

Промысловые виды и их биология

УДК 597–115:597.442(282.247.42)

Генетическое разнообразие севрюги реки Урал

Г.М. Шалгимбаева¹, А.Е. Барминцева², Л.Н. Мюге², К.Б. Исбеков¹, Н.С. Мюге²

¹Казахский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства (ТОО «КазНИИРХ»), г. Алматы

²Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии (ФГБНУ «ВНИРО»), г. Москва

E-mail: shalgimbayeva@mail.ru

Представлены результаты генетической изменчивости севрюги реки Урал, молоди естественного и заводского происхождения по пяти вариабельным микросателлитным локусам (Afug41, Afug51, Ap20, AoxD161 и AoxD165). Материал представлен за период 2014–2017 гг. Распределение частот генотипов по пяти микросателлитным локусам не выявило внутривидовых различий между выборками разных лет как заходящих в реку на нерест производителей, так и молоди естественного нереста и молоди, полученной в ходе искусственного воспроизводства на осетровых рыбопитомниках реки Урал. Отмечается снижение аллельного разнообразия у заводской молоди 2014–2016 гг. относительно всей выборки производителей и дикой молоди севрюги. Эти потери пока незначительны, так как для искусственного воспроизводства на осетровых рыбопитомниках реки Урал в настоящее время используются производители не аквакультурного, а естественного происхождения с высоким природным полиморфизмом.

Ключевые слова: река Урал, севрюга *Acipenser stellatus*, микросателлитные локусы, генетический полиморфизм, искусственное воспроизводство.

ВВЕДЕНИЕ

Севрюга — *Acipenser stellatus* Pallas, 1771 относится к понто-каспийскому фаунистическому комплексу, наиболее многочисленное стадо населяет бассейн Каспийского моря.

В середине прошлого века чрезмерный промысел, загрязнение окружающей среды, изменение гидрологического режима рек, нарушение условий нереста рыб привели к катастрофическому снижению её численности. К концу XX века нерестовые популяции сев-

рюги Азово-Черноморского бассейна были сильно подорваны или уничтожены, и только в Каспийском море сохранилась естественная популяция этого вида, которая, несмотря на мораторий запрета вылова осетровых, по-прежнему испытывает промысловый пресс, вызванный нелегальным изъятием [Власенко, Захаров, 1989; Ходоревская и др., 2012].

Севрюга включена в международную Красную книгу МСОП, а также в Приложение II

Конвенции СИТЕС, как вид, находящийся на грани исчезновения [Qiwei, 2010].

Из всех рек каспийского бассейна только на р. Урал до сих пор сохраняется и регулярно документируется массовый нерест севрюги на природных нерестилищах, но низкая численность производителей не позволяет обеспечить эффективное естественное воспроизводство.

Осетровые рыбозаводные заводы (ОРЗ) на р. Урал, функционирующие с 1998 г., были призваны компенсировать убыль естественного воспроизводства популяции севрюги. До последнего времени применяемая технология искусственного воспроизводства была основана на вылове многочисленных диких производителей в период нерестового хода рыб, но падение численности севрюги в бассейне Каспия делает все более затруднительным заготовку производителей. По этой же причине значительно сократилось искусственное воспроизводство уральской молодежи белуги и русского осетра, выпуск молодежи которых ранее был сопоставим с выпуском молодежи севрюги.

Внутривидовую популяционно-генетическую структуру необходимо учитывать при восстановлении и пополнении естественных популяций для сохранения природного генетического полиморфизма. Также считается, что для обеспечения наиболее высокой выживаемости после выпуска, молодежь необходимо выращивать в условиях максимально приближенных к естественным [Чебанов, Галич, 2013].

Микросателлитные ядерные маркеры широко применяются в популяционно-генетических исследованиях рыб. Высокая вариабельность и селективная нейтральность делают микросателлиты удобным инструментом для изучения внутри- и межвидовой генетической изменчивости, уровня ploидности и функциональной диплоидизации генома осетровых [Ludwig et al., 2001; Doukakis et al., 2005; Welsh, May, 2006; Zeng et al., 2013; Rajkov et al., 2014; Norouzi et al., 2015]. Микросателлитные маркеры также применяются для видовой идентификации осетровых и их гибридов [Barmintseva, Muge, 2013].

Ранее анализ внутривидовой популяционной структуры севрюги с применением полиморфных изоферментных локусов показал некоторую гетерогенность, но по частотам аллелей между

сезонными группировками нерестовых мигрантов уральской севрюги статистически значимые различия обнаружены не были [Шишанова, 2003]. Стоит отметить, что для уральских осетровых практически нет работ по изучению генетической структуры с применением ДНК-маркеров.

