероятно связано с возрастом (с увеличением возраста рыба в большей степени растет в длину).

В целом производители сарбоянского карпа из коллекционного стада сохраняют особенности стандарта породы.



Результаты ДНК-типирования производителей сарбоянского карпа. Проведено исследование разнообразия аллелей по 14 микросателлитным локусам (MFW1, MFW2, MFW6, MFW9, MFW10, MFW11, MFW13, MFW16, MFW20, MFW24, MFW26, MFW28, MFW29 и Cid0909) выборки ремонтно-маточного стада сарбоянского карпа из 60 особей. Для каждого из 14 локусов представлены либо **два** аллеля (гетерозиготное состояние локуса), либо **один** аллель (гомозиготное состояние локуса) исходя из того, что карпы диплоидны.

Достоверные данные были получены по всем 14 STR-локусам. С использованием GenAIEx v.6.5 были рассчитаны следующие показатели: среднее число аллелей на локус (N_a), эффективное число аллелей (N_e), уровни ожидаемой (H_e) и наблюдаемой (H_o) гетерозиготности, значение информационного индекса Шеннона (I), индекс фиксации (F_{is}).

Установлено, что для данной выборки сарбоянского карпа в 14 исследованных STR-локусах было идентифицировано 187 аллелей. Число аллелей в исследованных локусах варьировало от 7 до 20 при среднем значении $13,429 \pm 0,912$. Наибольшее число аллелей представлено по маркерным локусам MFW26.

Число эффективных аллелей (N_e) в локусах варьировало от 3,226 (MFW13) до 13,675 (MFW20) при среднем значении $8,014 \pm 0,874$ аллелей на локус. Индекс биоразнообразия Шеннона (I) отражает сложность структуры сообщества, основываясь на количественной представленности объектов по анализируемым в исследовании локусам в популяции (находится в интервале значений 0-5). Значение индекса I , рассчитанного для совокупности 14 STR-локусов, составило $2,230 \pm 0,092$.

Наибольшее значение показателя ожидаемой гетерозиготности (H_e) было отмечено для локуса MFW20 (0,927), наименьшее — для локуса MFW13 (0,690) при среднем значении $0,851 \pm 0,018$. Наибольшее значение показателя наблюдаемой гетерозиготности (H_o) было отмечено для локуса Cid909 (1,000), наименьшее — для локуса MFW2 (0,475) при среднем значении $0,670 \pm 0,041$. Значения наблюдаемой и ожидаемой гетерозиготности различались по локусам. Известно, что искусственный отбор, мутации и другие эволюционные факторы могут воздействовать на локусы по-разному, что в результате изменяет степень гетерозиготности [30].



Наибольшее рассчитанное значение коэффициента F_{IS} для исследованной выборки белорусского зеркального карпа 1 линии показаны для локуса MFW24 (0,692), при среднем значении по 14 STR-локусам $0,403 \pm 0,081$ (табл. 6).

Таблица 6. Генетическая характеристика выборки производителей белорусского зеркального карпа по 14 STR-локусам
Table 6. Genetic characteristics of the sample of Belarusian mirror carp producers for 14 STR loci

STR-локус	Na	Ne	I	He	Ho	F_{IS}
Mfw 6	13,000	6,987	2,196	0,857	0,500	0,416
Cid 909	11,000	5,893	1,965	0,830	1,000	-0,204
Mfw 2	13,000	10,390	2,420	0,904	0,475	0,474
Mfw 10	7,000	4,156	1,606	0,759	0,900	-0,185
Mfw 1	12,000	7,940	2,239	0,874	0,750	0,142
Mfw 9	13,000	11,348	2,480	0,912	0,750	0,178
Mfw 24	16,000	10,423	2,546	0,904	0,625	0,309
Mfw 13	13,000	3,226	1,710	0,690	0,700	-0,014
Mfw 26	20,000	12,451	2,716	0,920	0,650	0,293
Mfw 11	16,000	5,136	2,170	0,805	0,550	0,317
Mfw 20	18,000	13,675	2,729	0,927	0,725	0,218
Mfw 29	15,000	9,195	2,427	0,891	0,675	0,243
Mfw 16	12,000	5,016	2,013	0,801	0,500	0,375
Mfw 28	9,000	6,362	2,005	0,843	0,575	0,318
Среднее значение показателя	$13,429 \pm 0,912$	$8,014 \pm 0,874$	$2,230 \pm 0,092$	$0,851 \pm 0,018$	$0,670 \pm 0,041$	$0,206 \pm 0,056$

Примечание. Na (No. Of Different Alleles) – количество выявленных аллелей, Ne (No. Of Effective Alleles) – количество эффективных аллелей, I (Shannon's Information Index) – информационный индекс Шеннона, Ho (Observed Heterozygosity) – наблюдаемая гетерозиготность, He (Expected Heterozygosity) – ожидаемая гетерозиготность, F_{IS} (Fixation Index) – индекс фиксации.

