Journal of Siberian Federal University. Biology 3 (2009 2) 342-354
~ ~ ~

УДК 597.5

Формы центрального склерита чешуи байкальского омуля (*C. migratorius Georgi*) и их внутривидовая изменчивость

М.Л. Тягун [a]*, М.Г. Воронов[b]
[a] Лимнологический институт СО РАН
Россия 364033, Иркутск, ул. Улан-Баторская, 3
[b] ФГУ Байкалрыбвод
Россия 670000, Улан-Удэ, ул. Смолина, 18[1]

Received 9.09.2009, received in revised form 16.09.2009, accepted 23.09.2009

Обнаружено, что у рыб с эласмоидным типом чешуи возможны внутривидовые вариации формы её центрального склерита. Для исследования характера дифференциации по этому признаку в качестве объекта был выбран полиморфный вид – байкальский омуль. У омуля наблюдаются следующие формы центрального склерита: шестигранные, пятигранные, прямоугольные, ромбовидные и сдвоенные (двузародышевые). Исследован процентный состав особей с описанными типами центрального склерита в крупных популяциях омуля. Анализ показал, что особи с пятигранной формой численно доминируют во всех крупных популяциях. У особей с разными типами центрального склерита проведён дополнительный анализ изменения характеристик чешуи, площади и числа склеритов, сформировавшихся в первый год жизни. Обнаружено, что омули, отличающиеся геометрией центрального склерита, отличаются друг от друга и величиной площади, и числом сформированных склеритов. Рост чешуи у особей первого года жизни с различными морфами центрального склерита также сохраняет единые популяционные черты. Обсуждается природа геометрической разнокачественности и возможность использования геометрических характеристик твёрдых тканей для таксономического определения.

Ключевые слова: биоминерал, геометрическая морфология, эласмоидный тип чешуи, центральный склерит.

Введение

В образовании твёрдых тканей с различными свойствами велика роль процессов биокристаллизации. Одним из результатов этих процессов является разнообразие морф наружных скелетов животных, которое устанавливается на межвидовом и внутривидовом уровнях. Различия геометрических характеристик твёрдых тканей могут дать важную информацию при таксономических исследованиях (Ebanez et al., 2007). Поэтому исследования модификаций твёрдой ткани и их видовой и внутривидовой консервативности интересны не только с теоретической, но и с практической точки зрения.

Признаки, по которым выделяют определённые внутривидовые образования, как правило, относятся к категории модификационной

* Corresponding author E-mail address: mary@lin.irk.ru
1 © Siberian Federal University. All rights reserved

изменчивости: число пилорических придатков, позвонков, пропорции тела, скорость роста, особенности жизненного цикла (Попов, Сендек, 2003). Кроме морфологических (число тычинок) и экологических (продолжительность жизни) признаков для исследования структуры вида в качестве критерия вполне допустимо использование характеристик ткани биоминерала (Kohn, Cerling, 2003).

В ихтиологии одним из объектов, наделённым достаточно полным «информационным пакетом» данных о жизненном цикле, служит чешуя. Кроме классических методов определения возраста по количеству зон минерализованного верхнего слоя, она даёт возможность диагностировать конкретные популяции или определённые внутривидовые группы по ряду естественных «меток», свидетельствующих об определённых моментах жизненного цикла. Известны работы, посвящённые исследованию морфологических различий по элементам внешнего рельефа, шипикам, гранулам, радиям и другим (Kuusipalo, 1998). Эти рельефные элементы имеют значение для таксономических и эволюционных исследований. Они используются при создании филогенетических дендрограмм. Достоверность созданных дендрограмм подтверждается методами рестрикционного анализа митохондриальной ДНК.

Подобные исследования актуальны для представителей, имеющих ктеноидную чешую. Но как быть в случае циклоидного типа, когда существование внутривидовых образований априори возможно?

Необходимо проверить возможность внутривидового определения в более раннем возрасте – в момент образования первого склерита. Склерит по своей природе – гребнеобразное замкнутое возвышение верхнего минерализованного слоя чешуи. Именно благодаря наличию склеритов верхний слой чешуи называют рельефным. Форма двух-трёх первых склеритов, формирующихся вслед за центральным, повторяет форму последнего. Форма центрального склерита внутри вида изменчива. Причина этой изменчивости, возможно, кроется именно в различиях процессов биокристаллизации (Grigorieva et al., 2004). Происходит взаимодействие растущих кристаллитов с несимметричным рельефом поверхности заложившегося ранее слоя чешуи, что приводит к изменению механизма роста отдельных кристаллитов, скорости их роста и морфологии, что в конечном итоге выражается в вариациях форм поверхностных рельефов (Ikoma et al., 2003). Представляет интерес исследовать экологическую принадлежность этих морф с целью получить ключ для диагностики внутривидовых образований на более ранних стадиях жизненного цикла, а также увидеть картину изменчивости морф в проекции относительно уже установленных внутривидовых образований, популяций и нагульных групп. Понимание того, что форма центрального склерита останется практически неизменной на протяжении всей жизни, даёт основание полагать, что в идеале появляется возможность определять популяцию или экологическую группу независимо от её возраста.

Как правило, внутривидовую структуру полиморфных видов построить на одном признаке не удаётся. Закрепление внутривидового статуса группы по какому-то одному признаку, например по форме центрального склерита (далее ц.с.), должно опираться на факт существования у данной группы характерных дополнительных биологических или экологических отличий. Для объективной оценки установленного статуса необходимо представлять, какие именно экологические и биологические моменты характерны для этой группы. В такой ситуации необходима инфор-

мация об особенностях роста. Поскольку чешуя в достаточно точной мере отражает и ростовые процессы (Pierce et al., 1996; Horppila, Nyberg, 1999) – изменение линейных и весовых соматических показателей, использование её в качестве единственного источника для подобного исследования вполне допустимо.