Цель работы — оценка генетической структуры севрюги р. Урал на основании полиморфизма микросателлитных локусов.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

В работе проанализированы 669 образцов (фрагментов плавников) севрюги, собранных с 2014 по 2017 гг. на двух осетровых рыбозаводных заводах: Республиканском государственном казенном предприятии (РГКП) «Урало-Атырауский осетровый рыбозавод» и РГКП «Атырауский осетровый рыбозавод». Данные по количеству исследованных производителей и молодежи приведены в табл. 1, места сбора проб представлены на рис. 1.

Фрагменты плавников и молодежь целиком были фиксированы в 96%-ном этиловом спирте на месте сбора материала. Каждому образцу присваивался идентификационный номер, для каждой особи регистрировались размер, вес и, для производителей, пол.

Выделение и последующую очистку ДНК из плавников осетровых рыб проводили методом абсорбции на колонках (PALL) [Ivanova et al., 1999]. ДНК хранили при -20°C до использования. Образцы проанализированы по пяти микросателлитным локусам с флуоресцентно мечеными праймерами (табл. 2).

Реакции амплификации проводили в конечном объеме 15 мкл с использованием 10x буфера («Силекс-М», Москва: 70 mM ТрисHCl (pH 8,6); 16,6 mM $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$), 1,8 mM MgCl_2 ; по 200 мкМ каждого dNTP; 1 пкМ праймера, модифицированного на 5' конце флуоресцентным красителем FAM, HEX или TAMRA; 4 пкМ обратного (не меченного) праймера; 50–100 нг ДНК матрицы и 0,8 единиц Taq полимеразы («Силекс-М», Москва). ПЦР проводился по следующей схеме: предварительная денатурация ДНК 94°C — 1 мин; 8 циклов: плавление — 95°C — 20 с, отжиг праймеров 25 с при $t=58^{\circ}\text{C}$ в первом цикле и в каждом последующем цикле темпе-

Таблица 1. Характеристика собранного материала

№ п/п	Севрюга	Год сбора	Количество, экз.	Место сбора
1		2014	91	
2	Производители	2015	63	Тоневой участок Еркинкалинская (РГКП «Урало-Атырауский осетровый рыболовный завод»), Тоневой участок Малодамбинская (РГКП «Атырауский осетровый рыболовный завод»)
3		2016	32	
4		2017	76	
5		2014	13	
6	Молодь, полученная на заводе в целях искусственного воспроизводства	2015	59	р. Урал, станция Бугорки, станция 7-й пост
7		2016	56	
8		2017	40	
9		2014	150	
10	Молодь естественного ската	2016	58	р. Урал, станция Бугорки, станция 7-й пост
11		2017	31	

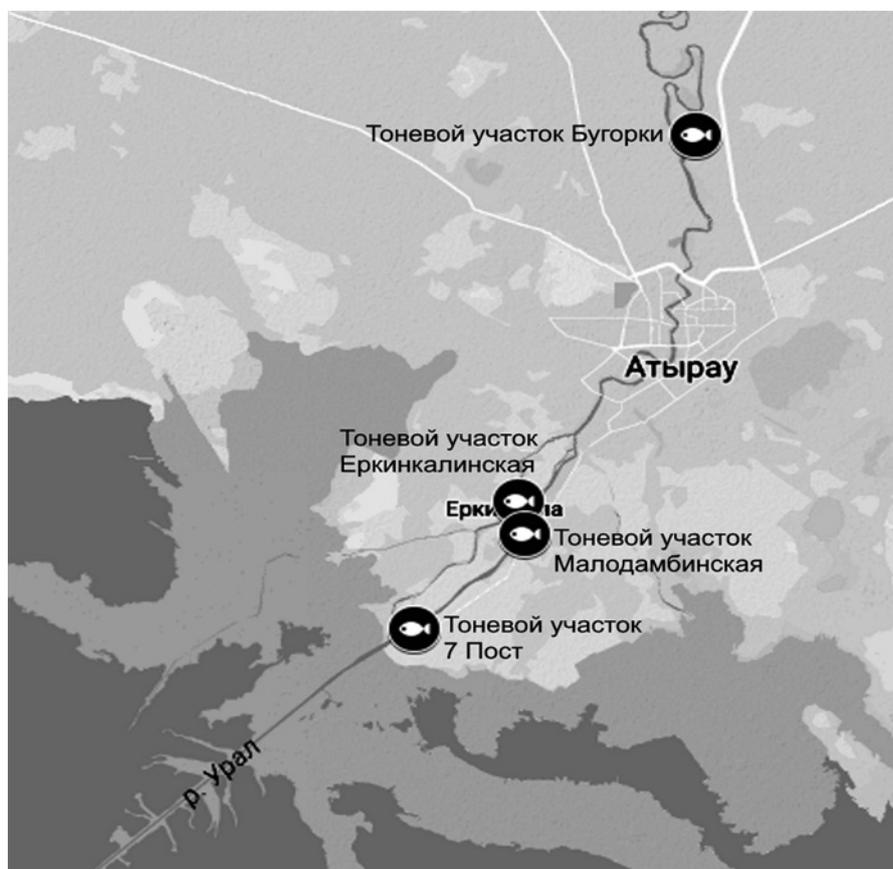


Рис. 1. Станции отбора проб севрюги на р. Урал

ратура отжига снижалась на 0,5 °С (touch-down), синтез ДНК — 65 °С — 40 с; 25 циклов: плавление — 95 °С — 20 с, отжиг праймеров — 54 °С — 25 с, синтез ДНК — 65 °С — 40 с; 1 цикл досинтез ДНК при