Для полной генетической характеристики изученной выборки сарбоянского карпа построен график главных компонент (рис. 3), где красным цветом обозначены особи 4 лет сарбоянского карпа, а зеленым – особи 6 лет.

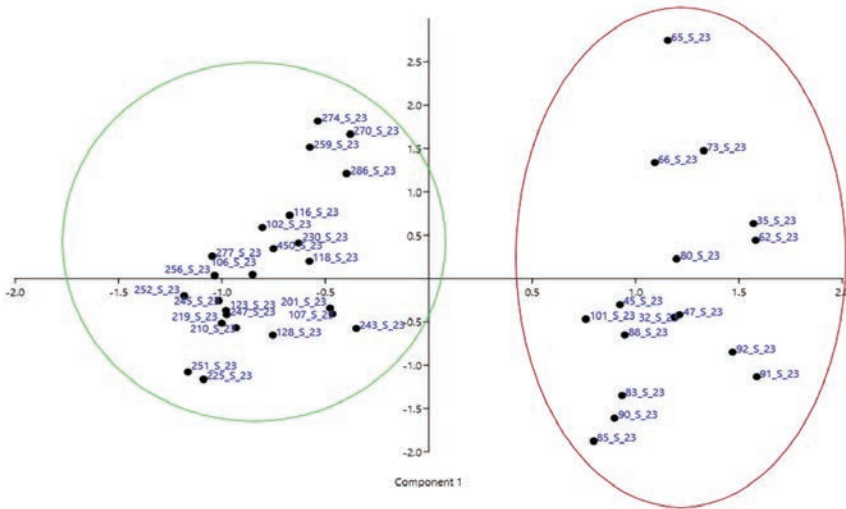


Рис. 3. График главных компонент (PCA) для выборки ремонтно-маточного стада сарбоянского карпа (на основании анализа генетических дистанций, рассчитанных по AMOVA)

Fig. 3. Principal component analysis (PCA) for a sample of Sarboyan carp broodstock (based on the analysis of genetic distances calculated by AMOVA)

Как видно из рис. 3, особи из выборки сарбоянского карпа формируют два неперекрывающихся кластера, генетические дистанции внутри этих кластеров меньше, чем между кластерами.

Далее были эмпирически рассчитаны показатели по гетерозиготности (H_e), по редким аллелям (с частотой встречаемости менее $\leq 5\%$, RA) и по наличию частных аллелей (встречаются только в одной из исследованных групп, PA). Для каждой особи рассчитано значение по формуле

$$K = H_e \cdot 0,7 + RA \cdot 0,3,$$

где K – уровень генетического разнообразия; H_e – показатель гетерозиготности; RA – количество редких аллелей.

В табл. 7 и на рис. 4 представлены результаты ДНК-типирования особей выборки сарбоянского карпа с указанием уровня генетического разнообразия K . Наиболее генетически разнообразными являются 10 особей ($K \geq 8$): для них установлен высокий уровень генетического разнообразия, 8 особей характеризовалась



средними показателями разнообразия. Генетически обедненных особей ($K \leq 4$) с низким уровнем генетического разнообразия обнаружено не было.

Таблица 7. Выборка разновозрастного племенного стада производителей сарбоянского карпа с указанием уровня генетического разнообразия
Table 7. Sample of mixed-age breeding stock of Sarboyan carp producers with indication of the level of genetic diversity

Шифр особи	K	Шифр особи	K
274_S_23	5	80_S_23	8,1
65_S_23	6,3	45_S_23	8,2
230_S_23	6,5	225_S_23	8,5
247_S_23	6,8	450_S_23	8,6
102_S_23	7,1	251_S_23	9,2
245_S_23	7,5	83_S_23	9,3
92_S_23	7,6	243_S_23	9,8
118_S_23	7,9	123_S_23	10,5
286_S_23	8,1	107_S_23	10,6

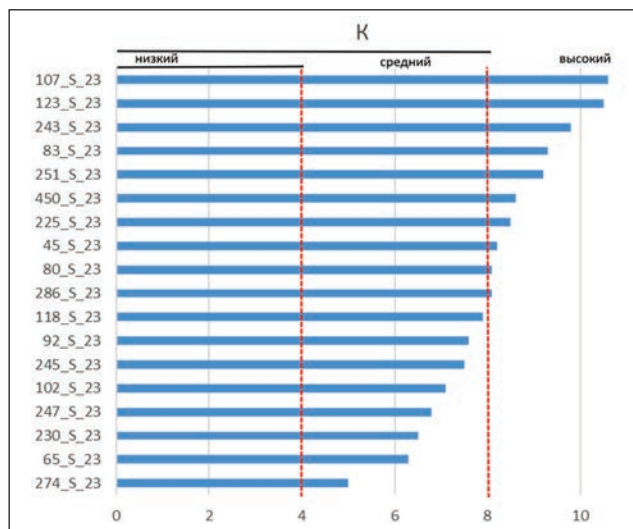


Рис. 4. Столбчатая диаграмма для выборки разновозрастного племенного стада производителей сарбоянского карпа с указанием уровня генетического разнообразия

