

**Всероссийский конкурс юных исследователей окружающей среды  
имени Б.В. Всесвятского**

---

Номинация: «Экологический мониторинг»

**Оценка экологического состояния озера Ореховое на территории  
федерального заказника «Клязьминский» методами биоиндикации**

**Автор:** Мишуров Антон Сергеевич, 10 класс,  
ГАУДПО ИО «Университет непрерывного образования и инноваций  
Региональный центр выявления и поддержки  
одаренных детей Ивановской области Объединение «Экомир»

**Научный руководитель:** Гусева Анна Юрьевна, зам. директора ГАУДПО ИО  
«Университет непрерывного образования и инноваций», руководитель  
регионального центра выявления и поддержки  
одаренных детей, педагог дополнительного образования,  
кандидат биологических наук

Ивановская область, 2024

## ОГЛАВЛЕНИЕ

	Стр.
ВВЕДЕНИЕ	3
ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ	3
МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА	5
РЕЗУЛЬТАТЫ	9
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	16
ПРАКТИЧЕСКАЯ ЗНАЧИМОСТЬ	16
РЕКОМЕНДАЦИИ	16
ВЫВОДЫ	16
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	17
ПРИЛОЖЕНИЯ	18

## Введение

Водные объекты всегда играли важнейшую роль в жизни человека. [7]. В современный период естественен интерес людей к исследованию водных объектов, так как в последнее время человек столкнулся с проблемой получения чистой воды, безопасной для здоровья [1].

Загрязнение и зарастание озер отмечается повсеместно. Гидробиологические исследования большинства озер, в том числе расположенных на особо охраняемых природных территориях, в последние годы не проводилось. Мониторинг экологического состояния озера Ореховое, расположенного на территории Федерального заказника «Клязьминский» является весьма актуальным. Значимыми подобными исследованиями становятся в последние годы, что связано с интенсивным использованием водных объектов в качестве туристических маршрутов. Актуальность и практическая значимость исследований возрастает и в связи с тем, что изучаемое озеро является естественным местом произрастания водяного ореха(чилима) (*TrautnantansL.,1753*).

**Целью работы** является оценка экологического состояния озера Ореховое с использованием биоиндикационных методов, а также оценка изменений качества воды за последние годы.

Для достижения цели были поставлены **следующие задачи**:

1. Изучить видовой состав гидробионтов, относящихся к группе макрозообентоса.
2. Определить класс качества воды в озере по общепринятым биоиндикационным методикам и сделать заключение о классе качества воды.
4. Провести химический экспресс-анализ воды.
3. Сравнив результаты за 10 лет, выявить изменения, происходящие с течением времени.

**Актуальность:** Данное исследование позволяет оценить экологическое состояние озера Ореховое, находящееся на особо охраняемой территории Клязьминского заказника, принять меры по его сохранению как среды обитания редких растений, занесенных в Красную книгу Ивановской области (2021): рогульник плавающий (чилима), кувшинка чисто-белая. В течение многих лет при непосредственной поддержке ФГБОУ «Национальный парк «Мещера» ведется мониторинг за состоянием этого озера на территории заказника. Данные передаются в администрацию парка для составления «Летописи природы».

## Обзор литературы

Для того чтобы надежно оценить качество воды водных объектов, требуются различные данные о свойствах изучаемого объекта. Одним из источников таких данных является биоиндикация, позволяющая получить данные об экологическом состоянии водного объекта на основе наблюдений за составом и численностью видов животных [7]. Систематическое применение методов биоиндикации представляет собой биомониторинг – слежение за состоянием сообществ живых организмов и их реакциями на изменение условий окружающей среды [7].

На основании сведений о видовом составе гидробионтов, найденных в тех или иных водах, можно составить представление о том, насколько последние чисты или загрязнены. Организмы, характерные для зон разной сапробности, носят название индикаторов степени загрязнения водоемов. Индикаторная роль гидробионтов характеризуется не только фактом нахождения или отсутствия их в водоеме, но и степенью количественного развития, вследствие чего характеристика сапробности вод должна даваться с учетом не только видового состава организмов, но также их численности и биомассы

Наиболее удобным объектом биомониторинга является макрозообентос - макроскопические (длиной более 2 мм) беспозвоночные, обитающие на дне водоемов и в зарослях водных растений [1].