65 °С — 10 мин. Полученный продукт ПЦР разбавляли в 3 раза водой (milliQ), затем по 1 мкл разбавленной реакционной смеси переносили в 12 мкл формамида HiDi с добавленным молекулярным стандартом для определения

Таблица 2. Микросателлитные локусы для анализа полиморфизма севрюги

Локус	Праймеры 5'-3'	Метка
An20	F: AATAACAATCATGTACATGAGGCT	HEX
	R: TGGTCAGTTGTTTTTTTATTGAT	
AfuG41	F: TGACGCACAGTAGTATTATTATG	FAM
	R: TGATGTTTGCTGAGGCTTTTC	
AfuG51	F: ATAATAATGAGCGTGTCTTCTGTT	HEX
	R: ATTCCGCTTGCGACTTATTTA	
AoxD165	F: TTTGACAGCTCCTAAGTGATACC	TAMRA
	R: AAAGCCCTACAACAAATGTCAC	
AoxD161	F: GTTTGAAATGATTGAGAAAATGC	FAM
	R: TGAGACAGACACTCTAGTTAAACAGC	

размера амплифицируемых фрагментов ДНК. Электрофоретическое разделение продуктов амплификации проводили с помощью системы капиллярного электрофореза «ABI3130 Genetic Analyzer», определение длин аллелей осуществляли с применением программного обеспечения GeneMarker (Version 1.2). Статистическую обработку проводили в надстройке «GenAIE» для MS Excel [Peakall, Smouse, 2012].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Анализ по пяти микросателлитным локусам выявил у производителей севрюги 2014–2017 гг. 41 аллель (суммарно по всем локусам),

у молоди естественного нереста — 40 аллелей, у заводской молоди выявлено 30 аллелей.

Наиболее полиморфными для всех изученных выборок севрюги являются локусы Afug41 и AoxD165. Размерный ряд аллелей локуса Afug41 расположен в диапазоне 193–233 п. н. и насчитывает 11 аллелей. У заводской молоди севрюги 2014 г. отмечается уменьшение числа аллелей до 8. Наиболее массовые аллели 209 и 213 п. н. встречаются со средней частотой 20% (табл. 3).

Диапазон локуса AoxD165 расположен между 148–204 п. н. и насчитывает 11 аллелей, с преобладанием аллелей 180 и 184, встречающихся с частотой до 20–30% по всем вы-

Таблица 3. Распределение частот аллелей локуса Afug41

Выборка	Аллели локуса Afug41, п. н.										
	193	197	201	205	209	213	217	221	225	229	233
Производители 2014	0,027	0,159	0,027	0,115	0,214	0,192	0,093	0,071	0,033	0,049	0,016
Производители 2015	0,032	0,159	0,048	0,159	0,127	0,198	0,071	0,127	0,024	0,040	0,016
Производители 2016	0,016	0,242	0,016	0,129	0,081	0,113	0,065	0,113	0,032	0,161	0,032
Производители 2017	0,026	0,138	0,046	0,112	0,217	0,178	0,079	0,086	0,039	0,046	0,033
Завод. мол. 2014	0,077	0,115	–	0,115	0,077	0,423	0,115	0,038	–	0,038	–
Завод. мол. 2015	0,008	0,085	–	0,059	0,288	0,110	0,237	0,025	0,093	0,059	0,034
Завод. мол. 2016	0,036	0,152	–	0,161	0,143	0,214	0,063	0,063	0,071	0,045	0,054
Завод. мол. 2017	0,013	0,150	0,050	0,138	0,225	0,163	0,063	0,075	0,025	0,063	0,038
Скат молоди 2014	0,020	0,143	0,007	0,130	0,197	0,140	0,040	0,053	0,077	0,137	0,057
Скат молоди 2016	–	0,140	0,026	0,237	0,202	0,096	0,070	0,079	0,061	0,061	0,026
Скат молоди 2017	0,016	0,113	0,016	0,226	0,161	0,145	0,097	0,065	0,065	0,016	0,081

