

Применение методологии расчета оценок племенной ценности сибирского осетра ленской популяции, выращиваемого в условиях установки замкнутого водоснабжения*

В. И. НИКИПЕЛОВ, А. К. НИКИПЕЛОВА, А. А. БЕЛОУС

Федеральный исследовательский центр животноводства – ВИЖ имени академика Л.К. Эрнста, пос. Дубровицы, 60, г.о. Подольск, Московская обл., 142132, Российская Федерация.

Резюме. Сибирский осетр (*Acipenser baerii*) – представитель осетровых рыб, который имеет большое экономическое и хозяйственное значение как источник ценной икры и высококачественной мясной продукции. Исследования проводили с целью определения точности оценок племенной ценности осетровых рыб по собственным показателям роста и развития в условиях установки замкнутого водоснабжения. Оценки племенной ценности, коэффициенты повторяемости, генетические и фенотипические корреляции рассчитывали по следующим признакам: коэффициент упитанности, коэффициент широкоспинности, общая живая масса и среднесуточный прирост. Для селекционно-генетического анализа на основе методологии наилучшего линейного несмещенного прогноза BLUP Animal Model (BLUP AM, «Модель животного») использовали 283 особи сибирского осетра ленской популяции. По фенотипическим значениям наблюдаемая повторяемость прироста живой массы, среднесуточного прироста и упитанности находилась на среднем уровне ($r_w = 0,45...0,56$), что свидетельствует о неравномерности показателей, демонстрируемых животными в ходе их развития. Повторяемость фенотипических значений живой массы была очень высокой ($r_w = 0,88$), что свидетельствует о линейной динамике роста поголовья. Самая высокая повторяемость оценок животных отмечена по признакам прироста живой массы ($r_w = 0,83$) и среднесуточного прироста ($r_w = 0,96$). При сопоставлении списков оценок рыб по среднесуточному приросту за первую и совокупность первых двух бонитировок из десяти лучших годовиков сибирского осетра ленской популяции пять остались в списке, не сохранив, однако, своего ранга. Наименьшей повторяемостью оценок племенной ценности отличались признаки коэффициента упитанности ($r_w = 0,19$) и коэффициента широкоспинности ($r_w = 0,06$), что свидетельствует о неравномерности влияния индивидуальных эффектов генотипа особей на оценки роста и развития исследуемых годовиков. Полученные результаты дают основания полагать, что использованные при проведении исследований признаки могут быть улучшены путем селекции у полиплоидных рыб.

Ключевые слова: сибирский осетр (*Acipenser baerii*), популяция, товарная аквакультура, BLUP, оценка племенной ценности.

Сведения об авторах: В. И. Никипелов, младший научный сотрудник; А. К. Никипелова, младший научный сотрудник; А. А. Белоус, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник (e-mail: abelous.vij@ya.ru)

Для цитирования: Никипелов В. И., Никипелова А. К., Белоус А. А. Применение методологии расчета оценок племенной ценности сибирского осетра ленской популяции, выращиваемого в условиях установки замкнутого водоснабжения // Достижения науки и техники АПК. 2023. Т. 37. № 9. С. 102–107. doi: 10.53859/02352451_2023_37_9_102

*исследования проведены при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации. регистрационный номер темы Государственного задания № FGGN-2022-0007.

Application of the methodology for calculating breeding value estimates of siberian sturgeon from the lensk population grown under closed water supply system conditions

V. I. Nikipelov, A. K. Nikipelova, A. A. Belous

Federal Research Center for Animal Husbandry named after Academy Member L.K. Ernst, pos. Dubrovitsy, 60, g.o. Podol'sk, Moskovskaya obl., 142132, Russian Federation

Abstract. Siberian sturgeon (*Acipenser baerii*) is a species of sturgeon fish that holds significant economic and commercial importance as a source of valuable caviar and high-quality meat products. The aim of this study was to determine the accuracy of breeding value estimates in sturgeon fish based on their own growth and development indicators under conditions of closed water supply systems. Estimates of breeding value, repeatability coefficients, genetic and phenotypic correlations were calculated for the following traits: body condition factor, body depth index, live weight gain, total live weight and daily weight gain. For the selection-genetic analysis using the Best Linear Unbiased Prediction Animal Model (BLUP AM), 283 individuals from the Siberian sturgeon population of the Lena River were used. Based on the phenotypic values, the observed repeatability of live weight gain, daily weight gain, and condition factor was at a moderate level ($r_w = 0,45...0,56$), indicating the variability in the traits exhibited by the animals during their development. The repeatability of phenotypic values for live weight was very high ($r_w = 0,88$), suggesting a linear growth dynamic in the population. The highest repeatability of animal evaluations was observed for live weight gain ($r_w = 0,83$) and daily weight gain ($r_w = 0,96$). When comparing the rankings of fish based on their daily weight gain for the first and the combined scores of the first two assessments among the top ten year-old Siberian sturgeon, five remained in the ranking but did not retain their original positions. The lowest repeatability of breeding value estimates was associated with the body condition factor ($r_w = 0,19$) and body depth index ($r_w = 0,06$), indicating the non-uniform influence of individual genotype effects on the growth and development estimates of the examined yearlings. The results suggest that the traits used in this study may be improved through selection in polyploid fish.