Fig. 4. Column chart for a sample of mixed-age breeding stock of Sarboyan carp producers indicating the level of genetic diversity



На основании проведенного анализа молекулярной дисперсии (AMOVA) были выявлены особи, которые характеризуются разными частотами аллельных вариантов по изучаемым локусам и могут стать потенциальными парами для скрещивания:

♀ 225_S_23, 247_S_23, 251_S_23, 274_S_23, 286_S_23, 450_S_23;
♂ 65_S_23, 80_S_23, 83_S_23, 92_S_23, 45_S_23, 107_S_23.

Заключение.

1. Имеющееся в СПУ «Изобелино» маточное стадо сарбоянского карпа исследовано по маркирующим генетическим признакам, у каждого производителя определены типы трансферрина. Все возрастные группы сарбоянского карпа характеризовались повышенной частотой встречаемости аллеля А (0,54–0,96). Самая высокая частота встречаемости аллеля А (0,96) среди сарбоянского карпа отмечена у возраста 4+. Частота встречаемости аллелей В, С, А' значительно ниже (0,02–0,16).

2. Проведена оценка производителей по комплексу селекционных признаков. Сарбоянский карп имеет тело средней высоты и крупную голову, которая незначительно уменьшается с возрастом. Коэффициент упитанности в среднем составляет у пятилетних производителей 2,93 (от 2,61 до 3,50), семилетних производителей 2,7 (с колебаниями от 2,40 до 3,14), девятилетних — 2,86. В целом производители сарбоянского карпа из коллекционного стада сохраняют особенности стандарта породы.

3. Сотрудниками Института генетики и цитологии НАН Беларуси проведено ДНК-типирование производителей сарбоянского карпа по 14 микросателлитным локусам. Рассчитаны показатели, характеризующие генетическую структуру выборки ремонтно-маточного стада сарбоянского карпа. Проведено исследование разнообразия аллелей по 14 микросателлитным локусам, для каждого из которых представлены либо **два** аллеля (гетерозиготное состояние локуса), либо **один** аллель (гомозиготное состояние локуса). Для выборки сарбоянского карпа в 14 исследованных STR-локусах было идентифицировано 187 аллелей. Данные показывают, что выборка сарбоянского карпа достаточно разнообразна.

4. Согласно результатам ДНК-типирования особей выборки сарбоянского карпа с указанием уровня генетического разнообра-



разия (K) наиболее генетически разнообразными являются 10 особей ($K \geq 8$); для них установлен высокий уровень генетического разнообразия, 8 особей характеризовалась средними показателями разнообразия. Генетически обедненных особей ($K \leq 4$) с низким уровнем генетического разнообразия обнаружено не было. На основании проведенного анализа молекулярной дисперсии (AMOVA) были выявлены особи, которые характеризуются разными частотами аллельных вариантов по изучаемым локусам и могут стать потенциальными парами для скрещивания, т. е. по результатам генетического обследования отобрано 10 производителей, отличающихся наибольшим генетическим разнообразием.

