

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО РЫБОЛОВСТВУ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ УНИТАРНОЕ ПРЕДПРИЯТИЕ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ НАУЧНО-ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ЦЕНТР
РЫБНОГО ХОЗЯЙСТВА
(ФГУП «ГОСРЫБЦЕНТР»)

Биология, биотехника разведения
и состояние запасов сиговых рыб

BIOLOGY, BIOTECHNOLOGY OF BREEDING AND
CONDITION OF COREGONID FISH STOCKS

Восьмое международное научно-производственное совещание

(Россия, Тюмень, 27-28 ноября 2013 года)

VIII International Scientific and Practical Workshop

(Tyumen, Russia, November, 27-28, 2013)

Материалы совещания

Научное издание

Под общей редакцией
доктора биологических наук А.И. Литвиненко,
доктора биологических наук Ю.С. Решетникова

Тюмень
ФГУП «Госрыбцентр»
2013

Савваитова, К. А. К вопросу о популяционной структуре валька *Prosopium cylindraceum* в водоемах Таймыра / К. А. Савваитова и др. // Вопр. ихтиологии. - Т. 36, вып. 2. - 1996. - С. 195–205.

Сиделев, Г. Н. Ихтиофауна крупных озер / Г. Н. Сиделев // Озера северо-запада Сибирской платформы. – Новосибирск : Наука, 1981. - С. 151–171.

Баасанжав, Г. Монгол орны загас / Г. Баасанжав, Я. Цэнд-Аюуш. Улаанбаатар хот. - 2001. - 180 с.

Berg, L. S. The Fishes of the Khatanga River basin. - Л. : Изд-во Академии Наук, 1926. - 22 с.

ROUND COREGONID FISH *PROSOPIMUM CYLINDRACEUM* (PENNANT, 1784) IN RESERVOIRS OF THE WESTERN BORDER OF ITS AREAL

Romanov V.I.

The National Research Tomsk State University

Summary

Round Coregonid fish *Prosopium cylindraceum* habitat spans two continents - Asia and North America. The western boundary of the areal goes along some of the right tributaries of Yenisey River. This paper examines the history of the research of round Coregonid fish and estimates the present distribution of this species in the waters of Middle Siberia. It is shown that the southern populations of round Coregonid fish have a strong anthropogenic pressure and their numbers are declining, in some rivers they disappeared altogether.

ГЕНЕТИЧЕСКАЯ ДИФФЕРЕНЦИАЦИЯ ЛЕДОВИТОМОРСКОГО ПЫЖЬЯНА ИЗ КРУПНЫХ РЕК ЯКУТИИ

Сендек Д.С.¹, Иванов Е.В.²

¹ ФГБНУ «Государственный научно-исследовательский институт озерного и речного рыбного хозяйства» (ФГБНУ «ГосНИОРХ»)

² ФГАОУ ВПО «Научно-исследовательский институт прикладной экологии Севера Северо-Восточного федерального университета им. М.К. Аммосова» (ФГАОУ ВПО «НИИПЭС СВФУ»)

Популяционно-генетический анализ пыжьяновидных сигов четырех крупных рек Якутии по 30 ферментным локусам выявил существенную дифференциацию популяции реки Лена от популяций рек Колыма и Индигирка. При этом популяция реки Омолой оказалась в равной степени удаленной от ленских сигов и от сигов колымо-инигирской низменности, занимая промежуточную позицию между двумя кластерами. По-видимому, генетическая неоднородность популяций связана с особенностями расселения дискретных эволюционных линий вида на исследованном ареале в позднечетвертичное время. В отличие от

крайней западной и двух восточных популяций, представляющих в наиболее чистом виде потомков альтернативных филогеографических линий, омолойская популяция имеет очевидное полифилетическое происхождение, в ее эволюционном становлении наряду с пыжьянами южно-сибирского происхождения принимали участие восточные вселенцы из Колымо-Индигирского междуречья.

