

КОСТИ И ЧЕШУИ РЫБЫ ИХ СТРУКТУРА И ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА.

Э.М.Годжаев¹, Ш.В.Алиева¹, Н.Б. Надирова².

1. Азербайджанский технический университет

2Азербайджанский государственный педагогический университет.

Аннотация

В данной работе излагаются результаты исследования микрорельефа поверхности внешней структуры и чешуи рыб методом атомно силового микроскопа марки Solver Next. Показано, что поверхность наружного слоя чешуйки пористый и имеют различные размеры в зависимости от места расположения. Анализ показывает, что эти структурные макрообразования самоподобны и носят фрактальный характер. Рентгенографическими исследованиями показано, что с увеличением температуры интенсивности дифракционных максимумов увеличивается, а это означает что с увеличением температуры происходит кристаллизация рыбьей кости.

Исследовались частотные зависимости диэлектрической проницаемости и диэлектрической потери чешуек рыб в частотном диапазоне 0-10⁶Гц. Измерение проводились с помощью цифрового измерителя импеданса E7-20. Выявлено, что с увеличением частоты диэлектрическая проницаемость и тангенс угла диэлектрической потери чешуек рыб уменьшается. Изучение этих параметров дает возможность в будущем получить новые материалы с участием чешуек и костей рыб основа которого является коллаген- натуральный полимер.

Введение

Чешуя имеет очень важную роль во внешнем строении рыб. Лишь некоторые виды не имеют чешуи, как, например, сомы. Основная ее функция –защитная. На чешуе имеются годовые кольца, по которым можно определить возраст рыбы. Жаберные крышки защищают жабры, маскирующая окраска тела –темная спинная сторона и более светлая –брюшная; кожа покрыта чешуей, слизью –защищают тело

и препятствуют трению в воде; наличие плавников –непарных (препятствуют вращению рыбы вокруг своей оси, осуществляют поступательное движение и функцию руля), а парные плавники -обеспечивают поддержание равновесия и повороты; боковая линия –обеспечивает чувствительность направления и скорость течения воды; работе органов чувств; наличие жаберных крышек, участвующих в дыхании рыб.

Кожа рыб защищает организм от вредных влияний окружающей среды, участвует в обмене веществ. Через нее выделяются и всасываются соли, кислород, вода и другие вещества. На коже расположены нервные окончания, благодаря чему она может выполнять функцию чувствительных органов.

Кожа рыб имеет два слоя: наружный, или эпидермис (эпителиальные клетки) и внутренний

— дерма, или собственно кожа (соединительнотканые клетки). Наружный слой эпидермиса ороговеет. Причем в период размножения у карповых ороговение на некоторых местах тела проявляется сильнее, после нереста оно исчезает. Клетки эпидермиса выделяют много слизи. Особенно много ее выделяют такие бесчешуйные рыбы, как сом, вьюн. На самом наружном слое кожи находятся бокаловидные клетки, выделяющие секрет на ее поверхность. Ниже расположены зернистые клетки. Форма у них шаро- или грушевидная. На нижней части эпидермиса расположены колбовидные клетки, способные выделять много слизи. Слизь уменьшает трение тела об воду, предотвращает проникновение бактерий, паразитов, способствует свертыванию крови, участвует в регуляции проникновения воды и солей, осаждает взвешенные частицы.

Чешуя рыб кожного происхождения. У рыб встречаются чешуи трех основных видов, которые различаются по форме — плакоидная, ганоидная и костная (рис.1).

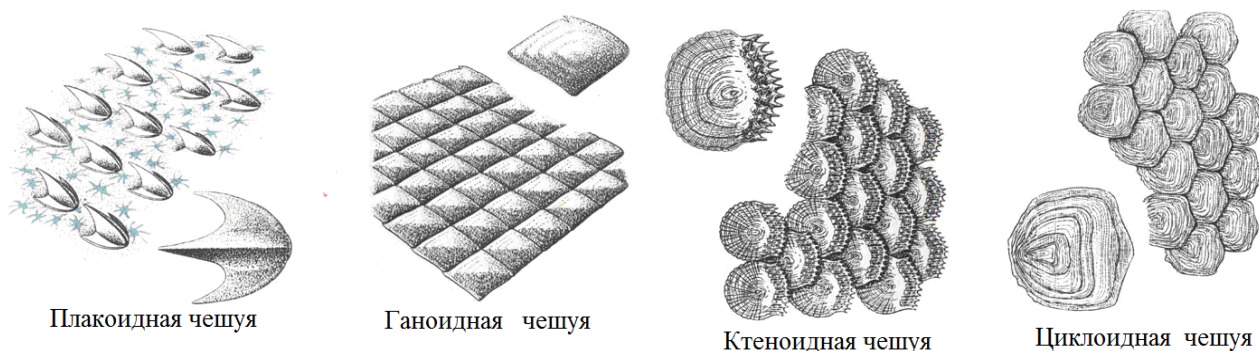


Рис.1. Виды чешуи рыб

Плакоидная чешуя состоит из широкого основания и сидящего на нем шипа. Основание в виде ромбической пластинки, внутренняя полость снабжена кровеносными сосудами. Плакоидная чешуя состоит из твердого вещества — дентина — и свойственная акулам и скатам.