В настоящий момент проводится комплексное исследование внутривидовой дифференциации по морфам центрального склерита у полиморфных байкальских лососевидных. Настоящая работа проведена для байкальского омуля, массового вида, отличающегося сложной внутривидовой иерархией. Омуль круглогодично образует массовые, но различные по численности и по структуре нагульные агрегации на протяжении всей акватории озера Байкал, а в осенний период – нерестовые скопления. У последних, судя по пространственно-временному разделению их хода в реках к местам нереста, существует субпопуляционный уровень организации..

Популяционный статус омуля определяется отличительным набором морфофизиологических признаков, характеризующих особей, нерестящихся в разных реках (Смирнов, Шумилов, 1974; Тельпуховский, Карпенко, 1998). Кроме того, популяционная разнокачественность омуля была доказана методом рестрикционного анализа мДНК (Суханова и др., 1996). Субпопуляционный уровень организации байкальского омуля выражается в расхождении на определённые эколого-морфологические группы (ЭМГ), в которых различают придонно-глубоководную, пелагическую и прибрежно-пелагическую, приуроченные к соответствующим местам нагула в акватории озера (Smirnov, 1992). При нерестовом ходе, субпопуляционная дифференциация заключается в разном времени захода в реку в виде отдельных нерестовых скоплений, их характерном пространственном разделении, различной скоростью нерестового хода, разными местами нереста в ложе реки (Смирнов и др., 1987). Однако, в ряде случаев, при исследовании структуры нерестовых скоплений байкальского омуля, неоднократно было обнаружено, что на нерест в сравнительно меньшем количестве могут заходить омули «чужой», нетипичной для данной реки, популяции (Мишарин, 1958; Смирнов, Шумилов, 1974). Таким образом, вполне возможно, что в одну реку на нерест заходят омули, имеющие не только разный субпопуляционный, но и популяционный статус. В связи с этим задача исследования внутривидовой иерархии в пределах всего одной реки усложняется.

Настоящее исследование проведено только для омулей крупных популяций, имеющих промысловое значение. Это омули селенгинской (нерест проходит в р. Селенге), верхне-ангарской (нерест проходит в р. Верхняя Ангара и в р. Кичера) и посольской (нерест проходит в р. Большая Речка) популяций, представленные соответственно пелагической, прибрежно-пелагической и придонно-пелагической ЭМГ. Также, в сравнительных целях, исследован состав нагульного омуля, представленного пелагической, придонно-пелагической и прибрежно-пелагической ЭМГ, встречающимися одновременно в весеннее-летний период в средней котловине озера (на Селенгинском мелководье).

Материалы и методы

В анализе использованы данные нерестовых проб омуля, отловленного в перечисленных выше реках в 1999, 2002 гг., а также данные средних проб нагульных весенних скоплений, обловленных в 2003, 2007 гг. (рис.1). Поскольку нерестовый ход проходит с определённым временным сдвигом, с юга на север озера, наблюдается запаздывание с заходом в реки и непосредственно с нерестом.

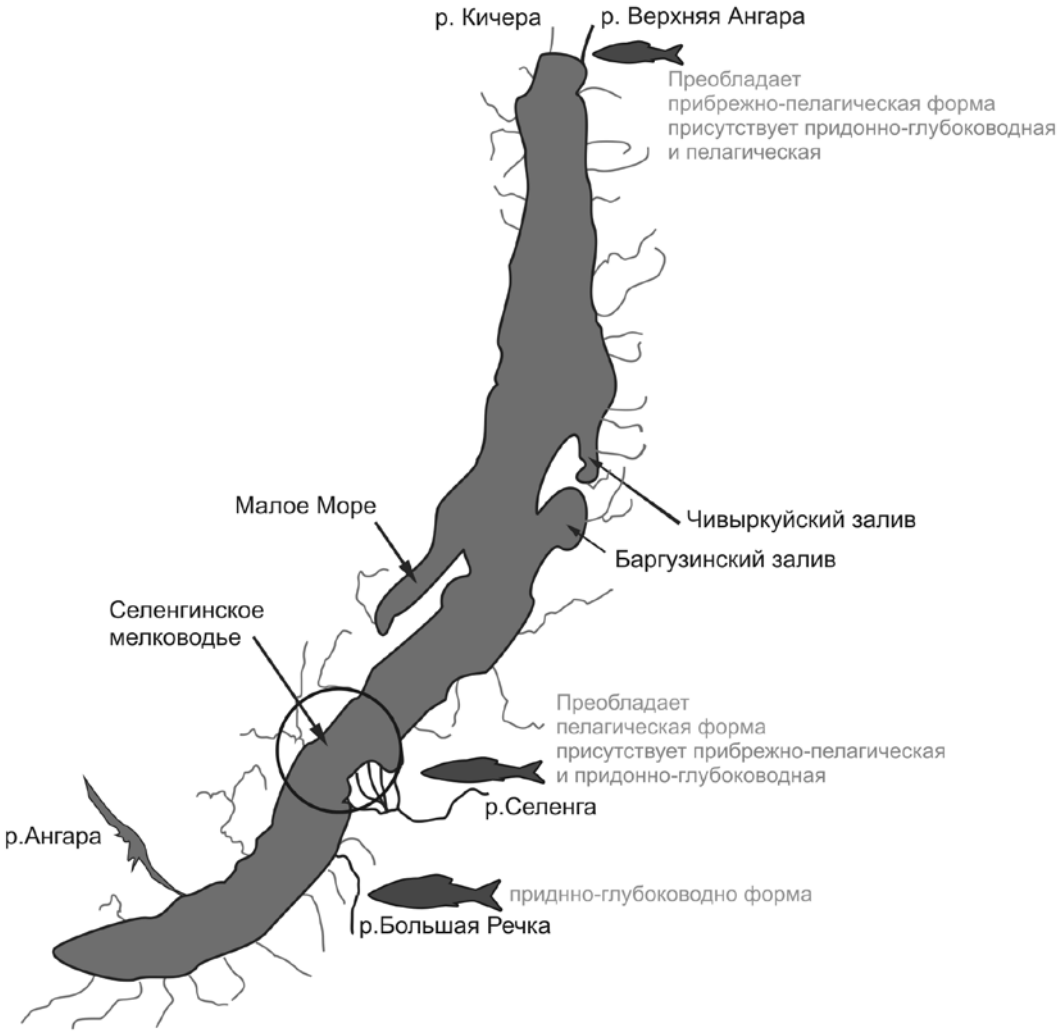

Рис. 1. Схема нерестовых притоков и нагульной площади акватории озера Байкал, используемых омулем