Таблица 4. Распределение частот аллелей локуса AoxD165

Выборка	Аллели локуса AoxD165, п. н.										
	148	168	172	176	180	184	188	192	196	200	204
Производители 2014	0,129	0,039	0,051	0,017	0,219	0,152	0,096	0,124	0,112	0,028	0,034
Производители 2015	0,081	0,035	0,070	0,023	0,128	0,279	0,151	0,058	0,058	0,116	0,000
Производители 2016	0,125	0,031	0,063	0,016	0,234	0,203	0,047	0,094	0,094	0,078	0,016
Производители 2017	0,153	0,053	0,053	0,067	0,187	0,160	0,087	0,087	0,087	0,033	0,033
Завод. мол. 2014	0,115	0,077	–	–	0,192	0,115	0,115	0,192	0,192	–	–
Завод. мол. 2015	0,055	0,091	0,027	0,164	0,191	0,064	0,118	0,136	0,073	0,036	0,045
Завод. мол. 2016	0,250	0,010	0,030	0,050	0,190	0,070	0,110	0,100	0,040	0,130	0,020
Завод. мол. 2017	0,138	0,038	0,075	0,013	0,238	0,125	0,113	0,063	0,075	0,088	0,038
Скат молоди 2014	0,130	0,050	0,037	0,013	0,170	0,243	0,120	0,087	0,057	0,037	0,057
Скат молоди 2016	0,088	0,105	0,035	0,044	0,044	0,316	0,079	0,123	0,123	0,009	0,035
Скат молоди 2017	0,129	0,032	0,032	0,016	0,161	0,161	0,129	0,145	0,129	0,000	0,065

боркам (табл. 4). В заводской молоди 2014 г. в локусе выявлено только 7 аллелей.

Наиболее встречаемым в локусе Afug51 является аллель 292 п. н., его частота в выборках достигает 70% (табл. 5). Размерный ранг локуса 268–296 п. н., выявлено 6 аллелей для выборок дикой молоди 2014–2017 гг. и по 5 аллелей для выборок производителей и заводской молоди севрюги.

Локус AoxD161 представлен 6 аллелями, размерный диапазон 118–138 п. н. представлен во всех выборках севрюги 2014–2017 гг.,

массовый аллель 118 п. н. представлен в выборках с частотой 20–40% (табл. 6).

Локус An20 представлен размерным рядом 129–181 п. н. В выборках производителей севрюги 2014–2017 гг. выявлено 6–7 аллелей. По 6 аллелей на локус выявлено среди заводской и скатившейся молоди севрюги 2015–2017 гг., а у заводской молоди 2014 г. отмечено всего пять аллелей. Массовый аллель 141 п. н. встречается с частотой до 72% во всех выборках (табл. 7).

Таблица 5. Распределение частот аллелей локуса Afug51

Выборка	Аллели локуса Afug51, п. н.					
	268	280	284	288	292	296
Производители 2014	–	0,067	0,140	0,112	0,590	0,090
Производители 2015	–	0,016	0,159	0,008	0,722	0,095
Производители 2016	–	0,016	0,156	0,016	0,719	0,094
Производители 2017	–	0,083	0,042	0,042	0,750	0,083
Завод. мол. 2014	–	–	0,195	–	0,720	0,085
Завод. мол. 2015	–	–	0,188	0,080	0,670	0,063
Завод. мол. 2016	–	0,046	0,074	0,037	0,722	0,120
Завод. мол. 2017	0,201	0,260	0,049	0,118	0,316	0,056
Скат молоди 2014	0,026	0,115	0,103	0,103	0,564	0,090
Скат молоди 2016	0,086	0,138	0,069	0,069	0,534	0,103
Скат молоди 2017	0,040	0,133	0,080	0,207	0,480	0,060

Таблица 6. Распределение частот аллелей локуса AoxD161

Выборка	Аллели локуса AoxD161, п. н.					
	118	122	126	130	134	138
Производители 2014	0,328	0,217	0,250	0,094	0,100	0,011
Производители 2015	0,371	0,267	0,172	0,121	0,026	0,043
Производители 2016	0,406	0,141	0,156	0,031	0,219	0,047
Производители 2017	0,231	0,346	0,308	0,038	0,038	0,038
Завод. мол. 2014	0,288	0,339	0,127	0,119	0,127	-
Завод. мол. 2015	0,348	0,214	0,143	0,125	0,143	0,027
Завод. мол. 2016	0,325	0,193	0,219	0,105	0,149	0,009
Завод. мол. 2017	0,302	0,118	0,139	0,066	0,351	0,024
Скат молоди 2014	0,263	0,225	0,313	0,063	0,113	0,025
Скат молоди 2016	0,290	0,226	0,161	0,161	0,129	0,032
Скат молоди 2017	0,390	0,205	0,205	0,068	0,103	0,027