Наиболее характерный тип загрязнения природных водоемов – вымывание в них больших масс разлагающихся органических веществ. Для количественной оценки органического загрязнения введена шкала сапробности (ксено-, олиго-,  $\alpha$ -мезо-,  $\beta$ -мезо- и полисапробные водоемы) [7].

Сапробность – это концентрация органических веществ в водоеме [11]. Каждому водоему присущ свой естественный «фон» сапробности, который повышается по мере увеличения продуктивности водоема (зарастание вследствие развития макрофитов), снижения содержания кислорода, повышения температуры воды. Кроме того, стоячие водоемы богаче органическим веществом по сравнению с текучими, а непроточные - богаче по сравнению с проточными. Хозяйственное загрязнение легко увеличивает концентрацию органики в десятки раз, вызывая резкую перестройку сообщества (часто - с полной сменой видов) [5]. Методика биомониторинга предполагает определение таксономической принадлежности найденных организмов [7].

По системе, разработанной в основном Р. Кольквитцем и М. Марсоном [13,14] водоемы или их зоны в зависимости от степени загрязнения органическими веществами подразделяются на поли-, мезо- и олигосапробные. Полисапробные водоемы характеризуются наличием в воде неразложившихся белков, почти полным отсутствием свободного кислорода, присутствием значительных количеств сероводорода и углекислого газа, восстановительным характером биохимических процессов. В мезосапробных водоемах загрязнение выражено слабее: неразложившихся белков нет, сероводорода и углекислого газа немного, кислород присутствует в заметных количествах. Однако в воде имеются еще такие слабоокисленные азотистые соединения, как аммиак, аминокислоты и аминокислоты. В олигосапробных водоемах сероводород отсутствует, углекислого газа мало, количество кислорода близко к величине нормального насыщения, растворенных органических веществ практически нет [14]. Мезосапробные воды (зоны водоемов) подразделяются на  $\alpha$ -и  $\beta$ -мезосапробные. В первых встречается аммиак, амино- и аминокислоты, но уже есть и кислород. Минерализация органического вещества в основном идет за счет его аэробного окисления.  $\beta$ -мезосапробная подзона характеризуется присутствием аммиака и продуктов его окисления - азотной и азотистой кислот. Аминокислот нет, сероводород встречается в небольших количествах, кислорода в воде много, минерализация идет за счет полного окисления органического

вещества [14]. Индикаторная роль гидробионтов характеризуется не только фактом их наличия в водоеме, но и степенью количественного развития, поэтому характеристика сапробности вод должна даваться с учетом не только видового состава организмов, но также их численности и биомассы [13,14].

Одним из показателей загрязнения водоемов является метод определения водородного показателя. Водородный показатель (рН) представляет собой отрицательный десятичный логарифм молярной концентрации водородных ионов в растворе:  $pH = -\lg [H^+]$ . Изменения рН воды водоема обычно могут вызывать загрязнения воздуха кислотными примесями (оксидами серы и азота, оксидами углерода (CO<sub>2</sub>) и др.) которые вымываются из воздуха дождями и попадают в водоем, загрязнения водоема промышленными стоками, которые не прошли нейтрализацию. Кислотность природной воды может определяться также характером почво-грунтов, ландшафта, в котором расположен водоем. Изменение рН природной воды сверх меры допустимых пределов создает среду, непригодную для существования большинства водных организмов, особенно простейших [6]. В зависимости от величины рН может изменяться скорость протекания химических реакций, степень коррозионной агрессивности воды, токсичность загрязняющих веществ и многое другое. В речных водах рН обычно находится в пределах 6.5-8.5, в болотах вода кислее за счет гуминовых кислот - там рН 5.5-6.0, в подземных водах рН обычно выше. Для питьевой и хозяйственно-бытовой воды оптимальным считается уровень рН в диапазоне от 6 до 9 единиц [6].