Поэтому лов проводился с учётом временного сдвига и с целью отбора представителей так называемой чистой популяции. Лов на р. Селенге проходил 9 и 15 сентября 1999 г. и 5 сентября 2002 г., на р. Большой Речке – 9, 12 сентября 1999 г. и 28 сентября 2002 г., на р. Верхней Ангаре (ниже протоки Ангаракан, канала, соединяющего реки В.Ангару и Кичеру) – 18 сентября 1999 г., 5-11 октября 2002 г., на р. Кичера – 12-13 октября 2002 г. В качестве орудия лова использовали сплавные сети ячеей 30-45 мм. Лов нагульных особей проводился при помощи трала 6-9 июня 2003 г. и 27 мая 2007 г.

Количество нерестовых особей, использованных в анализе: 1999 г., р. Б.Речка – 42, р. Селенга – 135, р. В.Ангара – 120; 2002 г., р. Б.Речка – 30, р. Селенга – 209, р. Кичера – 97. Количество нагульных особей, использованных в анализе: 2003 г. – придонно-глубоководный – 90, пелагический – 79, прибрежно-пелагический – 74; 2007 г. – придонно-глубоководный – 28, пелагический – 75, прибрежно-пелагический – 24.

Для всех особей проведён стандартный биологический и подробный морфологический анализ. Шёл подсчёт числа жаберных тычинок. По совокупным данным анализа определялась эколого-морфологическая принадлежность особей. Пробы из р. Селенги представлены пелагической ЭМГ, из р. В.Ангара – прибрежно-пелагической ЭМГ, из р. Большая Речка – придонно-глубоководной ЭМГ.

По фотографиям центральной зоны чешуи, полученным с помощью бинокуляра МБС-10 (Ломо, Россия), проводился весь комплекс исследования. Предварительно несколько чешуй от одной особи, отобранных под спинным плавником, анализировались на предмет сходства контуров центральных склеритов. Омули каждой выборки разделялись на группы по принципу формы ц.с. Проанализировано соотношение групп по количеству особей. Далее по полученным изображениям измерялась площадь, оконтуренная центральным склеритом (условно площадь центральной зоны – S ц.з.), площадь первой годовой зоны (S 1 год.з.) и вёлся счёт числа склеритов, сформировавшихся внутри границ первой годовой зоны роста. Эти параметры избраны в качестве характеристик роста чешуи от времени начала формирования ц.с. ко времени окончания формирования первой годовой зоны роста, т. е. с момента закладки первого склерита, весной, и вплоть до осени следующего года, когда на чешуе закладывается склерит новой зоны роста. Допуская факт различий роста молоди в первый год жизни, было решено использовать именно эти параметры, поскольку они характеризуют весеннюю и осеннюю «точки» онтогенеза.

Величины S ц.з. и S 1 год.з. были измерены с помощью программного пакета Image Pro. Число склеритов подсчитывалось в передней зоне роста чешуйной пластинки, где их количество обычно максимально (Смирнов, Смирнова-Залуми, 1993).

Результаты и обсуждение

По данным анализа обнаружено, что у омуля наблюдаются следующие формы центрального склерита: подобные форме шестигранника, пятигранника, квадрата или прямоугольника, ромба и нестандартные формы, представленные двойными, «сросшимися» ц.с. (рис. 2а, 3а, 4а).

Во всех группах нерестовых и нагульных на популяционном и экологическом уровне прослеживается единая картина пропорционального состава типов ц.с. (рис. 2б, 3б, 4б). Доминируют особи с пятигранной формой ц.с., 45-59 % в среднем по всем группам. Доля шестигранных типов как в нерестовых, так и в нагульных группах ниже, – 13-37 % в среднем. Исключение составляют особи селенгинской популяции, отловленные в 1999 г. Там доминировали шестигранные типы ц.с. В меньшем количестве во всех группах встречаются прямоугольные типы (5-25 %), ромбовидные (3-7 %) и двузародышевые (4-10 %).

Отмечается небольшое различие в составе у нагульных и нерестовых особей. Оно проявляется в увеличении доли прямоугольных типов у нагульных групп (рис. 2б, 3б, 4б).

Необходимость выяснить, каким образом может проявляться дифференциация по типу формы ц.с., заставила проследить изменения площади и числа склеритов чешуи первого года жизни в различных комбинациях: у нерестовых особей из разных рек, а также и у нагульных особей разных ЭМГ. Результаты изменения средних показателей представлены на рис. 2в, 3в, 4в.