Таблица 7. Частоты аллелей локуса An20

Выборка	Аллели локуса An20, п. н.						
	129	137	141	145	169	177	181
Производители 2014	0,121	0,011	0,592	0,138	0,069	0,006	0,063
Производители 2015	0,060	0,017	0,724	0,138	0,062	0,034	0,026
Производители 2016	0,081	0,032	0,565	0,081	0,097	0,016	0,129
Производители 2017	0,231	0,038	0,385	0,269	0,038	-	0,038
Завод. мол. 2014	0,073	-	0,636	0,073	-	0,045	0,173
Завод. мол. 2015	0,071	-	0,580	0,071	0,054	0,080	0,116
Завод. мол. 2016	0,054	-	0,571	0,134	0,080	0,045	0,116
Завод. мол. 2017	0,134	0,003	0,641	0,081	0,060	0,023	0,057
Скат молоди 2014	0,077	-	0,654	0,090	0,090	0,026	0,064
Скат молоди 2016	0,067	-	0,567	0,100	0,083	0,067	0,117
Скат молоди 2017	0,088	-	0,568	0,074	0,095	0,068	0,108

Среднее количество аллелей на локус для уральской популяции северюги и её молоди колеблется от 6,8 до 8,0, при этом эффективное число аллелей находится в диапазоне 3,9–5,2. Показатели наблюдаемой (H_o) и ожидаемой (H_e) гетерозиготности в пределах 0,632 и 0,767, соответственно (табл. 8).

Распределение частот генотипов не выявило существенных отклонений от равновесия по Харди-Вайнбергу в выборках северюги р. Урал в 2015–2017 гг. Значения F_{ST} приведены в табл. 9. Полученные данные указывают на низкую внутривидовую генетическую

дифференциацию исследованных выборок северюги.

Несмотря на заметное падение численности, нами не наблюдается падения генетического разнообразия по пяти микросателлитным локусам в исследованных выборках 2014–2017 гг., однако наблюдается снижение аллельного разнообразия по локусам Afug51 и An20 у заводской молоди 2014 и 2016 гг. Ряд аллелей, присутствовавших у производителей этих лет, в заводской молоди не был отмечен. Это связано с тем, что для воспроизводства, скорее всего, исполь-

Таблица 8. Средние значения генетических показателей микросателлитных локусов по всем выборкам севрюги

Выборка	N	Na	SE	Ne	SE	Ho	SE	He	SE
Производители 2014	89,200	8,000	1,265	4,813	1,091	0,738	0,086	0,741	0,058
Производители 2015	60,000	7,600	1,208	4,240	1,148	0,664	0,106	0,669	0,093
Производители 2016	31,600	8,000	1,265	4,516	1,090	0,710	0,092	0,709	0,077
Производители 2017	74,600	8,000	1,225	5,212	1,165	0,702	0,060	0,767	0,047
Завод. мол. 2014	12,800	6,400	0,510	3,930	0,747	0,760	0,099	0,696	0,072
Завод. мол. 2015	57,400	6,800	1,562	4,415	1,194	0,690	0,085	0,689	0,084
Завод. мол. 2016	54,800	7,600	1,288	4,677	1,073	0,632	0,069	0,726	0,069
Завод. мол. 2017	39,600	8,000	1,225	4,858	1,142	0,695	0,077	0,737	0,064
Скат молоди 2014	147,400	8,200	1,158	5,123	1,038	0,704	0,060	0,762	0,057
Скат молоди 2016	56,200	7,600	1,208	4,412	0,967	0,691	0,078	0,711	0,075
Скат молоди 2017	30,400	7,800	1,114	5,149	1,044	0,760	0,065	0,767	0,049

Примечание: N — число особей; Na — число аллелей; Ne — эффективное число аллелей; Ho — наблюдаемая гетерозиготность; He — ожидаемая гетерозиготность, SE — стандартная ошибка.

Таблица 9. Парные значения F_{ST} для исследованных выборок севрюги р. Урал (статистически достоверных различий не выявлено)

№ п/п	Выборка	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	Производители 2014	0,000										
2	Производители 2015	0,012	0,000									
3	Производители 2016	0,009	0,014	0,000								
4	Производители 2017	0,004	0,019	0,015	0,000							
5	Завод. мол. 2014	0,018	0,030	0,029	0,028	0,000						
6	Завод. мол. 2015	0,013	0,017	0,017	0,020	0,032	0,000					
7	Завод. мол. 2016	0,007	0,012	0,008	0,010	0,025	0,012	0,000				
8	Завод. мол. 2017	0,002	0,013	0,013	0,005	0,024	0,017	0,009	0,000			
9	Скат молоди 2014	0,008	0,012	0,009	0,012	0,024	0,016	0,012	0,010	0,000		
10	Скат молоди 2015	0,019	0,035	0,027	0,013	0,050	0,038	0,027	0,016	0,025	0,000	
11	Скат молоди 2017	0,006	0,017	0,014	0,006	0,025	0,017	0,009	0,006	0,008	0,013	0,000

зовались лишь некоторые из отловленных в реке производителей, что привело к снижению генетического разнообразия потомства. Так как для искусственного воспроизводства на ОРЗ р. Урал в настоящее время используются производители из естественной среды и с высоким природным полиморфизмом, потеря генетического разнообразия в потомстве незначительна.