Список использованных источников

1. Кончиц, В. В. Оценка гетерозисного эффекта у межлинейных, межпородных и межвидовых кроссов карпа и использование их для повышения эффективности рыбоводства: монография / В. В. Кончиц, М. В. Книга. — Минск: Тонпик, 2006. — 222 с.
2. Книга, М. В. Гетерозисный эффект у межпородных кроссов карпа / М. В. Книга // Аквакультура и интегрированные технологии: проблемы и возможности: материалы междунар. науч.-практ. конф. посвящ. 60-летию Моск. рыбовод.-мелиоратив. опыт. станции и 25-летию ее реорганизации в ГНУ ВНИИР [11–13 апр. 2005 г.: в 3 т.] / Рос. акад. с.-х. наук [и др.]. — М., 2005. — Т. 2. — С. 145–148.
3. Рыбохозяйственная характеристика сеголетков черепетского карпа / Е. В. Таразевич, М. В. Книга, А. П. Семенов [и др.] // Вопросы рыбного хозяйства Беларуси: сб. науч. тр. / Ин-т рыб. хоз-ва, Науч.-практ. центр НАН Беларуси по животноводству. — Минск, 2012. — Вып. 28. — С. 22–29.
4. Сборник нормативно-технологической документации по товарному рыбоводству: [в 2 т.] / Всесоюз. науч.-произв. об-ние по рыбоводству. — М.: Агропромиздат, 1986. — Т. 1. — 258 с.
5. Методика исследования морфоэкологических особенностей развития рыб в зародышевый, личиночный и мальковый периоды / Н. О. Ланге, Е. Н. Дмитриева, Е. Н. Смирнова, М. Пеняз // Типовые методики исследования продуктивности видов рыб в пределах их ареалов: [сб. ст.: в 5 ч.] / АН СССР [и др.]; отв. ред. Р. С. Вольскис. — Вильнюс, 1974. — Ч. 1. — С. 56–71.
6. Сборник научно-технологической и методической документации по аквакультуре / Всерос. науч.-исслед. ин-т рыб. хоз-ва и океанографии. — М.: ВНИРО, 2001. — 242 с.
7. Технологическая инструкция по разведению племенного карпа белорусской селекции / Е. В. Таразевич, М. В. Книга, А. П. Семенов



- [и др.] // Сборник научно-технологической и методической документации по аквакультуре в Беларуси / Ин-т рыб. хоз-ва НАН Беларуси; сост.: В. В. Кончиц [и др.]; под общ. ред. В. В. Кончица. — Минск, 2006. — Разд. 1.1. — С. 6–14.
8. Технологическая инструкция получения промышленных помесей местных карпов с породами европейского происхождения / Г. А. Прохорчик, Н. Н. Башунова, А. И. Чутаева [и др.] // Сборник научно-технологической и методической документации по аквакультуре в Беларуси / Ин-т рыб. хоз-ва НАН Беларуси; сост.: В. В. Кончиц [и др.]; под общ. ред. В. В. Кончица. — Минск, 2006. — Разд. 1.6. — С. 25–41.
 9. Инструкция по мечению племенных рыб: утв. М-вом рыб. хоз-ва СССР 15.08.1979. — М.: ВНИИПРХ, 1979. — 27 с.
 10. Катасонов, В. Я. Мечение племенных рыб / В. Я. Катасонов, Ю. П. Мамонтов // Сборник научных трудов / Науч.-произв. об-ние по рыбоводству, Всесоюз. науч.-исслед. ин-т прудового рыб. хоз-ва. — М., 1974. — Вып. 28: Генетика и селекция рыб. — С. 64–70.
 11. Инструкция по серийному мечению племенных производителей карпа органическими проционовыми красителями / А. И. Чутаева, А. П. Семенов, Е. В. Таразевич, И. В. Чимбур // Сборник научно-технологической и методической документации по аквакультуре в Беларуси / Ин-т рыб. хоз-ва НАН Беларуси; сост.: В. В. Кончиц [и др.]; под общ. ред. В. В. Кончица. — Минск, 2006. — Разд. 1.5. — С. 20–25.
 12. Методика выполнения измерений с использованием анализаторов сельскохозяйственных и пищевых продуктов FoodScan, FoodScan 2 Lab, FoodScan 2 Lab TS, FoodScan 2Pro // FSS Analytical A/S, Фосс Алле 1, DK-3400 Хиллерёд, Дания, 2019. — 18 с.
 13. Инструкция по физиолого-биохимическим анализам рыбы: [утв. М-вом рыб. хоз-ва СССР 11.07.1984 г.]. — М.: ВНИИПРХ, 1984. — 59 с.
 14. Дударенко, Л. С. Биохимическое исследование сыворотки крови изобелинского карпа / Л. С. Дударенко // Вопросы рыбного хозяйства Беларуси: сб. науч. тр. / Ин-т рыб. хоз-ва, Науч.-практ. центр НАН Беларуси по животноводству. — Минск, 2002. — Вып. 18. — С. 122–125.
 15. Трувелер, К. А. Многоцелевой прибор для вертикального электрофореза в параллельных пластинах полиакриламидного геля / К. А. Трувеллер, Г. Н. Нефедов // Научные доклады высшей школы. Биологические науки. — 1974. — № 9. — С. 137–140.
 16. Davis, B. I. Disc-electrophoresis — II metod and applications to human serum proteins / B. I. Davis // Annals of the New York Academy of Sciences. — 1964. — Vol. 121, № 2. — P. 404–427.
 17. Таммерт, М. Ф. Вариабельность трансферрина у карпа *Cyprinus carpio* L / М. Ф. Таммерт // Биохимическая генетика рыб: материалы