Keywords: siberian sturgeon (*Acipenser baerii*), population, aquaculture, BLUP, breeding value assessment

Author Details: V. I. Nikipelov, junior research fellow; A. K. Nikipelova, junior research fellow; A. A. Belous, Cand. Sc. (Biol.), senior research fellow (e-mail: abelous.vij@ya.ru)

For citation: Nikipelov VI, Nikipelova AK, Belous AA. [Application of the methodology for calculating breeding value estimates of siberian sturgeon from the lensk population grown under closed water supply system conditions]. Dostizheniya nauki i tekhniki APK. 2023;37(9):102–7. Russian. doi: 10.53859/02352451_2023_37_9_102

Осетрообразные (*Acipenseriformes*) – уникальные и старейшие рыбы, которых часто называют «живыми ископаемыми», поскольку летопись их окаменелостей восходит к верхнему мелу [1]. Долгое время

их считали ценным продуктом рыболовства (как источник икры), однако из-за статуса вида под угрозой исчезновения в природе, в последние годы единственным источником продукции этих рыб стала товарная аквакультура [2, 3].

На сегодняшний день благодаря способности производить высококачественную икру и мясо для потребления человеком перспективным объектом аквакультуры считают сибирского осетра (*Acipenser baerii*) [4]. Этот вид также представляет большой интерес для программ пополнения естественных запасов, поскольку он включен в список диких популяций, находящихся под угрозой исчезновения [5].

Сибирский осетр способен быстро приспосабливаться к различным условиям окружающей среды и разнообразным рационам питания [6, 7]. Благодаря быстрому росту при высокой плотности посадки, устойчивости к патогенам, а также возможности производства высококачественных и ценных продуктов (мясо и икра) в последние десятилетия ведется его интенсивное товарное разведение как в России, так и за рубежом [8].

Открытым вопросом в осетроводстве остается подтверждение происхождения особей, в связи с оплодотворением одной партии икры двумя-тремя самцами. Перспективным направлением в этом отношении может быть использование таких молекулярно-генетических методов, как генотипирование с помощью микросателлитных и SNP-маркеров, аналогично генетическому анализу сельскохозяйственных животных [9, 10]. Кроме того, в отсутствие разработанных технологических подходов к молекулярно-генетической экспертизе на уровне изучаемого вида необходимо изучение вопросов оценки племенной ценности осетровых по собственной продуктивности.

На сегодняшний день в отраслях животноводства с развитым методологическим аппаратом (молочное скотоводство, свиноводство) высокую результативность при оценке животных по собственной продуктивности доказал метод наилучшего линейного несмещенного прогноза (Best Linear Unbiased Prediction, BLUP) [11, 12, 13]. Этот метод подразумевает формирование математической модели, описывающей признак путем выявления влияния, учитываемых в ней эффектов на наблюдаемые значения путем анализа параметров разнообразия.

Эффекты, включаемые в модель, подразделяются на фиксированные и рандомизированные. Воздействие фиксированных эффектов считается одинаковым для всех особей в выборке. Например, влияние пола на размеры и живую массу у видов животных, для которых характерен половой диморфизм будет одинаковым для всех особей, включенных в выборку. Математически это описывается, как отклонение в большую или меньшую сторону от популяционной константы (среднего значения). Изменчивость исследуемого признака, связанная с дополнительными количественными переменными (ковариантами), также интерпретируется, как фиксированный эффект и выражается в коэффициенте регрессии. Рандомизированные эффекты описывают случайную вариацию признака в выборке. Она может быть привязана к совокупности условий, в которых содержали животных, путем подразделения выборки на группы. К подобной классификации относится, например, принадлежность животного к стаду. Другим источником случайной вариации служит генотип животного. С учётом уникальности каждого генотипа, его влияние также принимается за случайный эффект и, как правило, интерпретируется, как оценка агрегатного влияния генотипа на продуктивность или оценка племенной ценности животного. Таким образом, фиксированные эффекты одинаковы для всех, а случайные эффекты уникальны для каждой особи. Их разделение важно для правильного анализа данных.

При оценке племенной ценности на основании исключительно результатов измерений собственной продуктивности, эффект «животное» в модели BLUP будет учитывать индивидуальные различия между особями, не объясняемые другими факторами, предусмотренными моделью. Кроме того, в таком случае будет принято допущение, что генетическая изменчивость в популяции однородна. Оценки животных при этом могут быть интерпретированы, как показатели племенной ценности, однако их точность без данных о происхождении будет ниже, и для достижения приемлемой степени достоверности необходимо использовать множество записей о продуктивности животного на протяжении различных периодов его роста и развития.