Для проб из **р. Большая Речка** очевидно, что площадь и число склеритов первой годовой зоны, а также показатель соотношения S 1год.з.\S ц.з., призванный продемонстри-

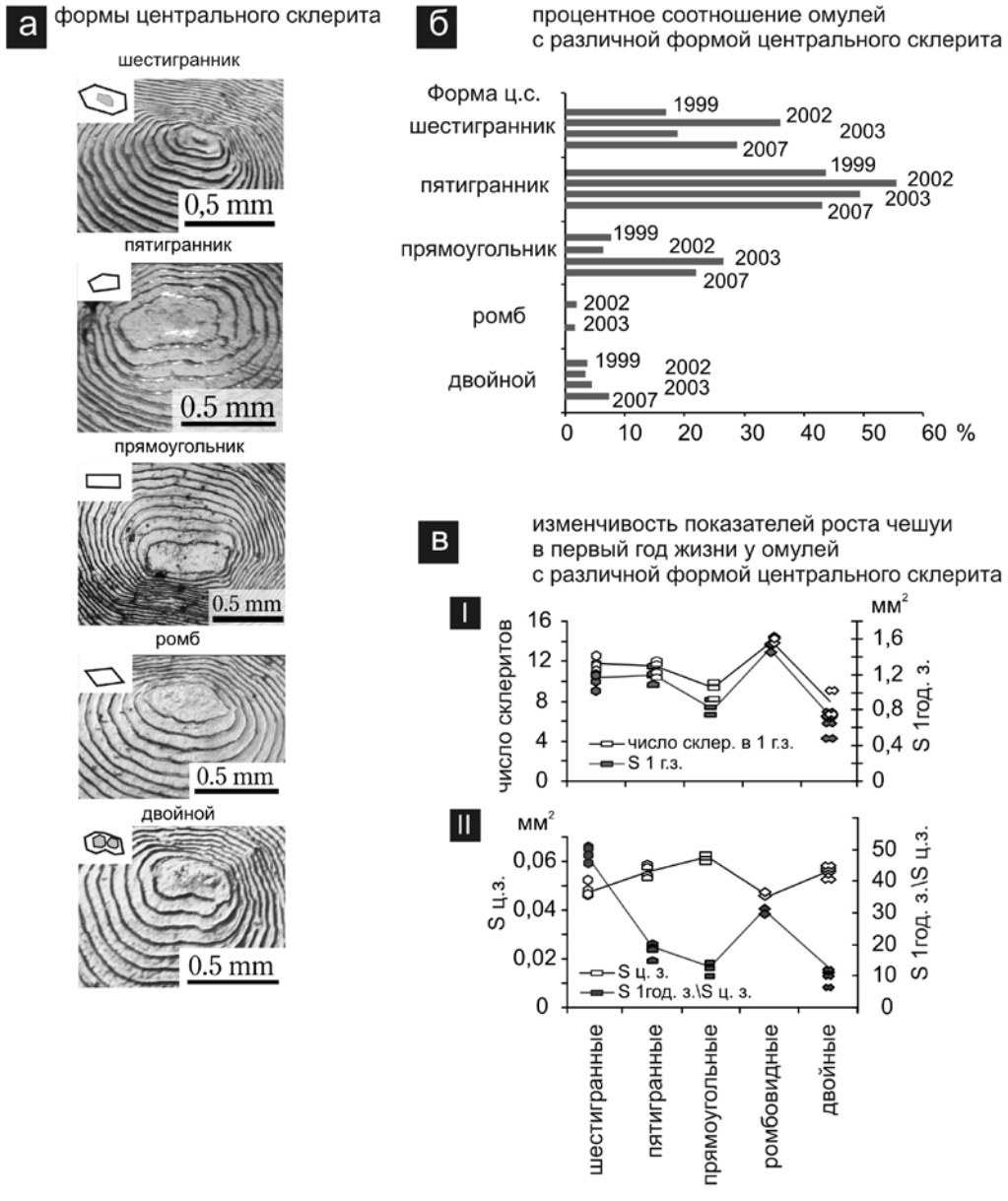

Рис. 2. Изменение характеристик чешуи у придонно-глубоководного омуля: р. Б.Речка (нерест, 1999, 2002), средняя котловина озера (нагул, 2003, 2007)