- 1-го Всесоюз. совещ. (Ленинград, 6–9 февр. 1973 г.) / Ин-т цитологии АН СССР; редкол.: В. С. Кирпичников, А. С. Трошин (отв. ред.), И. И. Фридлянская. — Л., 1973. — С. 138–140.
18. Демкина, Н. В. Биохимические маркеры в селекции и разведении карповых и осетровых рыб: автореф. дис. ... д-ра биол. наук: 03.00.10 / Демкина Наталья Викторовна; Всерос. науч.-исслед. ин-т пресновод. рыб. хоз-ва. — Минск, 2005. — 53 с.
19. Рокицкий, П. Ф. Статистические показатели для характеристики совокупности / П. Ф. Рокицкий // Биологическая статистика: [учеб. пособие] / П. Ф. Рокицкий. — 3-е изд., испр. — Минск, 1973. — Гл. 2. — С. 24–52.
20. Слуцкий, Е. С. Фенотипическая изменчивость рыб (селекционный аспект) / Е. С. Слуцкий // Известия Государственного научно-исследовательского института озерного и речного рыбного хозяйства. — Л., 1978. — Т. 134: Изменчивость рыб. — С. 3–132.
21. Мастицкий, С. Э. Методическое пособие по использованию программы STATISTIKA при обработке данных биологических исследований / С. Э. Мастицкий. — Минск: Ин-т рыб. хоз-ва, 2009. — 76 с.
22. Wenne, R. Microsatellites as molecular markers with applications in exploitation and conservation of aquatic animal populations / R. Wenne // Genes. — 2023. — Vol. 14, № 4. — Art. № 808.
23. Kohlmann, K. Microsatellite-based genetic variability and differentiation of domesticated, wild and feral common carp (*Cyprinus carpio* L.) populations / K. Kohlmann, P. Kerstena, M. Flajšhansb // Aquaculture. — 2005. — Vol. 247, № 1-4. — P. 253–266.
24. Peakall, R. GenAlEx 6.5: genetic analysis in Excel. Population genetic software for teaching and research—an update / R. Peakall, P.E. Smouse // Bioinformatics. — 2012. — Vol. 28, № 19. — P. 2537–2539.

References

1. Konchits V. V., Kniga M. V. *Otsenka geterozishnogo effekta u mezhlineinykh, mezhpородnykh i mezhhvidovykh krossov karpa i ispol'zovanie ikh dlya povysheniya effektivnosti rybovodstva* [Assessment of the heterosis effect in interline, interbreed and interspecific carp crosses and their use to improve the efficiency of fish farming]. Minsk, Tonpik, 2006. 222 p. (in Russian).
2. Kniga M. V. Heterosis effect in interbreed carp crosses. *Akvakul'tura i integrirovannye tekhnologii: problemy i vozmozhnosti: materialy mezhdunar. nauch.-prakt. konf. posvyashch. 60-letiyu Mosk. rybovod.-meliorativ. opyt. stantsii i 25-letiyu ee reorganizatsii v GNU VNIIR, 11–13 apr. 2005 g.: v 3 t.* [Aquaculture and integrated technologies: problems and opportunities: materials of the Intern. sci. a. practical conf. dedicated to the 60th anniversary of the Moscow Fish Breeding a. Reclamation Experimental Station a. the 25th anniversary of its reorganization into the GNU VNIIR, 11–13 April 2005: in 3 vol.]. Moscow, 2005, vol. 2, pp. 145–148 (in Russian).