### **Материал и методика**

**Объектом исследований** является озеро Ореховое, расположенное на территории Федерального заказника «Клязьминский» в Южском районе Ивановской области (Приложение 1). Оно является пойменным старичным озером (старое русло р. Клязьма), расположено в 5 км на юго-восток от деревни Изотино. Площадь озера составляет приблизительно 20 га. Длина озера – 2,5 км, ширина колеблется от 100 до 200 метров. Средняя глубина озера - 3 метра, максимальная глубина – до 10 м. Северный берег представляет собой надпойменную террасу, покрытую сосновым бором с примесью дуба. Южный берег низкий, частично заболоченный, покрыт лиственным лесом, в котором преобладают вяз, береза, осина, в заболоченных местах ивы и ольха. По обоим берегам древесно-кустарниковая растительность доходит практически до уреза воды. Западный берег представляет собой высокотравный, местами, заболоченный зарастающий вследствие отсутствия сенокосения луг. В западной части узкой протокой озеро Ореховое сообщается с озером Долгим. В восточном направлении озеро Ореховое соединяется широкой протокой с озером Кривым. Во время весеннего разлива озеро соединяется с рядом озер, а также в отдельные годы – с рекой Клязьма. Таким образом, озеро Ореховое можно отнести к водоемам полукрытого типа.

С 2003 г. в окрестностях озера, производилась частичная рубка деревьев, что привело к размыванию берега в ряде участков. Присутствуют следы лесных пожаров, последний из которых был отмечен в 2004 году. В ряде мест на берегах

присутствуют деревья, сваленные бобрами, в том числе старовозрастные дубы. Для ряда точек характерен выход родников.

Исследования проводились на оз. Ореховое в июне-июле 2022-2023 года. Было обследовано 7 станций (Приложения 2, 4): 1). Стоянка рыбаков; 2). У протоки; 3). Напротив стоянки рыбаков; 4). «Студенческий мост»; 5). У лагеря (в месте расположения родника); 6). 200 метров на запад от лагеря; 7). Напротив лагеря. Полученные данные сравнивались с результатами предыдущих лет. Для каждой станции описывались характеристики растительности и отбирались гидробиологические пробы для определения класса качества воды методами биоиндикации (метод С.Г. Николаева, индекс Пантле – Букка и индекс Пантле-Букка в модификации Сладчека). Пробы макрозообентоса отбирали с помощью стандартного гидробиологического скребка и разбирали в кювете. Материал фиксировали в растворе формалина. Определение объектов проводилось с использованием определителей: «Определитель пресноводной фауны СССР» (1976) «Определитель водных беспозвоночных» (Хейсин, 1973), «Определителя водных беспозвоночных» (Чертопруд, 2003).

Для всех станций были проведены исследования на содержание нитритов и нитратов, определение общего водородного показателя, карбонатной и общей жесткости с помощью тест-индикатора «Тетра». В 2023 году pH также измеряли с помощью портативного тестера PRO Waterproof. Также была оценена электропроводность (мСм/см) с помощью портативного тестера EC59 PRO Waterproof EC/NLC/Testers. Для ряда ключевых станций в 2023г. были определены величины щелочности, содержание растворенного кислорода, определена величина БПК<sub>5</sub>. Исследования проводились в лаборатории кафедры промышленной экологии ФГБОУ ВО ИГХТУ.

Щелочность воды - условный показатель, определяемый суммарным содержанием ионов, способных реагировать с ионами водорода. К таким соединениям относятся сильные и слабые органические и неорганические основания, образующие при диссоциации гидроксил-ионы, а также анионы слабых кислот, которые в результате гидролиза становятся источниками ионов OH<sup>-</sup>.

Показатель щелочности позволяет определить природу загрязняющих веществ, т.е. ее качественный состав, на основании которого производится выбор способов очистки и расчет дозы реагентов. Определение щелочности является вариантом таких процессов, как коагулирование, очистка вод от соединений железа и др.

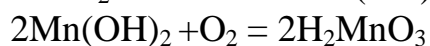
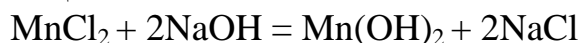
Основной метод измерения общей щелочности воды в водоемах - титрование сильной кислотой, чаще всего соляной с индикатором метиловым оранжевым. Отмеривают 100 мл пробы. Прибавляют 0,1 мл (2 капли) метилового оранжевого, затем продувают через пробу воздух и одновременно титруют на светлом фоне 0,1н. раствором соляной кислоты до начала перехода окраски из желтой в оранжевую. Воздух продолжают пропускать через пробу и по истечении 5 мин, если необходимо, дотитровывают. При менее строгих требованиях к точности определения титрование по метиловому оранжевому водят без продувания.