В связи с необходимостью прогнозирования племенной ценности рыб, не достигших репродуктивного возраста, и выявления наилучших особей по росту и развитию, цель исследований заключалась в расчете оценок племенной ценности по показателям продуктивности сибсов-полусибсов сибирского осетра ленской популяции, содержащихся в условиях установки замкнутого водоснабжения (УЗВ).

Для ее достижения решали следующие задачи: сформировать массив данных измерений в разные даты роста сибирского осетра ленской популяции; определить основные описательные характеристики выборки (уровни развития морфометрических характеристик и хозяйственно-полезных признаков, параметры разнообразия);

выявить взаимосвязи между исследуемыми признаками;

сформировать математические модели, описывающие изменчивость признаков для дальнейшей оценки изучаемых рыб;

определить точность получаемых оценок путём выявления их повторяемости;

смоделировать отбор особей по наиболее точно оцененным признакам;

определить динамику взаимосвязей между полученными оценками рыб по исследуемым признакам за два периода измерений.

Условия, материалы и методы. Материалом для исследования послужили данные двух бонитировок, проведенных на особях сибирского осетра ленской популяции генерации марта 2022 г. ($n = 283$), содержащихся в экспериментальной установке замкнутого водоснабжения (УЗВ) на базе ФГБНУ ФИЦ ВИЖ им. Л.К. Эрнста, мощностью до 1,5 т. Первую бонитировку проводили 21.03.2023 г., когда возраст рыб составлял 12 месяцев, вторую – 11.05.2023 г. в возрасте 14 месяцев.

Существуют различные методы оценки общего состояния осетровых рыб. В основном они включают в себя визуальную оценку внешнего вида, проверку состояния жабр, плавников, чешуи и кожи рыбы. При этом выводы о физиологическом состоянии рыб можно сделать на основе коэффициентов упитанности по Фультону и широкоспинности (отношение наибольшей толщины тела к ее длине, выраженное в процентах). Чем выше их значения, тем более здоровой считается рыба. Истощенная рыба характеризуется низкими величинами указанных коэффициентов, чаще подвержена болезням и, соответственно, не пригодна для целей воспроизводства, поэтому отбраковывается в первую очередь.

Коэффициент упитанности по Фультону рассчитывали следующим образом (Правдин И. Ф. Руководство по изучению рыб (преимущественно пресноводных) /

под ред. П. А. Дрягина, В. В. Покровского. М.: Пищевая промышленность, 1966. 376 с.):

$$f = \frac{m \cdot 100}{l^3}$$

где f – коэффициент упитанности; m – масса тела рыбы, г; l – длина тела рыбы, см.

Перечисленные методы могут быть использованы как отдельно, так и в комбинации для более полной оценки степени качества осетровых рыб, а также принятия решений о выборе рыб для дальнейшего разведения или создания здорового ремонтно-маточного стада в заводских условиях.

Для оценки товарных объектов аквакультуры по собственной продуктивности использовали методологию математического моделирования признака путём составления смешанных моделей BLUP (*Методические рекомендации по использованию метода BLUP для оценки племенной ценности быков производителей / сост. В. М. Кузнецов, А. А. Шестиперов, В. Н. Егорова. Л.: ВНИИРГЖ, 1987. 69 с.*). В общем виде уравнение имело вид:

$$y = X\beta + Za + e,$$

где y – вектор наблюдаемых значений; X – матрица распределения фиксированных эффектов; β – вектор оценки фиксированных эффектов (это могут быть как поправки на групповые эффекты, влияние которых заранее известно и должно быть учтено в рамках дизайна модели, так и значения коэффициентов регрессии при использовании в модели количественных ковариант, произведение элементов матрицы X и вектора β формирует поправку на фиксированные эффекты, включенные в математическую модель); Z – матрица распределения рандомизированных эффектов; a – вектор оценок рандомизированных эффектов; e – вектор остаточных эффектов модели.

С учетом использования исключительно данных по собственной продуктивности, решение этой модели в матричном виде осуществляли, исходя из следующего представления:

$$\begin{bmatrix} X'X & X'Z \\ Z'X & Z'Z + I\alpha \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \hat{\beta} \\ \hat{a} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X'y \\ Z'y \end{bmatrix},$$

где X , Z – матрицы распределения наблюдений (записей о фенотипах в группах эффектов); X' , Z' – транспонированные матрицы X и Z ; I – единичная диагональная матрица, в нашем исследовании представлявшая собой частный случай матрицы родства A , используемой в моделях BLUP и имевшая ранг, равный количеству эффектов «животное» в модели; $\hat{\beta}$ – вектор оценок фиксированных эффектов, $\hat{a}$ – вектор оценок рандомизированных эффектов, $\alpha = \frac{\sigma_a^2}{\sigma_a^2 + \frac{1-h^2}{h^2}}$ – доля остаточной изменчивости в модели, где σ_a^2 – генетическая дисперсия, σ_e^2 – остаточная дисперсия, также интерпретируемая, как паратипическая, h^2 – коэффициент наследуемости.