На севере Сибири пыжьяновидный сиг *Coregonus lavaretus pidschian* (Gmelin) встречается во всех крупных реках ледовитоморского побережья. Для пыжьяна Субарктики хорошо выражена структурная неоднородность на ареале по комплексу экологических и морфологических признаков, причем эта изменчивость часто носит мозаичный характер. Значительный фенотипический полиморфизм сига обычно связывают со способностью вида *Coregonus lavaretus* complex проявлять способность к широкой морфологической изменчивости в условиях экологической неоднородности среды обитания. Впрочем, примеры изучения вопросов филогеографии пыжьянов с использованием популяционно-генетических методов анализа показывают, что зачастую в основе природной изменчивости популяций лежит история происхождения, расселения и взаимодействия дискретных эволюционных линий сига (Балдина, 2010; Балдина и др., 2010; Sendek, 2004; Sukhanova et al., 2012).

На основании анализа меристических признаков Ф.Н.Кириллов (1972) разделил ледовитоморских пыжьянов Якутии на три подвида, выделяя восточносибирского сига (бассейны Лены, Яны, Индигирки, Колымы), ледниково-равнинного сига (бассейн Хромы) и оленекского сига (бассейн Оленька). Генетический анализ выборки из субарктических популяций пыжьяна, номинально принадлежащих к группе восточносибирских сегов (по Ф.Н.Кириллову, 1972), показал их сравнительную однородность (Politov et al., 2002) при одновременной дифференциации от сегов из более южных и западных областей ареала (Балдина, 2010; Балдина и др., 2010). В задачу настоящего исследования входило изучение сегов из крупных рек Якутии на ареале от Лены до Колымы методами изоферментного анализа. Целью работы являлось уточнение филогеографических связей популяций пыжьянов с учетом ранее высказанных предположений об их относительной гомогенности на рассматриваемом ареале по результатам морфологических (Кириллов, 1972) и генетических (Балдина, 2010; Балдина и др., 2010) анализов.

Материалом для исследования послужили выборки пыжьянов из рек Лена (нижнее течение), Омолой (нижнее течение), Индигирка (среднее течение), Колыма (верхнее и нижнее течение). Методом электрофореза в полиакриламидном геле было изучено тринадцать белковых систем, кодируемых 30-тью локусами. Для визуализации продуктов экспрессии ферментных локусов использовали препараты, приготовленные из мышечных и печеночных тканей рыб. Биохимическая и статистическая обработка результатов проводилась в соответствии с методами, изложенными ранее (Sendek et al., 2013).

В пяти исследованных выборках сегов 16 локусов оказались мономорфными: *sAAT-1,2**, *CK-A1,2**, *G3PDH-2**, *GPI-A1**, *GPI-A2**, *GPI-B2**, *sIDHP-3**, *LDH-B1**, *LDH-B2**, *MDH-A2**, *MDH-B2**, *sMEP-4**, *PGM-4**, *sSOD**. Индексы генетической вариабельности проанализированных популяций изменялись в

достаточно широких пределах ($0.065 < H_{exp} < 0.091$; $20.0 < P < 36.7$), достигая наибольших показателей у омолойского сига. Частоты аллелей полиморфных локусов в схематическом виде представлены в таблице (табл.1).

Таблица 1 - Частоты аллелей полиморфных локусов, процент полиморфных локусов (P , 99% критерий) и средняя ожидаемая гетерозиготность (H_{exp}) в исследованных популяциях пыжьяновидных сигов.