Ганоидная чешуя имеет вид ромбических твердых пластинок, тесно соединяющихся друг с другом и покрывающих все тело. Снаружи она состоит из твердого ганоина — эмалеподобного вещества. Такая чешуя имеется у панцирной щуки, сохраняется на хвосте у осетровых.

Костная чешуя имеется у всех костных рыб. Костные чешуйки состоят из округлых тонких костных пластинок, которые на заднем крае бывают гладкими, тогда их называют циклоидной чешуей, а если с зазубринами,— ктеноидной. Костные чешуйки помещаются в кожных складках, черепицеобразно, наружным краем налегают на впередилежащую. Рост чешуи происходит так, что под маленькой пластинкой первого года вырастает большая второго года и т. д. В результате на самом вершю пластинки находится самая маленькая и самая старая, а снизу самая молодая. Количество пластинок, из которых состоит чешуя, соответствует возрасту рыбы.

По чешуе определяют возраст рыб в зоне сближения склеритов, которые называются годовыми кольцами. Число колец на чешуе отвечает числу прожитых рыбой лет.

Кроме обычного зрения у многих водных обитателей существует и такой интересный орган как боковая линия, он представляет собой своеобразное шестое чувство и помогает почувствовать малейшие вибрации проходящие по воде [1,2].

Боковая линия рыб представляет собой некий канал, который проходит вдоль всего хребта, начинается он от самой головы и заканчивается только у хвоста. Весь он состоит из массы чувствительных датчиков, которые соединены с внешними рецепторами, расположенными на чешуе и нервными окончаниями самой рыбы. Боковая линия имеет разный характер от вида рыбы, она может быть цельной и довольно широкой, или короткой и располагаться только у самой головы. Такой своеобразный локатор имеет массу ниш для применения, в первую очередь линия служит для предупреждения об опасности, при резких колебаниях воды. Кроме этого с ее помощью рыба определяет скорость и направление течения, расположение движимых рядом объектов.

С помощью боковой линии осуществляется движение ночью и в не прозрачной воде. Она воспринимает малейшие вибрации, даже те которые происходят на берегу или на поверхности воды.

У костных рыб, хрящевых рыб и водных земноводных (а также водных личиночных стадий сухопутных земноводных) развились каналы с обеих сторон тела и, особенно, в области головы. Цель этой системы – детектирование вибраций в окружающей воде. Вибрации могут возникать в результате возмущений, вызываемых другим водным организмом, или быть отражением от окружающих объектов возмущений, вызываемых самой рыбой. Система может, таким образом, рассматриваться как примитивная форма эхолокатора. Мы столкнемся с более развитой формой эхолокации, когда будем рассматривать полет и пищевое поведение рукокрылых.

Рецепторами органа боковой линии являются группы волосяных клеток, окруженных эпителиальными клетками и покрытых желатинозной куполой. В последнюю погружены кончики ресничек волосяных клеток. Чувствительные и эпителиальные клетки часто группируются на небольших холмиках. Чувствительные клетки могут образовывать изолированные кластеры в коже (у

круглоротых и земноводных), но чаще обнаруживаются через некоторые промежутки в желобках или каналах головы и тела.

Каналы могут представлять собой полностью замкнутые углубления в коже или иметь форму открытых желобков. Чем сильнее возможное волнение в водоеме, в котором обитает рыба, тем более защищена система органов боковой линии. Особенно хорошо органы боковой линии развиты у глубоководных рыб. Чувствительные органы боковой линии иннервируются нервом боковой линии. В нервах боковой линии наблюдается спонтанная импульсация от чувствительных органов. Ее частота значительно увеличивается, если вода вблизи канала возмущена. Отведения от нерва боковой линии японского угря показали, что в волокнах малого диаметра наблюдается медленно адаптирующиеся ответы, а в волокнах большого диаметра - высокочастотные быстро адаптирующиеся ответы. Хотя у некоторых рыб активность в нервах боковой линии синхронна с вибрациями до частот порядка 200 Гц, нет доказательств того, что рыбы способны различать частоты с помощью этой системы. Возможно, об этой системе следует говорить, как о системе "дистантного" или "водного" осязания, хотя может оказаться, что она выполняет и иные функции, например, детектирования температуры.

Известно, что акустическое давление в воде в 2 раза больше, чем акустическое давление в воздухе. Вода практически не сжимаема, плотность ее в 800 раз превосходит плотность воздуха. Все это создает благоприятные условия для распространения в водной среде колебаний, вихрей, струй, вызываемых движением различных тел. Органы боковой линии рыб предназначаются для улавливания как механических смещений частиц воды, так и звуков (преимущественно низких частот). Любое существо, передвигающееся вблизи рыбы, вызывает хотя бы небольшое движение воды и тем самым обнаруживает себя. Чувствительность боковой линии рыб удивительна: в опытах рыбы улавливают движение стеклянного волоска толщиной 0,25 мм на расстоянии от 20 до 50 см.