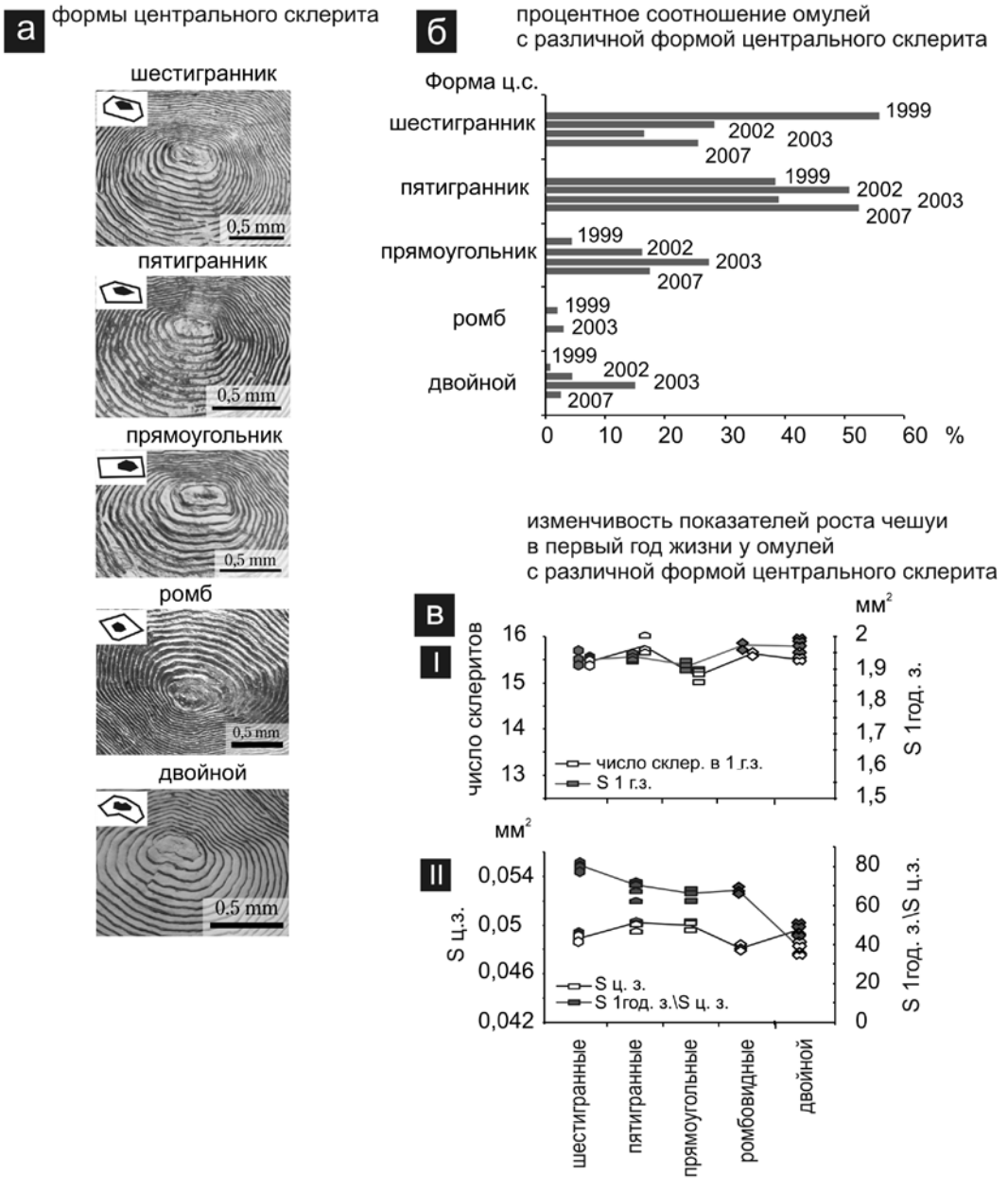

Рис. 3. Изменение характеристик чешуи у пелагического омуля: р. Селенга нерест (1999, 2002), средняя котловина озера нагул (2003, 2007)

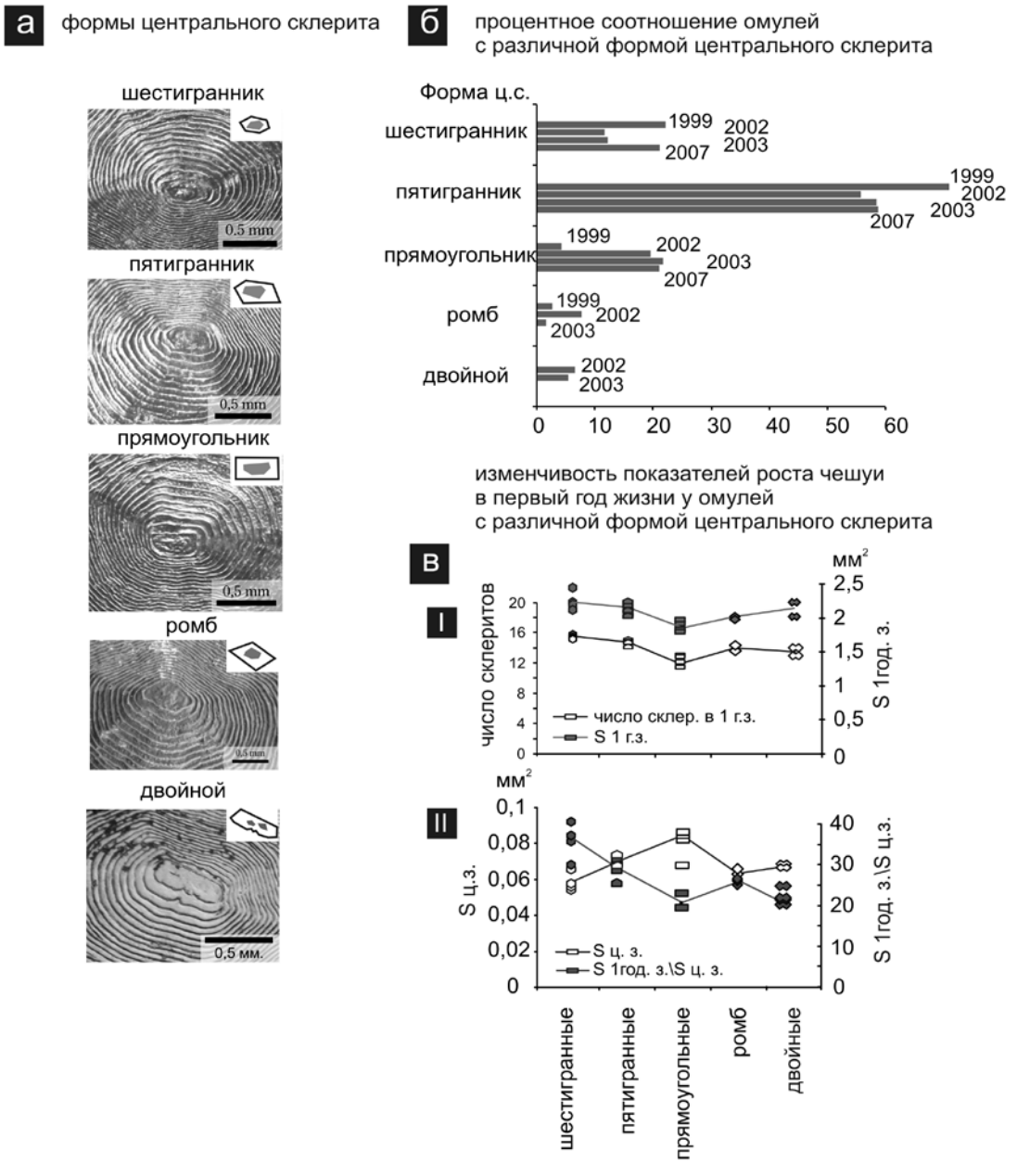

Рис. 4. Изменение характеристик чешуи у прибрежно-пелагического омуля: р. Верхняя Ангара (нерест, 1999) р. Кичера (2002), средняя котловина озера (нагул, 2003, 2007)

ровать баланс «стартовых условий роста чешуи», меняются однонаправленно в группах, выделенных по форме ц.с. (рис. 2 вI). S ц.з. меняется противоположным образом.