Популяции \ Локусы	Лена (N = 27)	Омолой (N = 37)	Индиگیرка (N = 20)	Колыма верхняя (N = 11)	Колыма нижняя (N = 50)
<i>ESTD</i> *	A	A	A	A	A(.95)b
<i>G3PDH-1</i> *	A(.91)c	A(.89)D	A(.98)d	A	A(.97)d
<i>GPI-B1</i> *	A	A	A(.98)b	A	A(.98)f
<i>IDDH-1,2</i> *	C(.56)Ad	A(.66)Cf	A(.57)CFh	A(.55)Fhc	A(.72)FCh
<i>sIDHP-4</i> *	A(.94)bc	A(.77)Cb	A(.88)cb	A(.82)C	A(.89)C
<i>LDH-A1</i> *	A	A(.99)f	A(.93)f	A	A(.95)f
<i>LDH-A2</i> *	A	A(.94)f	A	A	A
<i>MDH-A1</i> *	A(.99)b	A	A(.98)f	A(.96)h	A
<i>MDH-B1</i> *	A(.96)b	A(.99)c	A(.98)c	A	A(.99)c
<i>MEP-3</i> *	A(.85)Bc	A(.56)C	C(.68)A	C(.59)A	C(.67)A
<i>PGDH</i> *	A	A(.99)b	A	A	A
<i>PGM-3</i> *	A(.55)B	B(.53)A	A(.95)b	A(.91)b	A(.96)b
<i>mSOD</i>	A	A	A	A	A(.98)b
P (0.99)	26.7	33.3	33.3	20.0	36.7
H_{exp}	.074 (.029)	.091 (.032)	.074 (.029)	.077 (.034)	.065 (.025)

Примечание - Заглавные буквы обозначают аллели со средней частотой $p \geq 0.1$; строчные буквы использованы для обозначения аллелей со средней частотой $p < 0.1$. В скобках приведены частоты преобладающих аллелей

Тест на генетическую однородность, проведенный для всех исследованных популяций сига, выявил статистически достоверные различия в распределении частот аллелей девяти из четырнадцати полиморфных локусов (*G3PDH-1**, $p < 0.001$; *sIDDH-1,2**, $p < 0.001$; *sIDHP-4**, $p < 0.01$; *LDH-A2**, $p < 0.01$; *MDH-A1**, $p < 0.01$; *MEP-3**, $p < 0.001$; *PGM-3**, $p < 0.001$; *ESTD**, $p < 0.01$). Тот же тест, выполненный для трех популяций бассейна Восточно-Сибирского моря (Колыма, Индиگیرка), обнаружил статистически значимые различия в частотах аллелей только двух изолюсов идиолдегидрогеназы из одиннадцати полиморфных локусов (*sIDDH-1,2**, $p < 0.05$). Статистически достоверные различия в частотах аллелей пяти из одиннадцати полиморфных локусов (*G3PDH-1**, $p < 0.01$; *sIDDH-1,2**, $p < 0.05$; *sIDHP-4**, $p < 0.05$; *MEP-3**, $p < 0.001$) были найдены при сопоставлении омолойской и ленской выборок сигов, относящихся к бассейну море Лаптевых.

В целом по аллельному составу и частотам аллелей две выборки сига Колымы и выборка сига Индиگیرки слабо различаются между собой, что под-

тверждается невысокими значениями генетических расстояний и индексов фиксации, выявленными между тремя популяциями: $0.000 < D_N < 0.001$, $0.008 < FST < 0.015$ соответственно (табл. 2). Полученные данные хорошо согласуются с результатами анализа морфологических признаков у сигов Якутии в пределах одной речной системы (в частности, из среднего и нижнего течения Колымы), на основании которых автор работы делает вывод о популяционной однородности сигов, обитающих в одном водоеме (Кириллов, 1972). По тем же индексам генетических сравнений наиболее западная популяция из нашего исследования (р. Лена) существенно дальше отстоит от популяции сигов рек Колыма и Индигирка: $0.025 < D_N < 0.029$, $0.134 < FST < 0.159$. Омолойский сиг занимает промежуточное положение, приблизительно в равной степени отстоя от сигов Колымо-Индигирской низменности ($0.011 < D_N < 0.013$, $0.057 < FST < 0.075$) и от ленского сига ($D_N = 0.010$; $FST = 0.058$).