3. Tarazevich E. V., Kniga M. V., Semenov A. P., Vashkevich L. M., Us A. P., Kananovich T. Yu., Tentevitskaya L. S. Fishery characteristics of fingerlings of the Cherepet carp. *Voprosy rybnogo khozyaistva Belarusi: sb. nauch. tr.* [Issues of fisheries in Belarus: collection of sci. papers]. Minsk, 2012, iss. 28, pp. 22–29 (in Russian).
4. *Sbornik normativno-tehnologicheskoi dokumentatsii po tovarnomu rybovodstvu: v 2 t.* [Collection of regulatory and technological documentation on commercial fish farming: in 2 vol.]. Moscow, Agropromizdat, 1986, vol. 1, 258 p. (in Russian).
5. Lange N. O., Dmitrieva E. N., Smirnova E. N., Penyaz M. Methodology for the study of morphological and ecological features of fish development in the embryonic, larval and juvenile periods. *Tipovye metodiki issledovaniya produktivnosti vidov ryb v predelakh ikh arealov: sb. st.: v 5 ch.* [Typical methods of studying the productivity of fish species within their ranges: collection of art.: in 5 pt]. Vilnius, 1974, pt. 1, pp. 56–71 (in Russian).
6. *Sbornik nauchno-tehnologicheskoi i metodicheskoi dokumentatsii po akvakul'ture* [Collection of scientific, technological and methodological documentation on aquaculture]. Moscow, VNIRO, 2001. 242 p. (in Russian).
7. Tarazevich E. V., Kniga M. V., Semenov A. P., Sazanov V. B., Dudarenko L. S., Us A. P. Technological instructions for breeding breeding carp of the Belarusian selection. *Sbornik nauchno-tehnologicheskoi i metodicheskoi dokumentatsii po akvakul'ture v Belarusi* [Collection of scientific, technological and methodological documentation on aquaculture in Belarus]. Minsk, 2006, chap. 1.1, pp. 6–14 (in Russian).
8. Prokhorchik G. A., Bashunova N. N., Chutaeva A. I., Semenov A. P., Tarazevich E. V. Technological instructions for the production of industrial mixtures of local carp with breeds of European origin. *Sbornik nauchno-tehnologicheskoi i metodicheskoi dokumentatsii po akvakul'ture v Belarusi* [Collection of scientific, technological and methodological documentation on aquaculture in Belarus]. Minsk, 2006, chap. 1.6, pp. 25–41 (in Russian).
9. *Instruktsiya po mecheniyu plemennykh ryb: utv. M-vom ryb. khoz-va SSSR 15.08.1979* [Instructions for tagging breeding fish: approved Min. of Fisheries of the USSR 15 Aug.1979]. Moscow, VNIIPRKh, 1979. 27 p. (in Russian).
10. Katasonov V. Ya., Mamontov Yu. P. Tagging of breeding fish. *Sbornik nauchnykh trudov* [Collection of scientific papers]. Moscow, 1974, iss. 28: Genetics and breeding of fish, pp. 64–70 (in Russian).
11. Chutaeva A. I., Semenov A. P., Tarazevich E. V., Chimbur I. V. Instructions for serial labeling of breeding carp producers with organic procyon dyes. *Sbornik nauchno-tehnologicheskoi i metodicheskoi dokumentatsii po akvakul'ture v Belarusi* [Collection of scientific, technological and methodological documentation on aquaculture in Belarus]. Minsk, 2006, chap. 1.5, pp. 20–25 (in Russian).
12. *Metodika vypolneniya izmerenii s ispol'zovaniem analizatorov sel'skokhozyaystvennykh i pishchevykh produktov FoodScan, FoodScan 2 Lab, FoodScan 2 Lab TS,*



- FoodScan 2Pro* [Measurement methodology using analyzers of agricultural products and food products FoodScan, FoodScan 2 Lab, FoodScan 2 Lab you, FoodScan 2Pro]. Hilleruid, 2019. 18 p. (in Russian).
13. *Instruktsiya po fiziologo-biokhimicheskim analizam ryby: utv. M-vom ryb. khoz-va SSSR 11.07.1984 g.* [Instructions for physiological and biochemical analyses of fish: approved Min. of Fisheries of the USSR 11 July 1984]. Moscow, VNIIPRKh, 1984. 59 p. (in Russian).
 14. Dudarenko L. S. Biochemical study of the blood serum of the Isobel carp. *Voprosy rybnogo khozyaistva Belarusi: sb. nauch. tr.* [Issues of fisheries in Belarus: collection of sci. papers]. Minsk, 2002, iss. 18, pp. 122–125 (in Russian).
 15. Truveller K. A., Nefedov G. N. Multi-purpose device for vertical electrophoresis in parallel plates of polyacrylamide gel. *Nauchnye doklady vysshei shkoly. Biologicheskije nauki = Scientific reports of the higher school. Biological sciences*, 1974, no. 9, pp. 137–140 (in Russian).
 16. Davis B. I. Disc-electrophoresis – II metod and applications to human serum proteins. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1964, vol. 121, no. 2, pp. 404–427.
 17. Tammert M. F. Variability of transferrin in carp *Cyprinus carpio* L. *Biokhimicheskaya genetika ryb: materialy 1-go Vsesoyuz. soveshch. (Leningrad, 6–9 fevr. 1973 g.)* [Biochemical genetics of fish: materials of the 1st All-Union Meet. (Leningrad, 6–9 Febr. 1973)]. Leningrad, 1973, pp. 138–140 (in Russian).
 18. Demkina N. V. *Biokhimicheskie markery v selektsii i razvedenii karpovykh i osetrovyykh ryb: avtoref. dis. ... d-ra biol. nauk: 03.00.10* [Biochemical markers in the breeding and breeding of carp and sturgeon fish: abstract of the diss. ... dr. of biological sciences: 03.00.10]. Minsk, 2005. 53 p. (in Russian).
 19. Rokitskii P. F. Statistical indicators to characterize the population. *Biologicheskaya statistika* [Biological statistics], 3rd ed., rev., Minsk, 1973, chap. 2, pp. 24–52 (in Russian).
 20. Slutskii E. S. Phenotypic variability of fish (breeding aspect). *Izvestiya Gosudarstvennogo nauchno-issledovatel'skogo instituta ozer'nogo i rechnogo rybnogo khozyaistva* [Proceedings of the State Scientific Research Institute of Lake and River Fisheries]. Leningrad, 1978, vol. 134: Variability of fish, pp. 3–132 (in Russian).
 21. Mastitskii S. E. *Metodicheskoe posobie po ispol'zovaniyu programmy STATISTIKA pri obrabotke dannykh biologicheskikh issledovaniy* [Methodological guide on the use of the STATISTICA program in the processing of biological research data]. Minsk, Fish Industry Institute, 2009. 76 p. (in Russian).
 22. Wenne R. Microsatellites as molecular markers with applications in exploitation and conservation of aquatic animal populations. *Genes*, 2023, vol. 14, no. 4, art. № 808.