Самую большую S ц.з. среди большереченских омулей формируют омули с прямоугольной формой ц.с. ~ 0,06 мм^2. Но именно они отличаются самой малой площадью первой годовой зоны (~ 0,8 мм^2) и малым числом склеритов, формирующихся в её пределах (~ 8-10 шт.). Изменения показателей S ц.з. находятся в противофазе с остальными показателями (рис. 2 вI, 2 вII). Факт противофазных изменений показателей свидетельствует о существовании закономерности: чем больше площадь центральной зоны чешуи, зоны первого склерита, тем меньше площадь первой годовой зоны и её числа склеритов и наоборот.

Для проб из **р. Селенги** получены более высокие показатели роста чешуи. Но характер их изменчивости в группах, выделенных по форме ц.с., также однонаправленный. Для всех показателей, кроме S ц.з., этот параметр также изменяется в противофазе (рис. 3 вI, 3 вII). Это свидетельствует о том, что для этой популяции закономерно то же самое правило роста чешуи, что и для омуля из р. Б. Речка.

В пробах из **р. Верхняя Ангара и р. Кичера** изменчивость характеристик чешуи по группам демонстрирует комплексный рис. 4. Изменения площади центральной зоны и площади первой годовой зоны находятся, как и в случае посольской и селенгинской популяций, в противофазе. Факт противофазных изменений показателей также свидетельствует о существовании такой же закономерности, которая отмечается для популяций р. Б. Речка и р. Селенги.

Очевидно, что среди внутривидовых групп, сформированных по принципу формы ц.с., существуют отличия в характере прироста чешуи в первый год жизни (рис. 5а). Но прирост чешуи у всех групп сохраняет единые популяционные черты (рис. 5б-д). Так, все группы селенгинской популяции отличаются наименьшей площадью, оконтуренной центральным склеритом (показатели разных лет изменяются в диапазоне 0,037-0,052 мм^2) (рис. 5б). В противопоставление им популяция омуля из р. Верхняя Ангара формирует наибольшую площадь ц.з. (показатели разных лет изменяются в диапазоне 0,055-0,088 мм^2). В течение первого года жизни особи селенгинской и верхне-ангарской популяции способны формировать в среднем по 13-18 и 12-15 склеритов соответственно. Самое наименьшее число склеритов по истечении первого года жизни отмечается у популяции из р. Б. Речка – 8-12 склеритов в среднем (рис. 5д). Большей площадью первой годовой зоны преимущественно отличается верхне-ангарская популяция, ~ 1,8 – 2,4 мм^2, а наименьшей – посольская, ~ 0,6 – 1,5 мм^2 (рис. 5в). Селенгинский омуль, имея наименьшую площадь чешуи в момент формирования первого склерита, демонстрирует высокие значения S 1 год.з. и, следовательно, отличается самым интенсивным приростом чешуи среди популяций (рис. 5г). Хуже всего в течение первого года растёт чешуя посольского омуля.

Классификация по морфам биоминерала возможна в случае подтверждения другими признаками, изменяющимися сопряженно с морфами. Убедительный показатель роста – число склеритов у представителей разных морф. Данный показатель в череде выбранных для анализа лет меняется в целом однонаправленно (рис. 5а). Это говорит о том, что дифференциация по форме центрального склерита, возможно, обусловлена и биологическими отличиями, которые консервативны в поколениях. Каждая морфа имеет типичную для неё скорость роста чешуи. Итак, очевидны два типа дифференциации: первый – по