Собственно значения оценок эффектов рассчитывали следующим образом:

$$\begin{bmatrix} \hat{\beta} \\ \hat{a} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X'X & X'Z \\ Z'X & Z'Z + I\alpha \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} X'y \\ Z'y \end{bmatrix}$$

Для каждого признака была сформирована индивидуальная модель оценки, таким образом, смешанные модели, использованные в исследовании, имели вид:

$$\begin{aligned} W &= \text{Age} + b_1 C + b_2 \text{Body}_{cc} + a + e, \\ \text{ADG} &= \text{Age} + b_1 l_1 + a + e, \\ \text{Gain} &= W_{\text{class}} + b_1 \text{Body}_{cc} + a + e, \\ \text{Back} &= \text{Age} + b_1 \text{Body}_{cc} + a + e, \end{aligned}$$

$$f = \text{Age} + b_1 H + a + e,$$

где W – значение признака «живая масса», г; ADG – «среднесуточный прирост», г; Gain – «прирост живой массы»; Back – «коэффициент широкоспинности»; f – «коэффициент упитанности»; Age – эффект возраста осетра в днях при проведении бонитировки (рандомизированный эффект), дн.; W_{class} – эффект классификации особи по живой массе, округленной до десятков (рандомизированный эффект); C – длина головы (фиксированный эффект), см; Body_{cc} – обхват тела (фиксированный эффект), см; l_1 – длина тела (фиксированный эффект), см; H – наибольшая высота тела (фиксированный эффект), см; a – рандомизированный эффект «товарный объект аквакультуры»; e – остаточная изменчивость; b_1 , b_2 – коэффициенты линейной регрессии соответствующих эффектов.

Точность оценок племенной ценности определяли путём расчета коэффициента повторяемости между значениями, полученными на основании результатов первой бонитировки и на основании совокупных результатов первой и второй бонитировок. Коэффициент повторяемости рассчитывали по формуле Пирсона:

$$r_{x/y} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}},$$

где x_i , y_i – значения i -х среди n наблюдений в массивах x и y , для которых рассчитывается значение коэффициента.

Результативность отбора животных на основании признака, оценки по которому характеризовались наибольшей точностью, определяли путём отбора десяти животных с наибольшим значением оценки (считающихся лучшими в рамках моделируемых селекционных мероприятий), полученной по результатам первого и второго бонитировочных периодов.

Результаты и обсуждение. Полученные значения статистических параметров свидетельствуют о позитивных тенденциях роста и развития изучаемых особей на протяжении всего рассматриваемого в исследовании периода (12 и 14 месяцев). Так, рост животных сопровождался увеличением верхних и нижних пределов размаха величин показателя «живая масса». Уровень фенотипического разнообразия этого признака, выраженный в коэффициенте вариации, незначительно изменялся в пределах 18,68 %...21,42 %. Коэффициент упитанности не претерпел значительных изменений. Средняя величина коэффициента широкоспинности снижалась, что может быть связано с возрастной динамикой интенсивности роста и развития рыб. Абсолютный прирост живой массы также находился примерно на одном уровне. За период от поступления на УЗВ (возраст 11 месяцев) до первой бонитировки (возраст 12 месяцев) он составил в среднем 115,53 г/гол., от первой до второй (возраст 14 месяцев) – 107,44 г/гол. (табл. 1). Разброс величины этого показателя свидетельствует о наличии отдельных особей, характеризовавшихся отрицательной динамикой роста, что связано с различными внешними факторами. Аналогичная тенденция сохранялась и для среднесуточного прироста: по результатам измерений в первую бонитировку среднесуточный прирост составлял 1,87 г, во вторую – 2,11 г.

Наблюдаемая повторяемость значений живой массы за разные периоды измерений находилась на очень высоком уровне ($r_w = 0,88$), что свидетельствует о линейной динамике роста поголовья. Динамика прироста живой массы, среднесуточного прироста и упитанности ($r_w = 0,45...0,56$) была в значительной степени менее одно-

Таблица 1. Описательная характеристика выборки по результатам трех периодов измерения рыб

Признак*	$M \pm m$	SD	min...max	CV, %
BW ₀ , г	354,28±3,95	66,18	165...540	18,68
BW ₁ , г	469,82±5,55	93,10	179...734	19,82
BW ₂ , г	583,1±11,55	124,94	275...920	21,42
f ₁ , %	0,29±0,00	0,03	0,17...0,38	10,93
f ₂ , %	0,3±0,00	0,03	0,17...0,38	10,43
Br ₁ , %	8,37±0,04	0,75	6,73...10,64	9,00
Br ₂ , %	7,95±0,05	0,57	6,04...10,16	7,21
BWG ₁ , г	115,53±3,39	56,75	-71...281	49,12
BWG ₂ , г	107,44±5,61	60,63	-55...290	56,43
ADG ₁ , г	1,87±0,05	0,91	-1,13...4,68	48,75
ADG ₂ , г	2,11±0,11	1,19	-1,08...5,69	56,43

*BW₀ – начальная живая масса, при поступлении в УЗВ; BW₁ – живая масса при первом измерении; BW₂ – живая масса при втором измерении; f₁ – коэффициент упитанности при первом измерении; f₂ – коэффициент упитанности при втором измерении; Br₁ – коэффициент широкоспинности при первом измерении; Br₂ – коэффициент широкоспинности при втором измерении; BWG₁ – прирост живой массы при первом измерении; BWG₂ – прирост живой массы при втором измерении; ADG₁ – среднесуточный прирост при первом измерении; ADG₂ – среднесуточный прирост при втором измерении.