Что представляют собой органы боковой линии, и как они функционируют? По обоим бокам тела рыбы визуально обнаруживаются пунктирные линии, идущие от головной части к хвосту рыбы. Присмотревшись внимательнее, можно

обнаружить, что каждый пунктир представляет собой канал или борозду, заполненную слизью. Чувствительные клетки боковой линии собраны в почкообразные группы и спрятаны в каналы, которые омываются водой.

Тела чувствительных клеток содержат волосок, который при воздействии воды на слизь в канале сгибается и посылает сигнал в слуховой центр рыбы. Такие волосковые клетки называются невромастами. Невромасты органов боковой линии густо покрывают голову и боковую поверхность у медленно плавающих придонных рыб. У малька леща, например, имеется почти 2000 таких клеток. Они позволяют мальку воспринимать детальную картину струйных течений, узнавать о направлении пробега волн на поверхности воды, ориентироваться (без помощи зрения) в рельефе дна, движениях добычи или соседей по стае, даже знакомиться с формой предметов, обмахивая их с расстояния 3-4 см плавниками.

Следует признать, что не все виды рыб имеют чешую с ясно различимыми

годовыми кольцами. Поэтому для уточнения результата подсчета количества годовых колец используют годовые кольца костей. Для этой цели подходят различные кости: у окуней - жаберная крышка, у осетровых - лучи грудных плавников. Возраст многих морских рыб удобнее определять по годовым кольцам на отолитах (камбала, нототения, треска) (рис.2). В этих случаях производят поперечный распил костей или делают шлифы. Годовые кольца рассматривают под лупой (шлифы лучей - под микроскопом), при необходимости для большей четкости препараты смазывают глицерином или смачивают водой.

Эксперименты нужно проводить таким образом, чтобы трактовка полученных результатов не была затруднительной и неоднозначной.



Рис.2 Годовые кольца на чешуе рыбы; заметны радиальные линии; в целом эти линии, исходящие из центра это типичные фрактальные кластеры, полученные в компьютерном эксперименте при стимулировании процесса ассоциации твердых частиц в рамках модели Виттена –Сандера.

В эволюционном плане именно движение послужило поводом для возникновения нервной системы в животном мире. По мере усложнения двигательной активности животных происходило усложнение их нервной системы. В пределах любого класса как беспозвоночных, так и позвоночных животных уровень развития нервной системы отражает степень сложности двигательной активности. У позвоночных животных уровень развития опорно-двигательного аппарата коррелирует со сложностью строения нервной системы и определяет сложность поведенческих реакций, обеспечивающих питание, расселение, размножение, освоение новых территорий, внутри- и межвидовых отношений.

С усложнением движения связан эволюционный прогресс. Животные, по каким-то причинам утратившие подвижность (например, паразиты), представляют собой тупиковую ветвь эволюционного дерева. Все крупнейшие эволюционные изменения связаны с совершенствованием двигательной функции. Такие ароморфозы, как выход из водной среды на сушу, легочное дыхание, внутреннее оплодотворение, млекопитание новорожденных, обусловлены прогрессивным развитием функции движения.

Движение позволяет животным эффективно приспосабливаться к изменению внешней среды, т. е. сохранить свою жизнеспособность, сберечь популяцию и вид в целом. В основе приспособляемости организма лежат два двигательных процесса: уклонение от неблагоприятного фактора или изменение самого себя. В первом случае животное использует опорно-двигательный аппарат (уклоняется от опасности, находит пищу, строит убежище). Во втором случае животное адаптирует свой организм: усиливает кровообращение, повышает частоту дыхания, усиливает (сокращает) теплоотдачу и т. д. Однако в обоих случаях исполнительными органами выступают структуры, включающие сократительные элементы.

Морфологическую основу движения образует опорно-двигательный аппарат. Собственно, двигателем выступают мышцы. Именно в мышце происходит трансформация химической энергии в механическую энергию. Однако мышце для сокращения и производства движения нужна точка опоры. Такими точками опоры для многочисленных мышц рыбы выступают кости скелета. Скелет выполняет и

формообразующую функцию. По многообразию форм тела рыб можно судить и о сложности строения их скелета. Особенностью рыб является то, что многие из них имеют как традиционный для всех позвоночных животных внутренний, так и наружный скелет. Последний можно рассматривать как признак эволюционного застоя. У костистых рыб наружный скелет представляет только чешуя. Однако у осетровых рыб наружный скелет довольно хорошо развит. Собственно, чешуя у них присутствует лишь на хвостовом стебле, а туловищная часть и голова несут на себе костные образования - жучки, бляшки, колючки и шипы, доставшиеся современным рыбам от их предков - панцирных рыб.

У рыб требования к жесткости и прочности костей ниже, чем у наземных позвоночных. Следует отметить, что и относительная масса костей у рыб в 2 раза меньше.