23. Kohlmann K., Kerstena P., Flajžhansb M. Microsatellite-based genetic variability and differentiation of domesticated, wild and feral common carp (*Cyprinus carpio* L.) populations. *Aquaculture*, 2005, vol. 247, no. 1-4, pp. 253–266.
24. Peakall R., Smouse P. E. GenAlEx 6.5: genetic analysis in Excel. Population genetic software for teaching and research-an update. *Bioinformatics*, 2012, vol. 28, no. 19, pp. 2537–2539.

Сведения об авторах

Агеец Владимир Юльянович — доктор сельскохозяйственных наук, профессор, директор, Институт рыбного хозяйства, Национальная академия наук Беларуси (ул. Стебенева, 22, 220024, Минск, Республика Беларусь). E-mail: belniirh@mail.ru

Вишневская Ольга Николаевна — кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, старший научный сотрудник лаборатории селекции и племенной работы, Институт рыбного хозяйства, Национальная академия наук Беларуси (ул. Стебенева, 22, 220024, Минск, Республика Беларусь). E-mail: belaboka@internet.ru

Сергеева Татьяна Александровна — главный специалист управления по аквакультуре и рыболовному хозяйству, Государственное объединение по мелиорации земель, водному и рыбному хозяйству «Белводхоз» (ул. Коммунистическая, 11-519, 220029, Минск, Республика Беларусь). E-mail: tasergeeva@tut.by

Книга Мария Владимировна — кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, ведущий сотрудник лаборатории селекции и племенной работы, Институт рыбного хозяйства, Национальная академия наук Беларуси (ул. Стебенева, 22, 220024, Минск, Республика Беларусь). E-mail: belniirh@tut.by

Крук Анастасия Юрьевна — научный сотрудник лаборатории селекции и племенной работы, Институт рыбного хозяйства, Национальная академия наук Беларуси (ул. Стебенева, 22, 220024, Минск, Республика Беларусь). E-mail: nastilyu2310@gmail.com

Орлов Иван Анатольевич — научный сотрудник лаборатории селекции и племенной работы, Институт рыбного хозяйства, Национальная академия наук Беларуси (ул. Стебенева, 22, 220024, Минск, Республика Беларусь). E-mail: belniirh@mail.ru

Войтюк Татьяна Федоровна — ведущий специалист лаборатории селекции и племенной работы, Институт рыбного хозяйства, Национальная академия наук Беларуси (ул. Стебенева, 22, 220024, Минск, Республика Беларусь). E-mail: belniirh@mail.ru

Жмойдяк Дарья Александровна — младший научный сотрудник лаборатории селекции и племенной работы, Институт рыбного хозяйства, Национальная академия наук Беларуси (ул. Стебенева, 22, 220024, Минск, Республика Беларусь). E-mail: belniirh@mail.ru

Царь Анастасия Ивановна — научный сотрудник лаборатории прикладной геномики, Институт генетики и цитологии, Национальная академия наук



Беларуси (ул. Академическая, 27, 220072, Минск, Республика Беларусь).
E-mail: a.tsar@igc.by

Парфенчик Мария Сергеевна — кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории прикладной геномики, Институт генетики и цитологии, Национальная академия наук Беларуси (ул. Академическая, 27, 220072, Минск, Республика Беларусь). E-mail: m.parfenchyk@igc.by

Кипень Вячеслав Николаевич — кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории прикладной геномики, Институт генетики и цитологии, Национальная академия наук Беларуси (ул. Академическая, 27, 220072, Минск, Республика Беларусь). E-mail: V.Kipen@igc.by

Лемеш Валентина Александровна — кандидат биологических наук, доцент, заведующий лабораторией прикладной геномики, Институт генетики и цитологии, Национальная академия наук Беларуси (ул. Академическая, 27, 220072, Минск, Республика Беларусь). E-mail: V.Lemesh@igc.by