родной. Низкий коэффициент повторяемости коэффициента широкоспинности за разные периоды измерений ($r_w = 0,23$) продемонстрировал неравномерную динамику развития растущего поголовья (табл. 2).

Наблюдаемые фенотипические корреляции (табл. 3) характеризуются изменчивостью, связанной с активной фазой роста и развития. Так, взаимосвязь живой массы и коэффициента упитанности выросла

Таблица 2. Повторяемость наблюдаемых значений исследуемых признаков

Показатель	Признак*				
	BW	f, %	Br, %	BWG, г	ADG, г
Коэффициент повторяемости	0,88***	0,45***	0,23**	0,55***	0,56***

значение коэффициента достоверно при $p \geq 0,995$, *значение коэффициента достоверно при $p \geq 0,999$;

*(здесь и в табл. 3, 4, 5, 7) f – коэффициент упитанности; Br – коэффициент широкоспинности; BWG – прирост живой массы; ADG – среднесуточный прирост.

с незначительного уровня ($r = 0,02$ коэффициента корреляции) в 12 месяцев до нижнего порога ($r = 0,18$) в 14 месяцев. Взаимосвязь живой массы и ее прироста (как абсолютного, так и среднесуточного) снизилась соответственно с высокого уровня ($r = 0,71$) до ее отсутствия. Взаимосвязь коэффициента широкоспинности и коэффициента упитанности в рамках каждого датированного измерения проявлялась на одинаковом среднем уровне ($r = 0,45$). Кроме того, устойчивой взаимосвязью, близкой к единообразию, характеризовались признаки BWG и ADG.

Полученные, согласно моделям BLUP, оценки сибирского осетра представляют собой вклад эффекта «товарный объект аквакультуры» в рамках математической модели, описывающей признак, в фенотипическое зна-

 Таблица 3. Коэффициенты фенотипической корреляции изучаемых признаков за периоды измерения¹

Признак	BW	f	Br	BWG	ADG
BW	x	0,02	0,15**	0,71***	0,71***
f	0,18**	x	0,45	-0,18**	-0,17**
Br	0,23***	0,45***	x	-0,02	-0,05
BWG	-0,02	-0,07	0,20***	x	0,99***
ADG	-0,02	-0,07	0,20***	0,99***	x

¹выше диагонали представлены фенотипические корреляции признаков в первую бонитировку, ниже диагонали – во вторую;

значение коэффициента достоверно при $p \geq 0,995$, *значение коэффициента достоверно при $p \geq 0,999$.

чение признака у индивида. Ввиду того, что годовики содержатся в УЗВ и, как следствие, влияние условий среды варьирует в одинаковой степени для каждого измере-

ния, вклад эффекта особи в фенотипическое значение признака у индивида без данных о происхождении и родстве, как предполагается, будет увеличиваться при добавлении новых записей датированных измерений. Так, размах значений оценок продуктивной способности исследованного поголовья по признаку «коэффициент упитанности» по данным двух бонитировок составил $-0,43...+0,58$ против $-0,02...+0,03$ по результатам одного измерения (табл. 4). Схожие тенденции наблюдаются и для других признаков. Подобные различия

затрудняют интерпретацию результатов в контексте формулировки практических рекомендаций, и оценки племенной ценности подобных признаков могут носить исключительно рекомендательный характер. Вероятно, что более точные результаты возможны при установлении родственных связей внутри исследуемой популяции.

Таким образом, интерпретировать полученные результаты можно исключительно в контексте оценки продуктивного потенциала как товарного объекта аквакультуры, имеющего опосредованное отношение к племенной ценности. В пользу этого также свидетельствуют коэффициенты повторяемости оценок, полученных за разные периоды (табл. 5). Наименьшую повторяемость значений оценки продемонстрировали признаки коэффициент упитанности ($r_w = 0,19$) и коэффициент широкоспинности ($r_w = 0,06$), что свидетельствует о неравномерности влияния индивидуальных эффектов генотипа особей на величины оценок роста и развития исследуемых годовиков. Оценки по признаку живая масса характеризовались средней степенью повторяемости ($r_w = 0,53$), что также свидетельствует о их низкой степени достоверности. Самые высокие величины коэффициента повторяемости отмечены для оценок признаков прирост живой массы ($r_w = 0,83$) и среднесуточный прирост ($r_w = 0,96$). Это означает, что оценки, полученные по результатам первого измерения по указанным признакам, в значительной степени согласуются с оценками, полученными на основании данных, дополненных результатами второго измерения. Низкая повторяемость оценок племенной ценности может как свидетельствовать о погрешности измерений, так и о наличии большого количества статистических «шумов», вызванных влиянием средовых факторов, которые в рамках текущей полноты формируемой базы данных невозможно учесть, как из-за объема выборки, так и из-за того, что неиз-