Практически отсутствующая гравитация в водной среде объясняет существенные различия и в строении отдельных костей рыб. Так, у рыб нет трубчатых костей, которые отличаются большой прочностью. На растяжение они выдерживают силу 170 мН/м^2 , а на сжатие еще больше - 280 мН/м^2 .

В воде подобных нагрузок не существует: рыбий скелет не выполняет функцию поддержания тела, как у наземных позвоночных. Их тело поддерживает сама вода: у рыб нейтральная плавучесть (или близкая к нейтральной).

Рыбьи кости лишены и губчатого вещества, заполняемого у наземных животных красным костным мозгом. Последний у рыб отсутствует, а функцию кроветворения выполняют другие органы.

Рыбьи кости являются упругими и эластичными, однако не очень прочными структурами. Кость имеет хорошо развитую органическую матрицу и минеральную часть. Первая образована эластиновыми и коллагеновыми волокнами и придает костям определенную форму и эластические свойства. Минеральные компоненты обеспечивают нужную прочность и жесткость костных образований.

Кроме возраста на минерализацию костей влияет видовая принадлежность. У одновозрастных особей карпа, плотвы, окуня и сома из одного водоема различия в степени минерализации жаберной крышки достигают 15 %.

Степень минерализации воды (58-260 мг/л) и характер питания (включая 30-дневное голодание) не влияют на уровень золы в костях рыб. Однако темп роста существенно влияет на этот показатель. Сеголетки карпа, выращенные в одних и тех же условиях, но различающиеся по массе тела, имеют большие различия в степени минерализации костной ткани.

Элементный состав костной золы менее стабилен по сравнению с общей минерализацией и изменяется под влиянием условий содержания рыбы.

Содержание кальция в сумме макроэлементов велико, однако подвержено большим изменениям, так как кости представляют собой депо этого элемента. В экстремальных условиях уровень кальция в скелете может уменьшаться на 30-35 % без губительных последствий. Значительная доля минеральных образований кости представлена соединениями фосфора, входящими в состав гидроксиапатита. Содержание фосфора в костях рыб в 2 раза ниже по сравнению с наземными животными, но довольно стабильно (около 10 %). Соотношение Са:Р в костях сеголетков карпа составляет примерно 2,7 : 1.

Магний в составе кристаллов гидроксиапатита обеспечивает прочность костной ткани наземных животных. У рыб требования к прочности костей иные, поэтому уровень магния в костях не высок (220 мг% вместо 1500 мг% у наземных животных). У рыб больше и соотношение Са: Mg (114: 1 у сеголетков карпа и 50 :1 у наземных домашних животных).

Микроминеральный состав костей не отличается единообразием. На него влияют многие факторы (питание, возраст, видовая принадлежность). Однако главным фактором следует считать алиментарный. Соотношение же отдельных микроэлементов в костной ткани при стабильных условиях выращивания рыбы более постоянно. Так, больше всего в костях цинка (60-100 мг% на золу), второе место занимает железо (15-20 мг%), далее марганец (7- 16 мг%) и медь (1-5 мг%). Интересно, что концентрация железа в воде не влияет на накопление элемента в скелете.

Концентрация тяжелых металлов в костях напрямую определяется их распространенностью во внешней среде. Интенсивность аккумуляции тяжелых

металлов выше у молодежи. Концентрация стронция ($Sr\ 90$) в костях ушастого окуня и тиляпии может превышать его уровень в воде в 10 раз. У тиляпии уже через 2 дня после содержания ее в радиоактивной воде уровень радиации костей достигает уровня радиации воды. Через 2 месяца концентрация стронция в скелете тиляпии в 6 раз превышала таковую в воде. Причем насколько легко тяжелые металлы проникают в костную ткань рыб, настолько же медленно ее покидают. Стронций остается в скелете рыб десятилетиями даже при условии содержания рыбы в свободной от этого элемента среде.

Цель данной работы – изучение чешуек и костей рыб, их структуру, и диэлектрические свойства.

МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

Исследование микрорельефа поверхности чешуи рыб проводилось методом атомно-силового микроскопа [3]. Исследование микрорельефа поверхности и её локальных свойств проводится с помощью, специальным образом, приготовленных зондов в виде игл. Рабочая часть зондов имеет размеры порядка 10 нм. Характерное расстояние между зондом и поверхностью образцов в зондовых микроскопах по порядку величин составляет 0,1 – 10 нм. В основе работы зондовых микроскопов лежат различные типы взаимодействия зонда с поверхностью. Зонд движется вдоль линии сначала в прямом, а потом в обратном направлении, затем переходит на следующую строку. Движение зонда осуществляется с помощью сканера небольшими шагами под действием пилообразных напряжений, формируемых цифро-аналоговыми преобразователями. Регистрация информации о рельефе поверхности производится, как правило, на прямом проходе при выполнении двух условий: зонд в процессе сканирования коснулся всех точек поверхности, и в каждый момент зонд касался только одной точки поверхности. Рентгенограммы рыбьей кости были сняты на $CuK\alpha$ излучении ($\lambda=1,54178\text{\AA}$).