Высокое генетическое разнообразие в исследованных выборках уральской севрюги 2014–2017 гг. обусловлено тем, что в настоящее время на нерест идут особи урожайных поколений севрюги 2007–2009 гг. [Шалгимбаева и др., 2016]. В ближайшие годы можно ожидать снижения природного полиморфизма, причиной которого будет являться резкое сокращение численности нерестовых мигран-

тов и, соответственно, масштаба естественного воспроизводства осетровых рыб Урало-Каспийского бассейна. С 2010 г. в р. Урал наблюдается значительное снижение захода севрюги, а также не отмечается естественного нереста русского осетра, белуги и шипа [Бокова, Джунусова, 2016], а скат молоди севрюги естественного нереста отмечается не ежегодно. Несмотря на принятый Казахстаном мораторий на коммерческий лов осетровых рыб в Урало-Каспийском бассейне, сокращение численности нерестовых мигрантов продолжается.

Искусственное воспроизводство является эффективным методом для сохранения и увеличения численности популяции севрюги на современном этапе. В настоящее время получение молоди севрюги р. Урал в целях искусственного воспроизводства основывается на использовании производителей, отобранных в период нерестовых миграций, но низкие уловы самок и самцов приводят к дефициту производителей. В настоящее время применяется практика осеменения икры одной самки спермой 2–3 самцов, которая оправдана с точки зрения повышения процента оплодотворения. В большинстве случаев увеличение процента оплодотворения происходит в основном за счёт сперматозоидов одного самца. Это приводит к тому, что и без того незначительное количество производителей фактически ещё больше сокращается, т. е. в оплодотворении реально участвуют не 2–3 самца, а один. Это может привести к тому, что генотипическая структура следующего поколения будет определяться генотипами немногочисленных родительских пар. Альтернативой является порционное индивидуальное оплодотворение икры от одной самки спермой каждого самца, что позволит получить наиболее генетически гетерогенное потомство.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Кроме усиления охраны миграционных путей в период нереста и пропуска производителей к местам нерестилищ, для сохранения генетического разнообразия севрюги р. Урал необходимо формирование на ОРЗ ремонтно-маточных стад (РМС) с целью создания резерва генетически разнородных производителей для искусственного воспроизводства севрюги и других видов осетровых р. Урал. Формирование РМС начато с 2015 г. из отловленных в р. Урал производителей севрюги, оставляемых на зимовку в прудах, однако в ходе доместикации переход на искусственные корма у диких производителей не всегда проходит эффективно и сопровождается большим отходом. В настоящее время на осетровых рыборазводных заводах р. Урал приступили к формированию ремонтно-маточного стада севрюги, выращенной «от икры». Такая молодь изначально привыкает к искусственным кормам и демонстрирует значительную жизнестойкость. В дальнейшем, когда поколение искусственно выращенных севрюг созреет, необходимо будет введение системы генетического мониторинга при определении родительских пар с целью недопущения близкородственного скрещивания и падения генетического разнообразия выпускаемой молоди в результате инбридинга. Генетическая характеристика выпускаемой молоди должна соответствовать естественной видовой генетической структуре вида для обеспечения максимальной выживаемости после выпуска в реку и ската в Каспийское море.