Таблица 4. Оценки продуктивной способности сибирского осетра ленской популяции УЗВ ФИЦ ВИЖ по результатам первых двух измерений

Признак	1 измерение (21.03.23 г.)			2 измерение (11.05.23 г.)		
	минимум	максимум	стандартное отклонение	минимум	максимум	стандартное отклонение
BW	-97,94	+78,82	27,21	-170,94	+206,08	67,65
f, %	-0,02	+0,03	0,01	-0,43	+0,58	0,17
Br, %	-0,82	+0,67	0,24	-1,89	+2,19	0,62
BWG, г	-101,85	+80,79	26,85	-164,8	+104,17	48,03
ADG, г	-1,61	+1,33	0,43	-2,95	+2,81	0,88

вестно, воздействие каких факторов следует учитывать, поскольку вопрос малоизучен. Кроме того, следует понимать, что в исследовании речь идёт о животных, не достигших половой зрелости, то есть находящихся

один осетр не сохранил своей позиции (табл. 6). Из этого можно сделать вывод, что даже использование признака с высокой степенью сходимости результатов оценки ($r_w = 0,96$) не гарантирует идентичности при формировании селекционных групп.

Таблица 5. Повторяемость оценок продуктивной способности, полученных за разные периоды морфометрических измерений

Показатель	Признак				
	BW	f	Br	BWG	ADG
Коэффициент повторяемости	0,53***	0,19**	0,06	0,83***	0,96***

значение коэффициента достоверно при $p \geq 0,995$, *значение коэффициента достоверно при $p \geq 0,999$.

в фазе онтогенеза, характеризующейся ростом и развитием, которые, в свою очередь, отличаются неравномерностью. Таким образом, возрастная динамика также может быть фактором, снижающим точность оценки.

Исходя из приведенных значений, отбор исследуемой выборки сибирского осетра ленской популяции по признакам, имеющим высокую изначальную точность, а именно, BWG и ADG, должен формировать группы из схожих особей. Среди изучаемой популяции сибирского

данные (табл. 7). Так, взаимосвязь между оценками живой массы и коэффициента упитанности, полученными на основании данных первого измерения, характеризовавшаяся околонулевым значением ($r = 0,01$), между оценками, полученными на основании данных, дополненных второй бонитировкой, была крайне высокой ($r = 0,98$). Сопоставимые изменения наблюдали в уровнях взаимосвязи оценок признаков «живая масса» – «коэффициент широкоспинности» (от $r = -0,06$ до $r = 0,89$),

Таблица 6. Племенная ценность лучших десяти особей сибирского осетра ленской популяции по среднесуточному приросту живой массы в разные периоды оценки

Отбор по результатам оценки по данным первого измерения*			Отбор по результатам оценки по данным первых двух измерений		
номер п/п	ADG ₁ ¹	ADG ₂	номер п/п	ADG ₁	ADG ₂ ¹
1 ²	+3,94	+3,80	6	+3,42	+5,69
2	+3,90	+3,75	4	+3,54	+4,14
3	+3,57	+2,33	37	+2,37	+4,14
4	+3,54	+4,14	54	+2,03	+4,12
5	+3,52	+3,33	52	+2,05	+4,10
6	+3,42	+5,69	7	+3,24	+4,08
7	+3,24	+4,08	8	+3,11	+4,06
8	+3,11	+4,06	11	+2,90	+4,06
9	+3,05	+3,49	16	+2,84	+3,86
10	+3,00	-1,08	1	+3,94	+3,80

¹название признака, который был критерием отбора; ²жирным выделены номера осетров, попавших в оба списка;

*ADG₁, г – среднесуточный прирост при первом измерении; ADG₂, г – среднесуточный прирост при втором измерении.

осетра из особей, отобранных по результатам оценки продуктивной способности на основании первой и первых двух бонитировок, половина списка (5 голов) попали в оба перечня отобранных животных, однако ни

существенно подверженные возрастной изменчивости, в особенности в период активного роста и развития. Это может быть вызвано как индивидуальными особенностями животных в изучаемой выборке, так и опровергать предположение о

 Таблица 7. Коэффициенты корреляции оценок продуктивной способности сибирского осетра ленской популяции по изучаемым признакам за разные периоды измерения¹

Признак	BW	f	Br	BWG	ADG
BW		0,01***	-0,06***	0,99	0,98***
f	0,98		0,38***	0,03***	0,05***
Br	0,89	0,96***		0,07***	0,05***
BWG	0,02***	0,24	0,46		0,99***
ADG	0,62***	0,77	0,90	0,80***	

¹выше диагонали представлены корреляции оценок продуктивной способности рыбы в первую бонитировку, ниже диагонали – во вторую;

***значение коэффициента достоверно при $p \geq 0,999$.

Взаимосвязи оценок сибирского осетра по исследованным признакам также продемонстрировали заметную динамику в рамках периодов, в которые были получены бонитировочные