Таблица 2 - Матрикс генетических расстояний D_N (Nei, 1978) (под диагональю) и уровни FST (Wright, 1978) (над диагональю) между сравниваемыми популяциями сигов

Популяции	Колыма нижняя	Колыма верхняя	Индигирка	Омолрой	Лена
Колыма нижняя	-	.015	.008	.075	.159
Колыма верхняя	.001	-	.015	.057	.134
Индигирка	.000	.000	-	.063	.142
Омолрой	.012	.013	.011	-	.058
Лена	.029	.027	.025	.010	-

Генетическая дивергенция сигов Колымо-Индигирской низменности от сигов Лены обеспечивается за счет смены преобладающего аллеля по локусам *IDDH-1,2** и *PGM-3**, а также из-за существенной разницы в частотах встречаемости доминирующих аллелей локусов *sIDHP-4** и *MEP-3**. Кроме того, в более восточных популяциях наличествуют аллели *G3PDH-1*d*, *IDDH-1,2*f*, *IDDH-1,2*h*, *LDH-A1*f*, *MDH-B1*b* нетипичные для ленских сигов, причем их частота в ряде случаев достаточно высока. В то же время у сигов Лены выявлены редкие аллели *G3PDH-1*c*, *IDDH-1,2*d*, *MDH-B1*b*, *MEP-3*b*, нехарактерные для сигов популяций рек Колыма, Индигирка, Омолрой (см. табл. 1).

По нашему мнению, выявленная генетическая неоднородность западных и восточных субарктических сигов Якутии связана с неединым источником происхождения современных популяций в результате расселения дискретных эволюционных линий сига из географически разобщенных позднечетвертичных убежищ. По-видимому, одна из этих линий ведет свое начало с территории Колымо-Индигирского междуречья, незатронутой покровными оледенениями позднего Плейстоцена, и в наиболее чистом виде представленная рецентными популяциями Колымы и Индигирки. Ленского пыжьяна уместно отождествлять с другой эволюционной линией, вторично расселившейся из водоемов южных областей Сибири в северном направлении (Sukhanova et al., 2012). Вместе со

стоком Лены сига этой эволюционной линии достигли ледовитоморского побережья и к востоку от устья Лены в большей или меньшей степени гибридизовались с сигами колымо-индигирского происхождения. Характер распределения у омолойского сига аллелей исследованных локусов, а также высокие значения параметров генетического разнообразия этой популяции (см. табл. 1) косвенным образом указывают на полифилетическое происхождение сигов Омолая.

По-видимому, некоторый обмен между фаунами сигов рек бассейнов морей Восточно-Сибирского и Лаптевых мог происходить в позднем Плейстоцене в фазу регрессии океана по пресным водным путям, образовавшимся на осушенном шельфе в результате подпруды морским льдом речных стоков. Предполагаемый сценарий взаимодействия разных эволюционных линий сига подтверждается результатами популяционно-генетических исследований другого циркумполярного вида сиговых рыб – сибирской ряпушки *Coregonus sardinella* Valenciennes на том же ареале: сложные филогеографические отношения разных эволюционных линий данного вида проявляется в виде обширной зоны интрогрессивной гибридизации у рецентных популяций северо-восточной Якутии и северо-западной Чукотки (Сендек и др., 2013).

Список литературы

Балдина, С. Н. Внутривидовая генетическая дифференциация и филогения сигов (р.*Coregonus*) Сибири : Автореф. дис. канд. биол. наук. - М., 2010. - 23 с.

Балдина, С. Н., Гордон Н.Ю., Политов Д.В. Генетическая дифференциация некоторых видов сиговых рыб Сибири / С. Н. Балдина, Н. Ю. Гордон, Д. В. Политов // Материалы седьмого международного научно-производственного совещания «Биология, биотехника разведения и состояние запасов сиговых рыб». – Тюмень, 2010. - С.5-9.

Кириллов, Ф. Н. Рыбы Якутии. - М. : Наука, 1972. - 360 с.