ЛИТЕРАТУРА

- Бокова Е.Б., Джунусова Г.Г. 2016. Проблемные вопросы состояния нерестилищ осетровых видов рыб р. Урал (Жайык) // Сб. науч. тр. Межд. науч. — практ. конф. «Новейшие достижения в науке и образовании». Смоленск. С. 8–12.
- Власенко А.Д., Захаров С.С. 1989. О состоянии уловов и воспроизводстве осетровых на р. Урал // Осетровое хозяйство водоёмов СССР. Тез. науч. докл. к предстоящему Всесоюз. совещ., ноябрь. Ч. 1. Астрахань. С. 55–57.
- Ходоревская Р.П., Калмыков В.А., Жилкин А.А. 2012. Современное состояние осетровых Каспийского бассейна и меры по их сохранению // Вестник АГТУ. Т. 3. С. 99–106.
- Чебанов М.С., Галич Е.В. 2013. Руководство по искусственному воспроизводству осетровых рыб // Технические доклады ФАО по рыбному хозяйству и аквакультуре. Т. 558. Анкара. 325 с.
- Шалгимбаева Г.М., Бокова Е.Б., Попов Н.Н., Асылбекова С.Ж., Исбеков К.Б., Микодина Е.В., Мюге Н.С. 2016. Современное состояние севриги (*Acipenser stellatus* Pallas, 1771) реки Урал // Вестник АГТУ. Т. 4. С. 32–41.
- Шишанова Е.И. 2003. Эколого-морфологическая и генетическая изменчивость популяции севриги р. Урал. // Дисс. ... канд. биол. наук. М.: Изд-во ВНИРО. 169 с.
- Barmintseva A.E., Muge N.S. 2013. The use of microsatellite loci for identification of sturgeon species (*Acipenseridae*) and hybrid forms // Russ. J. Genetic. V. 49. P. 950–961.
- Doukakis P., Birstein V.J., De Salle R. 2005. Intraspecific structure within three caviar producing sturgeons (*Acipenser gueldenstaedtii*, *A. stellatus* and *Huso huso*) based on mitochondrial DNA analysis // J. Appl. Ichthyol. V. 21. P. 457–460.
- Ivanova N.V., deWaard J., Hebert P.D.N. 1999. An inexpensive, automation-friendly protocol for recovering high-quality DNA // Molecular Ecology Notes. V. 6. P. 998–1002.
- Ludwig A., Belfiore N.M., Pitra C., Svirsky V., Jeneckens I. 2001. Genome duplication events and functional reduction of ploidy levels in sturgeon (*Acipenser*, *Huso* and *Scaphirhynchus*) // Genetics V. 158. P. 1203–1215.
- Norouzi M., Pourkazemi M. 2015. Analysis of genetic variability and differentiation of stellate sturgeon, (*Acipenser stellatus* Pallas, 1771), in the North (Volga and Ural Rivers) and South Caspian Sea (estuary of Sefidrud) // Intern. J. of Bioscience, V. 6. No. 5. P. 94–102.
- Peakall R., Smouse P.E. 2012. GenAlEx 6.5: genetic analysis in Excel. Population genetic software for teaching and research — an update // Bioinformatics. V. 28. P. 2537–2539.
- Qiwei W. 2010. *Acipenser stellatus* // IUCN2011. IUCN Red List of Threatened Species. Version 2011.2. URL: www.iucnredlist.org Accessible via: 20.05.2018.
- Rajkov J., Shao Z., Berrebi P. 2014. Evolution of polyploidy and functional diploidization in sturgeons: microsatellite analysis in 10 sturgeon species // J. of Heredity. V. 105. P. 521–531.
- Welsh A., May B. 2006. Development and standardization of disomic microsatellite markers for lake sturgeon genetic studies // J. of Applied Ichthyology. V. 22. P. 337–344.
- Zeng Q., Ye H., Ludwig A., Wang Z., Zhang Y., Peng Z. 2013. Microsatellite development for the endangered Yangtze sturgeon (*Acipenser dabryanus* Dumeril, 1869) using 454 sequencing // J. of Applied Ichthyology. V. 29. P. 1219–1221.

Поступила в редакцию 05.06.2018 г.
Принята после рецензии 12.10.2018 г.

Commercial species and their biology

Genetic diversity of stellate sturgeon of the Ural River

G.M. Shalgimbayeva¹, A.E. Barmintseva², L.N. Mugue², K.B. Isbekov¹, N.S. Mugue²

¹Kazakh Research Institute of Fisheries (LLP «KazNIRKh»), Almaty

²Russian Research Institute of Fisheries and Oceanography (FSBSI «VNIRO»), Moscow

The results of genetic variability of five variable microsatellite loci (Afug41, Afug51, An20, AoxD161, AoxD165) of stellate sturgeon, wild and artificial propagate juveniles of the Ural River are presented. Material submitted for the period 2014–2017. To assess the genetic diversity, the most informative are the loci Afug41, AoxD161 and AoxD165, which have the largest number of frequency-balanced alleles. Distribution of frequencies of genotypes at five microsatellite loci did not reveal intrapopulation differentiation among the spawning migrants, naturally spawned juveniles and fingerlings obtained by artificial reproduction at sturgeon fish farm hatchery of the Ural River from different years. At loci (An20, Afug51 and), there is a decrease in allelic diversity in the artificially propagate juveniles in 2014–2016 relative to the spawning migrants and wild juveniles of stellate sturgeon. These losses are still insignificant, since for the artificial reproduction at the Ural River of the Ural River, currently the producers are not from aquaculture, but from the natural environment and with high natural polymorphism.

Keywords: Ural River, stellate sturgeon *Acipenser stellatus*, microsatellite loci, polymorphism.