«среднесуточный прирост» – «коэффициент широкоспинности» (от $r = 0,05$ до $r = 0,90$). Аналогичная, но обратная динамика отмечена для взаимосвязей «живая масса» – «прирост живой массы» (падение с $r = 0,99$ до $r = 0,02$). Взаимосвязь оценок показателей «коэффициент широкоспинности» – «коэффициент упитанности» продемонстрировала рост с $r = 0,38$ до $r = 0,96$, а «живая масса» – «среднесуточный прирост» – снижение с $r = 0,98$ до $r = 0,62$. Подобная динамика характеризует генетические взаимосвязи между признаками, как су-

щественно подверженные возрастной изменчивости, в особенности в период активного роста и развития. Это может быть вызвано как индивидуальными особенностями животных в изучаемой выборке, так и опровергать предположение о стабильности условий в УЗВ во все периоды наблюдений. Использование данных, собранных за более длительный период наблюдений, должно способствовать получению более стабильных результатов.

Выводы. Наблюдаемые показатели динамики оценок, а также их взаимос-

вязанность между собой, свидетельствует о том, что, решающее влияние на BLUP-оценки оказывают индивидуальные измерения изучаемой выборки сибирского осетра ленской популяции, растущего в условиях установки замкнутого водоснабжения. Точность таких

оценок, выраженная в повторяемости их значений, по трём признакам из пяти свидетельствует о перспективе получения более достоверных значений с добавлением последующих параметров измерения, а также значений родства, основанных на информации о происхождении.

Литература.

1. The mitochondrial genome of Indonesian coelacanth *Latimeria menadoensis* (Sarcopterygii: Coelacanthiformes) and divergence time estimation between the two coelacanths / J. G. Inoue, M. Miya, B. Venkatesh, et al. // *Gene*. 2005. Vol. 349. P. 227–235. doi: 10.1016/j.gene.2005.01.008.
2. Karpinsky M. G. Review: The Caspian Sea benthos: Unique fauna and community formed under strong grazing pressure // *Mar. Pollut. Bull.* 2010. Vol. 61. P. 156–161. doi: 10.1016/j.marpolbul.2010.02.009.
3. Webb M. A., Doroshov S. Importance of environmental endocrinology in fisheries management and aquaculture of sturgeons // *General and Comparative Endocrinology*. 2011. Vol. 170. P. 313–321. doi: 10.1016/j.ygcen.2010.11.024.
4. How different rearing temperatures affect growth and stress status of Siberian sturgeon *Acipenser baerii* larvae / L. Aidos, A. Cafiso, D. Bertotto, et al. // *Journal of Fish Biology*. 2020. Vol. 96. No. 4. P. 913–924. doi: 10.1111/jfb.14280.
5. Growth response, body composition, plasma metabolites, digestive and antioxidant enzymes activities of Siberian sturgeon (*Acipenser baerii*, Brandt, 1869) fed different dietary protein and carbohydrate: Lipid ratio / S. Babaei, A. Abedian-Kenari, M. Hedayati, et al. // *Aquaculture Research*. 2017. Vol. 48. P. 2642–2654. doi: 10.1111/are.13096.
6. Ashouri G. Compensatory growth, plasma hormones and metabolites in juvenile Siberian sturgeon (*Acipenser baerii*, Brandt 1869) subjected to fasting and re-feeding // *Aquaculture Nutrition*. 2020. Vol. 26. P. 400–409. doi: 10.1111/anu.13002.
7. Bronzi P., Rosenthal H., Gessner J. Global sturgeon aquaculture production: An overview // *Journal of Applied Ichthyology*. 2011. Vol. 27. P. 169–175. doi: 10.1111/j.1439-0426.2011.01757.x.
8. Williot P., Nonnotte G., Chebanov M. The Siberian sturgeon (*Acipenser baerii*, Brandt, 1869). Vol. 2. Farming. Springer Cham, 2018. 590 p. doi: 10.1007/978-3-319-61676-6.
9. Genetic diversity of historical and modern populations of Russian cattle breeds revealed by microsatellite analysis / A. S. Abdelmanova, V. R. Kharzinova, V. V. Volkova, et al. // *Genes (Basel)*. 2020. Vol. 11. No. 8. Article 940. URL: <https://www.mdpi.com/2073-4425/11/8/940> (дата обращения: 25.10.2023). doi: 10.3390/genes11080940.
10. Development of novel EST microsatellite markers for genetic diversity analysis and correlation analysis of velvet antler growth characteristics in Sika deer / B. Jia, G. Wang, J. Zheng, et al. // *Hereditas*. 2020. Vol. 157. Article 24. URL: <https://hereditasjournal.biomedcentral.com/articles/10.1186/s41065-020-00137-x> (дата обращения: 25.10.2023). doi: 10.1186/s41065-020-00137-x.
11. Boerner V., Johnston D. J. More animals than markers: a study into the application of the single step T-BLUP model in large-scale multi-trait Australian Angus beef cattle genetic evaluation // *Genetics Selection Evolution*. 2019. Vol. 51. Article 57. URL: <https://gsejournal.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12711-019-0499-x> (дата обращения: 25.10.2023). doi: 10.1186/s12711-019-0499-x.
12. Comparison of conventional BLUP and single-step genomic BLUP evaluations for yearling weight and carcass traits in Hanwoo beef cattle using single trait and multi-trait models / H. Mehrban, D. H. Lee, M. Naserkheil, et al. // *PLOS One*. 2019. Vol. 14. No. 10. Article e0223352. URL: <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0223352> (дата обращения: 25.10.2023). doi: 10.1371/journal.pone.0223352.
13. Henderson C. R. Best linear unbiased prediction of nonadditive genetic merits in noninbred populations // *Journal of Animal Science*. 1985. Vol. 60. No. 1. P. 111–117. doi: 10.2527/jas1985.601111x.