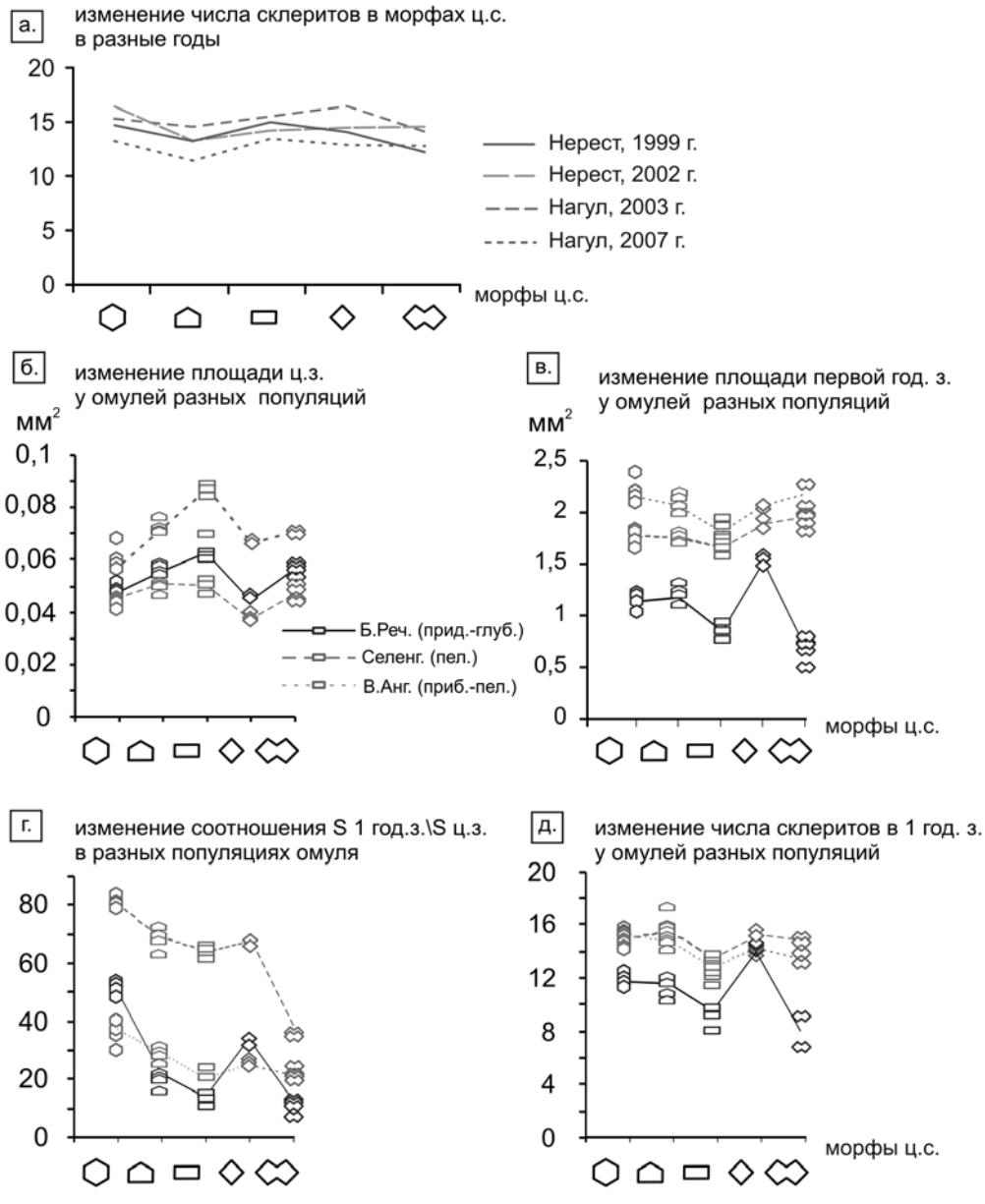

Рис. 5. Характеристики роста чешуи в группах омулей с различной формой центрального склерита из рек Б. Речка, Селенга, В. Ангара и Кичера

меристическим и экологическим признакам, второй – по морфам ц.с.

Вопрос проекции обнаруженного разделения по признаку формы ц.с. относительно уже существующей популяционной дифференциации позволяет констатировать, что модификации формы биоминерала каким-то образом сопряжены с последующим ростом его ткани. А поскольку рост – популяционно-специфичная категория, то спектр обнаруженных морф имеет как популяционное, так и самостоятельное подчинение.

Для диагностики ЭМГ или популяций омуля форма ц.с. не является абсолютным признаком. Но, тем не менее, для диагностики внутривидовой принадлежности омуля только по чешуе можно опираться на совокупный ряд данных: геометрию ц.с., площадь первой годовой зоны, площадь центрального склерита и число склеритов.

Что служит причиной разнообразия форм ц.с. чешуи? Что изменяет структуру вещества склерита и его форму? Какова природа этих процессов? Под воздействием каких факторов происходят изменения формы ц.с.? Ответ на эти вопросы приблизит к пониманию природы изменчивости геометрических характеристик такого биоминерала, как чешуя, и, вероятно, объяснит причину существования морф и консервативность их состава в популяциях.

Основной минеральный компонент чешуи – гидроксилапатит (Puura, Nemliher, 1999). Элементарная стадия роста гидроксилапатита выражается в формировании так называемого кристаллита – образования, имеющего видоспецифичную длину, толщину, высоту (Kohn, Cerling, 2003). Морфологические параметры кристаллитов зависят от фазы основного структурного элемента и его пространственной ориентации. Кроме того, известно, что кристаллическая решетка биогенного кальцита анизотропно искажена по сравнению с геологическим кальцитом (Pokroy et al., 2006b). Это определяет неидеальную с точки зрения геометрии форму центрального склерита чешуи. Именно поэтому в описании мы используем выражение «форма, подобная шестиграннику».

Элементы микрорельефа, на котором происходит кристаллизация, также существенно влияют на форму кристаллитов. Рельеф субстрата с параллельными симметричными микробороздами выстраивает кристаллы вдоль них. Грани таких кристаллов растут по островковому типу. Асимметричный рельеф вызывает изменения в габитусе кристаллов. Грани кристаллов растут в этом случае по спиралевидному типу. (Grigorieva et al., 2004). В первом случае внешний рельеф представляет собой неравносторонние геометрические примитивы, во втором – образуется ростовая спираль.

Микрорельеф эласмоидной чешуи представляет собой сложный комплекс параллельно расположенных каркасных элементов – плотно упакованных пластинок. Каждая пластинка вооружена рядом зубчиков. Принцип распределения зубчиков на отдельной пластинке обеспечивает возможность объединения зубчиков соседних пластинок в кругообразный склерит. Поэтому тело склерита изначально не монолитно; склерит – это совокупность зубчиков соседних пластинок, покрытых гиперминерализованным тонким покровным слоем (Ходжер и др., 2005). Эти факты приводят к выводу о том, что в случае чешуи мы имеем вариант с кристаллизацией на субстрате с параллельной микротекстурой и именно поэтому чаще наблюдаем простые неравносторонние геометрические фигуры центрального склерита.

Стоит помнить, что в состав верхнего слоя чешуи входят также и другие минеральные компоненты. Какой из них играет роль

«первой скрипки» в формообразовании – вопрос для дальнейших теоретических и практических изысканий. Вопрос различий рельефа чешуи одного вида – вопрос поведения лидирующего формообразующего компонента её верхнего слоя. Именно благодаря этому минерализованная ткань образует адаптивные геометрические фенотипы.

Гидроксилапатит в свободной форме дает моноклинальные и гексагональные формы (Addadi et al., 2003; Falini et al., 2005). Взаимодействуя с коллагеновым волокном, биогенный гидроксилапатит, в свою очередь, образует шести-, пяти-, четырёхгранные фигуры (Nothnagel et al., 1996). Поэтому причиной внутривидового разнообразия геометрических форм ц.с. также может являться и различная микроструктура коллагенового матрикса, на котором кристаллизуется гидроксилапатит.