Для определения диэлектрической проницаемости ε чешуи рыб (Кутума) измеряется емкость (С) образца. Диэлектрическая проницаемость материала вычисляется по измеренным значениям емкости, толщины образца и площади электродов.

Диэлектрическая проницаемость (ε) рассчитывается по формуле:

$$\varepsilon = \frac{Cd}{\varepsilon_0 S}$$

где С -измеряемая емкость образца, Ф; $\varepsilon_0 = 8,8510^{-12} \text{ Ф/м}$; d –диаметр образца, м; S – площадь образца, м^2 .

Тангенс угла диэлектрических потерь $\text{tg} \delta$ измеряется непосредственно. Таким образом, для каждого из выбранных диэлектриков должны быть измерены емкость и тангенс угла диэлектрических потерь, соответствующие частотам – 1 кГц.

Образец устанавливается между двумя электродами в измерительную ячейку. Затем образец нагревается в ячейке с помощью нагревателя, который вмонтирован в крышку с постоянной скоростью 2К/мин. Температура образца регистрируется с помощью термопары и измерителя температуры, а диэлектрические проницаемость и диэлектрические потери при помощи измерительного моста ЛЖР Е7-8. Нагревание с постоянной скоростью добиваются с помощью трехЛАТР-ной системы.

Экспериментальные результаты и их обсуждение

Морфология поверхности и АСМ-изображения чешуи кутума в 2Д и 3Д масштабах даны на рис.3, 4. Отметим, что основная функция чешуи не только защитная. На чешуе имеются годовые кольца, по которым можно определить возраст рыбы (рис.2). Жаберные крышки защищают жабры. Кожа покрыта чешуей (рис.1), слизью –защищают тело и препятствуют трению в воде; наличие плавников –непарных (препятствуют вращению рыбы вокруг своей оси, осуществляют

поступательное движение), а парные плавники -обеспечивают поддержание равновесия и повороты; боковая линия –обеспечивает чувствительность направления и скорость течения воды.

Кожа рыб защищает организм от вредных влияний окружающей среды, участвует в обмене веществ. Через нее выделяются и всасываются соли, кислород, вода и другие вещества. На коже расположены нервные окончания, благодаря чему она может выполнять функцию чувствительных органов.

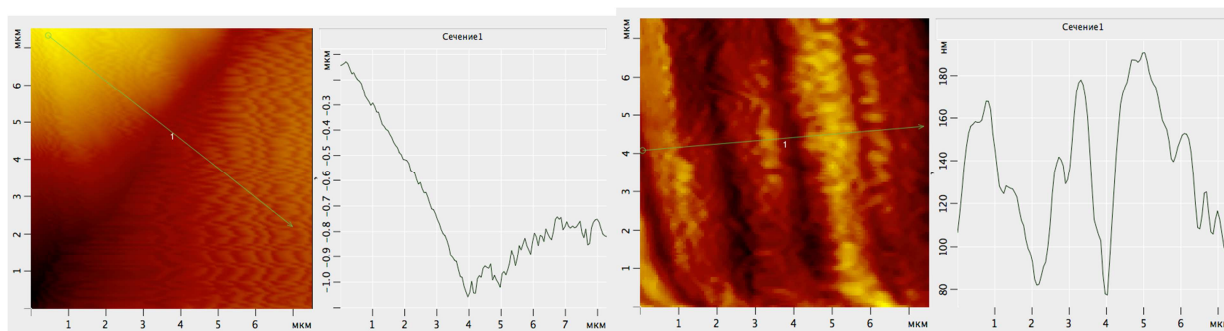


Рис.3 Продольное сечение АСМ –изображения в 2D –масштабе поверхности чешуи Кутума: размеры пор колеблются в пределах ≈ 80 нм, максимальный высоты структур в пределах ≈ 100 нм

Поверхность наружного слоя чешуйки пористый и имеют различные размеры в зависимости от места расположения. Анализ показывает, что, эти структурные макрообразования само подобны, причем носят фрактальный характер.

На нижней части эпидермиса (наружного слоя чешуи) расположены колбовидные клетки, способные выделять много слизи. Слизь уменьшает трение тела об воду, предотвращает проникновение бактерий, паразитов, способствует свертыванию крови. Этому способствует фрактальность чешуй и всей поверхности рыб.

Боковая линия рыб представляет собой некий канал, который проходит вдоль всего хребта, начинается он от самой головы и заканчивается только у хвоста. Весь он состоит из массы чувствительных датчиков, которые соединены с внешними рецепторами, расположенными на чешуе и нервными окончаниями самой рыбы.