References

1. Inoue JG, Miya M, Venkatesh B, et al. The mitochondrial genome of Indonesian coelacanth *Latimeria menadoensis* (Sarcopterygii: Coelacanthiformes) and divergence time estimation between the two coelacanths. *Gene*. 2005;349:227-35. doi: 10.1016/j.gene.2005.01.008.
2. Karpinsky MG. Review: The Caspian Sea benthos: Unique fauna and community formed under strong grazing pressure. *Mar. Pollut. Bull.* 2010;61:156-61. doi: 10.1016/j.marpolbul.2010.02.009.
3. Webb MA, Doroshov S. Importance of environmental endocrinology in fisheries management and aquaculture of sturgeons. *General and Comparative Endocrinology*. 2011;170:313-21. doi: 10.1016/j.ygcen.2010.11.024.
4. Aidos L, Cafiso A, Bertotto D, et al. How different rearing temperatures affect growth and stress status of Siberian sturgeon *Acipenser baerii* larvae. *Journal of Fish Biology*. 2020;96(4):913-24. doi: 10.1111/jfb.14280.
5. Babaei S, Abedian-Kenari A, Hedayati M, et al. Growth response, body composition, plasma metabolites, digestive and antioxidant enzymes activities of Siberian sturgeon (*Acipenser baerii*, Brandt, 1869) fed different dietary protein and carbohydrate: Lipid ratio. *Aquaculture Research*. 2017;48:2642-54. doi: 10.1111/are.13096.
6. Ashouri G. Compensatory growth, plasma hormones and metabolites in juvenile Siberian sturgeon (*Acipenser baerii*, Brandt 1869) subjected to fasting and re-feeding. *Aquaculture Nutrition*. 2020;26:400-9. doi: 10.1111/anu.13002.
7. Bronzi P, Rosenthal H, Gessner J. Global sturgeon aquaculture production: An overview. *Journal of Applied Ichthyology*. 2011;27:169-75. doi: 10.1111/j.1439-0426.2011.01757.x.
8. Williot P, Nonnotte G, Chebanov M. The Siberian sturgeon (*Acipenser baerii*, Brandt, 1869). Vol. 2, Farming. [place unknown]: Springer Cham; 2018. 590 p. doi: 10.1007/978-3-319-61676-6.
9. Abdelmanova AS, Kharzinova VR, Volkova VV, et al. Genetic diversity of historical and modern populations of Russian cattle breeds revealed by microsatellite analysis. *Genes (Basel)* [Internet]. 2020 [cited 2023 Oct 10];11(8): Article 940. Available from: <https://www.mdpi.com/2073-4425/11/8/940>. doi: 10.3390/genes11080940.
10. Jia B, Wang G, Zheng J, et al. Development of novel EST microsatellite markers for genetic diversity analysis and correlation analysis of velvet antler growth characteristics in Sika deer. *Hereditas* [Internet]. 2020 [cited 2023 Oct 25];157: Article 24. Available from: <https://hereditasjournal.biomedcentral.com/articles/10.1186/s41065-020-00137-x>. doi: 10.1186/s41065-020-00137-x.
11. Boerner V, Johnston DJ. More animals than markers: a study into the application of the single step T-BLUP model in large-scale multi-trait Australian Angus beef cattle genetic evaluation. *Genetics Selection Evolution* [Internet]. 2019 [cited 2023 Oct 25];51: Article 57. Available from: <https://gsejournal.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12711-019-0499-x>. doi: 10.1186/s12711-019-0499-x.
12. Mehrban H, Lee DH, Naserkheil M, et al. Comparison of conventional BLUP and single-step genomic BLUP evaluations for yearling weight and carcass traits in Hanwoo beef cattle using single trait and multi-trait models. *PLOS One* [Internet]. 2019 [cited 2023 Oct 25];14(10): Article e0223352. Available from: <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0223352>. doi: 10.1371/journal.pone.0223352.
13. Henderson CR. Best linear unbiased prediction of nonadditive genetic merits in noninbred populations. *Journal of Animal Science*. 1985;60(1):111-7. doi: 10.2527/jas1985.601111x.