REFERENCES

- Bokova E.B., Dzhunusova G.G. 2016. Problemnnye voprosy sostoyaniya nerestilishch osetrovnykh vidov ryb r. Ural (Zhayk) [Problematic issues of sturgeon spawning grounds of the Ural River (Zhayk)] // Sb. nauch. tr. Mezhd. nauch. — prakt. konf. «Novejshie dostizheniya v nauke i obrazovanii». Smolensk. S. 8–12.
- Vlasenko A.D., Zakharov S.S. 1989. O sostoyanii ulovov i vosproizvodstve osetrovnykh na r. Ural [State of catches and reproduction of sturgeon on the Ural River] // Osetrovoe khozyajstvo vodoemov SSSR. Tez. nauch. dokl. k predstoyashchemu Vsesoyuz. soveshch., noyabr'. CH. 1. Astrakhan'. S. 55–57.
- Khodorevskaya R.P., Kalmykov V.A., Zhilkin A.A. 2012. Sovremennoe sostoyanie osetrovnykh Kaspijskogo bassejna i mery po ikh sokhraneniyyu [Current state of sturgeon of the Caspian basin and measures for their preservation] // Vodnye resursy i ikh ratsional'noe ispol'zovanie // Vestnik AGTU. Vyp. 3. S. 99–106.
- Chebanov M.S., Galich E.V. 2013. Rukovodstvo po iskusstvennomu vosproizvodstvu osetrovnykh ryb [Sturgeon Hatchery Manual]. Tekhnicheskie Doklady OON po rybnomy khozyistvy i akvakul'ture. Ankara. 325 s.
- Shalgimbaeva G.M., Bokova E.B., Popov N.N., Asylbekova S. Zh., Isbekov K.B., Mikodina E.V., Myuge N.S.. 2016. Sovremennoe sostoyanie sevryugi (*Acipenser stellatus* Pallas, 1771) reki Ural [Current state of the stellate sturgeon (*Acipenser stellatus* Pallas, 1771) of the Ural River] // Vestnik AGTU. T. 4. S. 32–41.
- Shishanova E.I. 2003. Ehkologo-morfologicheskaya i geneticheskaya izmenchivost' populyatsii sevryugi r. Ural [Environmental and genetic variability of stellate sturgeon populations of the Ural River]. Diss. ... kand. biol. nauk. M. Izd-vo VNIRO. 169 s.
- Barmintseva A.E., Mugue N.S. 2013. The use of microsatellite loci for identification of sturgeon species

- (Acipenseridae) and hybrid forms // Russ. J. Genetic. V. 49. P. 950–961.
- Doukakis P., Birstein V.J., De Salle R.* 2005. Intraspecific structure within three caviar producing sturgeons (*Acipenser gueldenstaedtii*, *A. stellatus* and *Huso huso*) based on mitochondrial DNA analysis // J. Appl. Ichthyol. V. 21. P. 457–460.
- Ivanova N.V., deWaard J., Hebert P.D.N.* 1999. An inexpensive, automation-friendly protocol for recovering high-quality DNA // Molecular Ecology Notes. V. 6. P. 998–1002.
- Ludwig A., Belfiore N.M., Pitra C., Svirsky V., Jeneckens I.* 2001. Genome duplication events and functional reduction of ploidy levels in sturgeon (*Acipenser*, *Huso* and *Scaphirhynchus*) // Genetics. V. 158. P. 1203–1215.
- Norouzi M., Pourkazemi M.* 2015. Analysis of genetic variability and differentiation of stellate sturgeon, (*Acipenser stellatus* Pallas, 1771), in the North (Volga and Ural Rivers) and South Caspian Sea (estuary of Sefidrud) // Intern. J. of Bioscience. Vol. 6. No. 5. P. 94–102, 2015.
- Qiwei W.* 2010. *Acipenser stellatus* // IUCN2011. IUCN Red List of Threatened Species. Version 2011.2. URL: www.iucnredlist.org Accessible via: 20.05.2018.
- Rajkov J., Shao Z., Berrebi P.* 2014. Evolution of polyploidy and functional diploidization in sturgeons: microsatellite analysis in 10 sturgeon species // J. of Heredity. V. 105. P. 521–531.
- Welsh A., May B.* 2006. Development and standardization of disomic microsatellite markers for lake sturgeon genetic studies // J. of Applied Ichthyology. V. 22. P. 337–344.
- Zeng Q., Ye H., Ludwig A., Wang Z., Zhang Y., Peng Z.* 2013. Microsatellite development for the endangered Yangtze sturgeon (*Acipenser dabryanus* Dumeril, 1869) using 454 sequencing // J. of Applied Ichthyology V. 29. P. 1219–1221.

FIGURE CAPTIONS

Fig. 1. Sampling stations of the stellate sturgeon on the Ural River

TABLE CAPTIONS

Table 1. Characteristics of the collected material

Table 2. Microsatellite loci for the analysis of stellate sturgeon polymorphism

Table 3. The alleles frequency of the locus Afug41

Table 4. The alleles frequency of the locus AoxD165

Table 5. The alleles frequency of the locus Afug51

Table 6. The alleles frequency of the locus AoxD161

Table 7. The alleles frequency of the locus An20

Table 8. Average genetic parameters of microsatellite loci of the stellate sturgeon

Table 9. Pairwise F_{ST} of the stellate the Ural River