Чувствительные клетки рецепторов органов боковой линии могут образовывать изолированные кластеры в коже (у круглоротых и земноводных), но

чаще они обнаруживаются через некоторые промежутки в желобках или каналах головы и тела. Каналы могут представлять собой полностью замкнутые углубления в коже или иметь форму открытых фрактальных желобков. Часть рецепторов боковой линии преобразовываются в электрорецепторы и могут улавливать электрические колебания окружающей среды. Некоторые представители ракообразных и головоногих имеют схожие органы с фрактальным самоподобным характером.

Каждая пунктирная боковая линия представляет собой канал или борозду, заполненную слизью, чему способствует пористый и фрактальный характер морфологии боковой линии. Чувствительные клетки боковой линии собраны в почкообразные группы и спрятаны в каналы, которые омываются водой.

Тела чувствительных клеток содержат волосок, который при воздействии воды на слизь в канале сгибается и посылает сигнал в слуховой центр рыбы. Невромасты органов боковой линии густо покрывают голову и боковую поверхность у медленно плавающих придонных рыб. У леща, например, имеется почти 2000 таких клеток. Они позволяют рыбе воспринимать детальную картину струйных течений, узнавать о направлении пробега волн.

Для определения возраста обычно используется чешуя с участка у основания первого спинного плавника. Чешую промывают в растворе нашатыря, протирают, зажимают между двумя предметными стеклами и просматривают под лупой или при малом увеличении микроскопа.

На рис.3 и 4 были рассмотрены АСМ фрагменты нанораспределений вокруг годовичных колец рыбы–Кутум. Отчетливо видны некоторые характерные особенности морфологии: рост чешуек начинается с центрального зародыша, с каждым годом образуются новые кольца, аналогичные годовым кольцам на срезе спиленного дерева. Динамику роста поверхности в зоне можно рассматривать как частный случай модели агрегации Идена, пригодную для описания роста поверхности для биологических систем. Линии простирающиеся из центра к краям могут быть описаны моделью Виттена –Сандера. Активная поверхность в процессе

роста линий на ней подобных при описании молний по Виттену –Сандру имеет совершенно иную структуру, чем в модели Идена [4].

Это различие отражает существенную роль диффузии и проявляется в том,

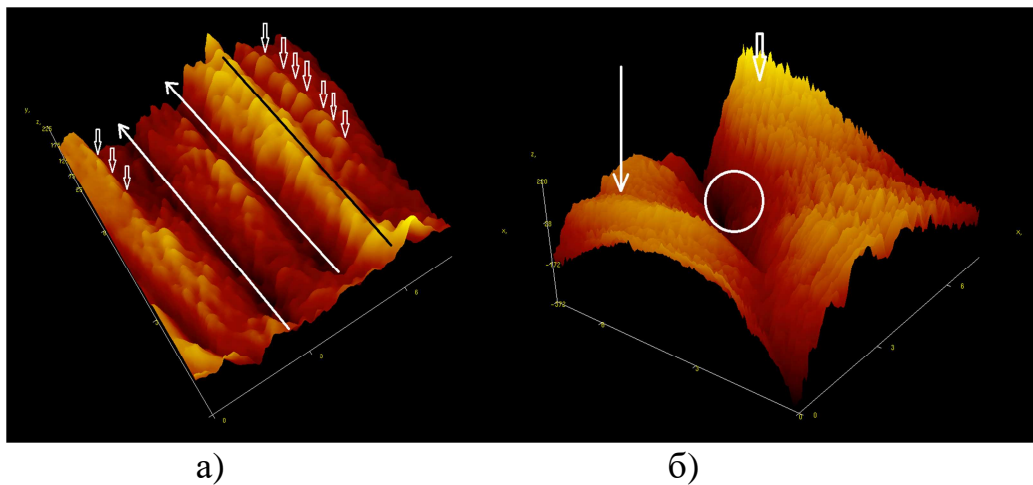


Рис.4 Фрагмент АСМ –изображения в 3 –D –масштабе поверхности чешуи кутума: (а) сквозными каналами (они отмечены продольными линиями) осуществляется связь от головы до хвоста. Это и есть связная боковая линия на поверхности чешуи. Отдельные нано островки отмечены вертикальными линиями. Черной Линией отмечены слипшиеся нано образования - макрокластеры. Скан:7х7мкм б) В центре выделена круглая форма нано поры; по краям вертикальными стрелками отмечены нановыступы
что

кластеры в модели Виттена –Сандера внешне выглядят как фракталы. Ансамбли частиц агрегируя образуют более крупные объекты с сильно разветвленной волокнистой структурой при этом образуются нитевидные струйки. Как видим из этих рисунков кластеры различных размеров “кодированы” различными цветами более компактны (хотя остаются фракталами). Каждый из представленных рисунков представляет определенный интерес как физические фракталы [5]. Главную роль на поверхности рыбы в информационной передаче, играет чешуя. Чешуя кутума пронизана отверстиями, ведущие вглубь кожи. Под ними тянется канал, который продолжается на голове и разветвляется там вокруг глаз и ротового отверстия. На голове каналы разветвленные, проходят внутри костей и имеют выходы наружу.