Information about the authors

Uladzimir Yu. Ahejets — D.Sc. (Agriculture), Professor, Director, Fish Industry Institute, National Academy of Sciences of Belarus (22, Stebeneva Str., 220024, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: belniirh@mail.ru

Olga N. Vishneuskaya — Ph.D. (Agricultural), Associate Professor, Senior researcher, Laboratory Breeding and Breeding work, Fish Industry Institute, National Academy of Sciences of Belarus (22, Stebeneva Str., 220024, Minsk, Republic of Belarus). Email: belaboka@internet.ru

Tatiana A. Sergeeva — Chief Specialist of the Department of Aquaculture and Fisheries of the State Association for Land Reclamation, Water and Fisheries “Belvodkhoz”, (11-519, Kommunisticheskaya Str., 220029, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: tasergeeva@tut.by

Maria V. Kniga — Ph.D. (Agricultural), Associate Professor, Leading employee, Laboratory Breeding and Breeding work, Fish Industry Institute, National Academy of Sciences of Belarus (22, Stebeneva Str., 220024, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: belniirh@mail.ru

Anastasiya Yu. Kruk — Researcher, Laboratory of Breeding and Breeding Work, Fish Industry Institute, National Academy of Sciences of Belarus (22, Stebeneva Str., 220024, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: nastilyu2310@gmail.com

Ivan A. Orlov — Researcher, Laboratory of Breeding and Breeding Work, Fish Industry Institute, National Academy of Sciences of Belarus (22, Stebeneva Str., 220024, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: belniirh@mail.ru

Tatyana F. Voytyuk — Leading Specialist of the Laboratory of Breeding and Breeding Work, Fish Industry Institute, National Academy of Sciences of Belarus (22, Stebeneva Str., 220024, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: belniirh@mail.ru

Daria A. Zhmoydyak — Junior Researcher, Laboratory of Breeding and Breeding Work, Fish Industry Institute, National Academy of Sciences of Belarus (22, Stebeneva Str., 220024, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: belniirh@mail.ru

Nastassia I. Tsar — Researcher of the Laboratory of Applied Genomics, Institute of Genetics and Cytology, National Academy of Sciences of Belarus (27,



Akademicheskaya Str., 220072, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: a.tsar@igc.by

Maria S. Parfenchyk – Ph.D. (Biology), Lead Researcher Head of the Laboratory of Applied Genomics, Institute of Genetics and Cytology, National Academy of Sciences of Belarus (27, Akademicheskaya Str., 220072, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: m.parfenchyk@igc.by.

Viachaslau N. Kipen – Ph.D. (Biology), Associate Professor, Leading Researcher, Laboratory of Applied Genomics, Institute of Genetics and Cytology, National Academy of Sciences of Belarus (27, Akademicheskaya Str., 220072, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: V.Kipen@igc.by

Valentina A. Lemesh – Ph.D. (Biology), Assistant Professor, Head of the Laboratory of Applied Genomics, Institute of Genetics and Cytology, National Academy of Sciences of Belarus (27, Akademicheskaya Str., 220072, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: v.lemesh@igc.by

УДК 639.215.3.032

Поступила в редакцию 04.11.2024

Received 04.11.2024

**О. Н. Вишневская¹, М. В. Книга¹, А. Ю. Крук¹, Т. А. Сергеева²,
И. А. Орлов¹, Д. А. Жмойдяк¹**

¹*Институт рыбного хозяйства, Национальная академия наук Беларуси,
Минск, Республика Беларусь*

²*Государственное объединение по мелиорации земель, водному и рыбному
хозяйству «Белводхоз», Минск, Республика Беларусь*

ХАРАКТЕРИСТИКА ФИЗИОЛОГО-БИОХИМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ СЫВОРОТКИ КРОВИ СЕГОЛЕТКОВ КОЛЛЕКЦИОННЫХ ЛИНИЙ И КРОССОВ КАРПА

Аннотация. Физиологическое состояние младших ремонтных групп коллекционных пород карпа и двухпородных кроссов оценивали с помощью биохимического исследования сыворотки крови по основным показателям: содержание общего белка, глюкозы, холестерина. Установлены чистые линии и кроссы, у сеголетков которых отмечено повышенное содержание общего белка, глюкозы и холестерина. Проведено сравнение содержания общего белка, глюкозы, холестерина у реципрокных кроссов и установлены комбинации скрещиваний, обладающие преимуществами. Повышенными физиолого-биохимическими параметрами по сумме трех рассмотренных показателей характеризовался кросс югославский карп × отводка изобелинского карпа смесь чешуйчатая. В целом группа реципрок-