Сендек, Д. С., Иванов Е.И., Федорова Е.А. Генетическая дифференциация сибирской ряпушки четырех крупных рек Якутии // Материалы Всероссийской научно-практической конференции «Прикладная экология Севера: проблемы, исследования, перспективы» : Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований : в печати. - 2013.

Nei, M. Estimation of average heterozygosity and genetic distance from a small number of individuals // Genetics. 1978. V.89. P. 583-590.

Politov, D. V., Gordon, N. Y., Makhrov, A. A. Genetic identification and taxonomic relationships of six Siberian species of *Coregonus* // The proceedings of the 7-th International Symposium on the Biology and Management of Coregonid Fishes 1999. Adv. Limn. 2002. V.57. P. 21-34.

Sendek, D. S. The origin of sympatric forms of European whitefish (*Coregonus lavaretus* (L.)) in Lake Ladoga based on comparative genetic analysis of populations in North-West Russia // The proceedings of the 8-th International Symposium on the Biology and Management of Coregonid Fishes 2002. Ann. Zool. Fennici 2004. V.41. P. 25-39.

Sendek, D. S., Ivanov, Eu. V., Khodulov, V. V., Novoselov, A. P., Matkovsky, A. K., Ljutikov, A. A. Genetic differentiation of coregonids populations in Subarctic areas // The proceedings of the 11-th International Symposium on the Biology and Management of Coregonid Fishes 2011. Advanc. Limnol. 2013 V.64. P. 223-246. Sukhanova, L. V., Smirnov, V. V., Smirnova-Zalumi, N. S., Belomestnykh, T. V., Kirilchik, S. V. Molecular phylogeography of Lake Baikal coregonids fishes // The proceedings of the 10-th International Symposium on the Biology and Management of Coregonid Fishes 2011. Advanc. Limnol. 2012. V.63. P. 261-283.

Wright, S., 1978: Evolution and the genetics of populations. Vol.4. Variability within and among populations. University of Chicago Press, Chicago.

GENETIC DIFFERENTIATION OF SIBERIAN PIDSCHIAN OF FOUR LARGE YAKUTIAN RIVERS

Sendek D.S.¹, Ivanov Eu.V.²

¹*FGBNU "GosNIORKh";* ²*FGAOU VPO "NIIPES SVFU"*

Summary

Population-genetic study of Siberian pidschian from four large rivers of Yakutia by means of 30 enzyme loci revealed substantial differentiation between populations of Lena from one side and pool of eastern populations (Indigirka, Kolyma) from another. At the same time population of Omoloy River proved to be distinct from western and eastern populations approximately in equal levels. Obviously, genetic differentiation within pidschian in the studied area is correlated with particulars of expansion of discrete evolutionary lineages of species, which had taken place in the lower Pleistocene. In contrast with three other populations, represented in more pure form from alternative evolutionary lineages of species, the population of Omoloy River has had a polyphyletic origin, since both biological sources - pidschian from southern Siberian refuge as well as immigrants from Kolyma-Indigirka interstream area had taken place at its evolutionary formation.

ВЫРАЩИВАНИЕ СИГОВЫХ РЫБ В ВОДОЕМАХ УРАЛА

Скворцов В.Н., Воронин В.П., Оленев С.В.

Уральский научно-исследовательский институт водных биоресурсов и аквакультуры (Уральский филиал ФГУП «Госрыбцентр»)

Основной предпосылкой для акклиматизации рыб в водоемах Урала явилась обедненность местной ихтиофауны ценными объектами промысла. Одними из объектов для обогащения ихтиофауны были выбраны виды рыб рода сига.

В становлении сиговодства на Урале можно выделить несколько этапов. На первом этапе, продолжавшемся почти с начала XX в. до середины 1950-х гг., проводились широкомасштабные работы по акклиматизации в озерах новых для Урала объектов промысла. В 1909-1921 гг. ихтиологом И.В.Кучиным были предприняты попытки натурализации в водоемах Урала ценных промысловых