Чешуи боковой линии содержащие каналы заполняются жидкостью специфического ионного состава. В стенках каналов как уже мы отметили проходят нервные окончания, по которым передаются сигналы из окружающей среды. Основными механорецепторными единицами органов боковой линии является нейромасты, каждый из которой содержит несколько чувствительных волосковых клеток. Эти волосковые клетки подобные сенсорным клеткам органов слуха. На рецепторных клетках нейромастов заканчиваются разветвления эфферентных нервных волокон. Раздражителями рецепторов служат потоки воды и низкочастотные колебания среды. Однако здесь многие проблемы остаются еще неизученными.

Исследовались зависимость диэлектрической проницаемости и диэлектрических потерь от частоты для двух чешуек рыб Кутума [6-7]. Результаты исследования приводится на рис. 5.

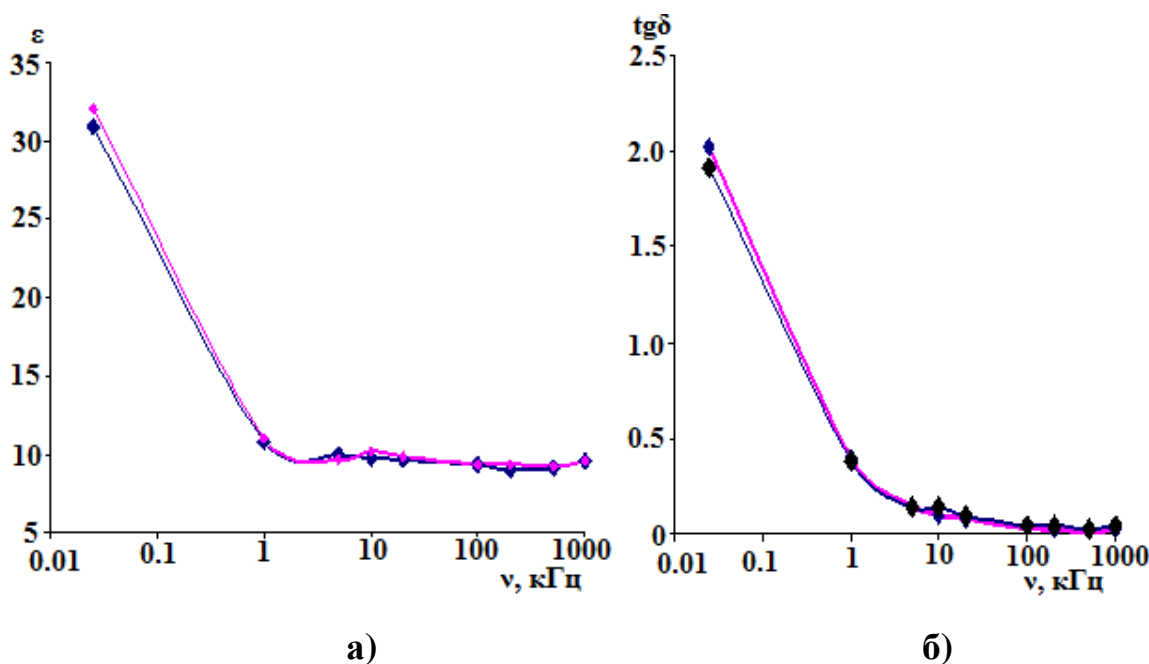


Рис.5. Зависимость диэлектрической проницаемости (а) и диэлектрической потери (б) от частоты для двух чешуек рыбы (Кутума)

Исследования проводились в частотном диапазоне 0 -1000кГц. Как следует из рис. 5а при низких (0,01 – 1кГц) частотах происходят существенные уменьшения диэлектрической проницаемости от 34,72 – до 10,97. В частотном диапазоне 1-20кГц выявлен глубокий минимум при частоте 9,6 Гц(9,61) и максимум при частоте

10кГц (10,1), а в дальнейшем, с изменением частоты до 103кГц – ϵ остается постоянной. Аналогичный ход изменения диэлектрической проницаемости в зависимости от частоты выявлен и для второй чешуи. Минимум наблюдается при частоте 2.8кГц, а максимум при частоте 5,1кГц.

Зависимость диэлектрической потери чешуи также исследовались в интервале частот 0 – 1000кГц. Как следует из рис.5б при низких частотах для обеих чешуек происходит сильное уменьшение $tg\delta$.

Однако для одной из чешуек при частоте 10 кГц наблюдается дисперсия $tg\delta$. В дальнейшем с увеличением частоты до 500кГц происходит умеренное уменьшение диэлектрической потери. Начиная с частоты 500кГц наблюдается увеличение диэлектрической потери до 1000кГц.

На рис.6 приводятся рентгенограммы рыбьей кости при различных температурах.