В связи с этим, вопрос о физической причине изменчивости формы центрального склерита чешуи остаётся пока неоднозначным.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке программ «Фундаментальные исследования и высшее образование» (проект НОЦ-017 «Байкал») и «Развитие научного потенциала высшей школы» (2009-2010; проект РНП.2.2.2.3/8063). Авторы выражают благодарность рецензенту за высказанные предложения и замечания.

Список литературы

Мишарин К.И. (1958) Байкальский омуль. Рыбы и рыбное хозяйство в бассейне оз. Байкал. Иркутское книжное издательство, Иркутск, 746 с.

Попов И.Ю., Сендек Д.С. (2003) Квинтэссенция эволюции. В кн.: Эволюционная биология: история и теория, вып. 2. Издательство СПб, СПбФ ИЕЕТ РАН, с. 172-189

Смирнов В.В., Воронов А.В., Воронов М.Г. (1987) О внутривидовой структуре байкальского омуля *Coregonus autunnalis migratorius* (Georgi). Вопр. ихтиологии. 27(2): 342-345

Смирнов В.В., Смирнова-Залуми Н.С. (1993) Формирование годовых зон роста на чешуе байкальского омуля *Coregonus autumnalis migratorius*. Вопр. ихтиологии. 33 (1): 121-129

Смирнов В.В., Шумилов И.П. (1974) Омули Байкала. Наука, Новосибирск, 159 с.

Суханова Л.В., Смирнов В.В., Смирнова-Залуми Н.С., Слободянюк С.Я., Скулин В.А., Бадуев В.К. (1996) Исследование популяций байкальского омуля, *Coregonus autumnalis migratorius* (Georgi), методом рестрикционного анализа мтДНК. Вопр. ихтиологии. 36 (5): 667-673

Тельпуховский А.Н., Карпенко А.И. (1998) Популяционная структура байкальского омуля по морфологическим данным. Биология внутренних вод. 1: 62-66

Ходжер Т.А., Тягун М.Л., Бычков И.В. (2005) Использование методов цифровой фотограмметрии для воссоздания рельефа чешуи байкальского омуля. Вычислительные технологии. 10 (4): 107-110

Addadi L., Raz S., Weiner S. (2003). Taking advantage of disorder: morphous calcium carbonate and its roles in biomineralization. Advanced Materials. 15: 959–970.

Ebanez A.L., Cowx I.G., O`Higgins P. (2007). Geometric morphometric analysis of fish scales for identifying. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 64: 1091-1101

Falini G., Fermani S., Vanzo S., Miletic M., Zaffino G. (2005). Influence on the formation of aragonit or vaterit by otolith macromolecules. Eur. J. Inorg. Chem. 1: 162–167

Grigorieva A.V., Goodilin E.A., Givargizov E.I., Tretyakov Y.D. (2004) Crystallization of amnio-acids on substrates with superficial chiral reliefs. Mend. Commun. 4: 150-153

Ikoma T., Kobayashi H., Tanaka J., Walsh D., Mann S. (2003) Microstructure, mechanical, and biomimetic properties of fish scales from Pagrus major. J. Structural Biology. 142: 327–333

Kohn M.J., Cerling T.E. (2003). Stable Isotope Compositions of Biological Apatite. In: Reviews in mineralogy & geochemistry, V. 48. Mineralogical Society of America, Washington, D. C., p. 455-488

Kuusipalo L. (1998) Scale morphology in Malawian cichlids. J. Fish Biology. 52: 771–781

Nothnagel G., Le Roux S.D., Grotepass W. (1996) Correlation between texture of hydroxyapatite and mechanical anisotropy in loxodonta Africana ivory. In: Textures and Microstructures, vol. 26-27. Amsterdam B.V., Netherlands, p. 579-583

Pierce C.L., Rasmussen J.B., Leggett W.C. (1996) Back-Calculation of Fish Length from Scales: Empirical Comparison of Proportional Methods. Transactions of the American Fisheries Society. 125: 889-898

Horppila J., Nyberg K. (1999) The validity of different methods in the backcalculation of the lengths of roach: a comparison between scales and cleithra. J. Fish Biology. 54: 489-498

Pokroy B., Fitch A., Marin F., Kapon M., Adir N., Zolotoyabko E. (2006b) J. Structural Biol. 155: 96-103

Puura I., Nemliher J. (1999) Advances in skeletal apatite mineralogy. Folia Baeriana. 7: 64-69

Smirnov V.V. (1992) Intraspecific structure of Baikal omul, *Coregonus autumnalis migratorius* (Georgi). In: Hydrobiol, vol. 39 (3-4). Polsku Arch., p. 325-333

Central Sclerit Forms of Baikal Omul Scale and its Intraspecies Variability

Marina L. Tyagun[a] and Mikhail G. Voronov[b]

[a] Limnological Institute SB RAS
3 Ulan-Batorskaya st., Irkutsk, 664033 Russia
[b] Federal State Institution «Baikalpybvod»
18 Smolina's st., Ulan-Ude, 670000 Russia

We detected that fishes with elasmoid scale can organize subspecies forms of central scale sclerit. We taked Baikal omul as polymorphic object for study of character of differentiation from this parametr. We detected hexahedral, pentahedral, rectangle, rhomboid and double (two-embryonic) forms of the central sclerit. The percentage composition of types of central sclerit was studied in three major populations. Individuals with pentahedral form of central sclerit are predominate in major omul populations. Scale first year growth characteristics of individuals with different types of central sclerit was studied. We revealed that individuals differ from geometry of central sclerit and also from growth characteristics of first annual ring. However, scale growth of individuals with the same types of central sclerit is conserve in populations. The origin of geometry and nature of geometric forms of scale tissue is under discussion.

Keywords: biomineral, geometrical morphology, elasmoid scale, central sklerit.