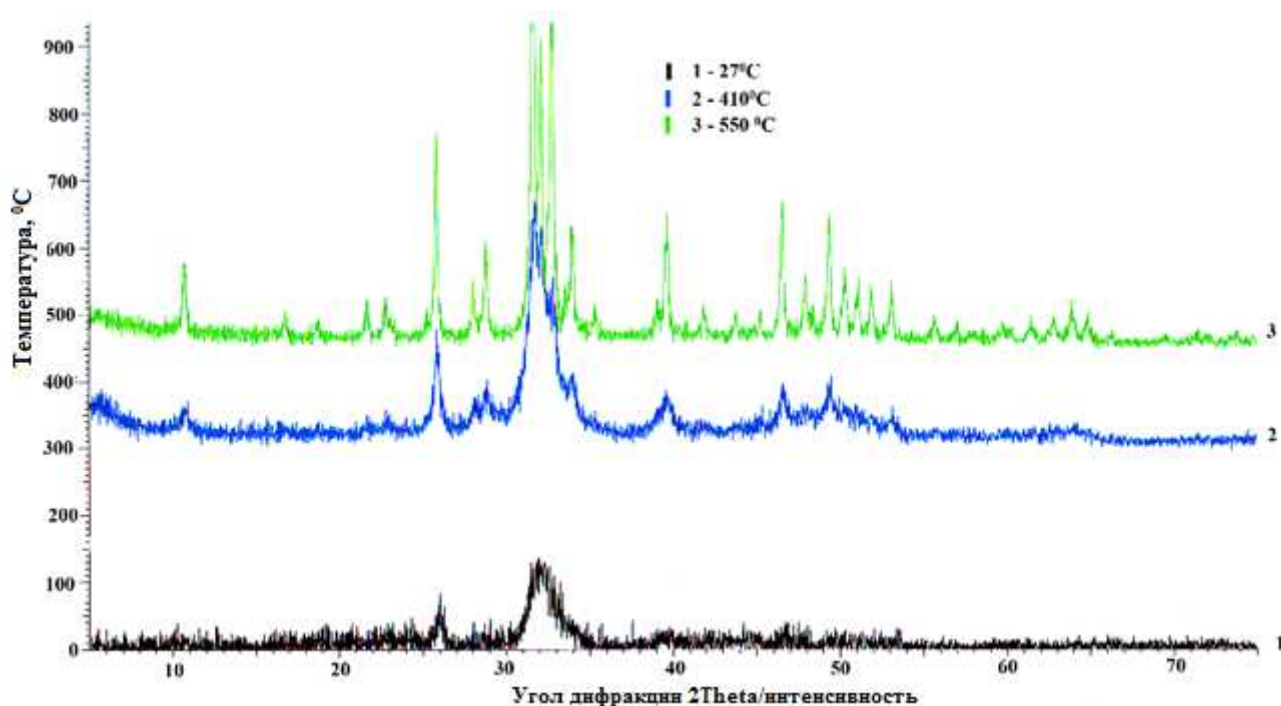


Рис. 6 Рентгенограммы рыбьей кости при различных температурах: а) при 300°C б) при 410°C с) при 550°C

Как следует из рис.6 с увеличением температуры интенсивности дифракционных максимумов увеличивается. Полученные результаты свидетельствуют о том, что с увеличением температуры происходит кристаллизация рыбьей кости.

Вывод:

Исследованиями микрорельефа внешней поверхности кожи и рыбьей чешуи, частотные зависимости диэлектрических параметров и рентгенофазовыми анализами выявлено, что с увеличением температуры происходит кристаллизация чешуе рыбы и с увеличением частоты уменьшается диэлектрической проницаемость и диэлектрической потери чешуек рыб. Выявлено, что с вариацией температуры и частоты можно получить материалы с требуемыми характеристическими параметрами.

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Horst Bleckmann and Randy Zelick Lateral line system of fish *Integrative Zoology* 2009; 4: 13-25.
2. Goulet J, Engelmann J, Chagnaud BP, Fransoch J-MP, Suttner MD, van Hemmen JL Object localization through the lateral line system of fish: theory and experiment. *Journal of Comparative and Physiology A-Sensory Neural and Behavioral Physiology*, 2008, 194, 1–17.
3. А.А.Суслов, С.А.Чижик. Сканирующие зондовые микроскопы (обзор)// Материалы, Технологии, Инструменты – Т.2 (1997), №, с.78-79
4. Кольб М., Процессы агрегации, Фракталы в Физике // Труды VI международного симпозиума по фракталам в физике, Италия, июль, 1985, с. 370 -373
5. Смирков Б.М., Физика фрактальных кластеров //, Изд. Москва “Наука”,1991, с.134
6. Shrivastav B.D., Barde R., Mishra A. and Phadake S. Frequency and Temperature Dependence of Dielectric Properties of Fish Scales Tissues *International Science*

Congress Association: *Research Journal of Physical Sciences*. ISSN 2320–4796
July 2013, Vol. 1(6), 24-29,

7. B.D. Shrivastava ,*, Ravindra Barde ,*, A. Mishra , S. Phadke Dielectric Behavior of Biomaterials at Different Frequencies on Room Temperature, IOP Publishing, *Journal of Physics: Conference Series* 534 2014. 012063