Титрование проводится из бюретки с ценой деления 0,1 мл, точность чета - до 0,05 мл. При анализе природных вод, имеющих низкую общую щелочность, титруют из микробюретки и отсчитывают с точностью 0,005 мл.

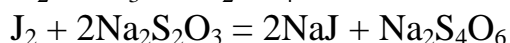
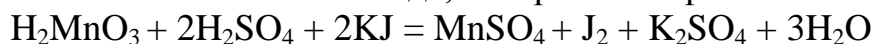
Общую щелочность, мг-экв/л, рассчитывают по формуле:

$Щ = b * K * 0.1 * 1000 / V = b * K * 100 / V$ , где  $b$  - объем 0,1н. раствора HCl, израсходованный при титровании с индикатором метиловым оранжевым, мл;  $K$  - поправочный коэффициент для приведения концентрации раствора HCl к точно 0,1н.;  $V$  - объем пробы, взятой для титрования, мл.

*Растворенный кислород.* Кислород, растворяясь в воде, содержится в ней в равновесной концентрации, которая зависит от атмосферного давления, температуры и содержащихся в воде солей. Использовался йодометрический метод Винклера, который основан на том, что соли двухвалентного марганца в присутствии свободной щелочи переходят в гидрат закиси марганца  $Mn(OH)_2$ , который окисляется растворенным кислородом в исследуемой пробе до марганцеватистой кислоты.



При добавлении иодида калия и подкислении пробы четырехвалентный марганец восстанавливается до двухвалентного, при этом выделяется эквивалентное количество йода, которое оттитровывается тиосульфатом натрия:



Порог обнаружения кислорода данным методом составляет 0.2 – 3 мг/л. Содержание растворенного кислорода (мг/л) рассчитывают следующим образом:

$C = a * K * N * 8 * 1000 / V = a * K * N * 8000 / V$ , где  $a$  – расход раствора тиосульфата, мл;  $K$  – поправка на приведение раствора титранта к точной концентрации;  $N$  – нормальность раствора тиосульфата; 8 – эквивалент кислорода;  $V$  – объем пробы (объем откалиброванной склянки), мл.

**БПК5.** Количество кислорода, израсходованное в определенный промежуток времени в процессе аэробного биохимического окисления органических веществ, содержащихся в исследуемой воде, называется биохимическим потреблением кислорода. Биохимическая потребность в кислороде не включает расхода кислорода на нитрификацию.

Ход определения:

Пробу наливали в 2 кислородные склянки до самого края так, чтобы не было пузырьков воздуха, и закрывали пробкой. В одной из кислородных склянок тотчас определяли кислород. Оставшуюся склянку хранили в течение 5 дней в полной темноте. По истечении времени определяли в ней концентрацию растворенного кислорода. Определение кислорода в «нулевой» и пятый день производили по методу Винклера. Пятисуточное потребление неразбавленных проб в г/л определяли по следующей формуле:  $X=a-b$ , где  $a$ - содержание растворенного кислорода в воде до инкубации,  $b$ -то же, по истечении 5 суток.

**Определение общего железа.** Определение основано на реакции сульфосалициловой кислоты с солями железа в щелочной среде с образованием

желтого комплекса железа. Этим способом можно определять 0,1-10 мг/л общего железа.

Ход определения:

К 100мл пробы, помещенному в выпарительную фарфоровую чашку, прибавляли 0,5 мл концентрированной HNO<sub>3</sub>, 1 мл HCL и упаривали до 1/3 объема. Затем фильтровали в мерную колбу на 100мл, доводили объем в колбе до метки, прибавив 2 мл раствора хлорида аммония, 2мл сульфосалициловой кислоты и 5 мл аммиака. Через 5 минут измеряли оптическую плотность раствора и по калибровочному графику нашли содержание железа.

Расчет:  $X=(q*1000)/V$ , где q- содержание железа, найденной по калибровочному графику, мг, V- объем пробы, взятый для анализа, мл.

### Методы биоиндикации, используемые при проведении исследований

**Индекс С.Г. Николаева (2018).** Для оценки качества воды нами также использовались шкала и метод оценки качества вод С.Г. Николаева [8]. Метод предполагает сбор качественных данных со всех донных субстратов водоема и определение беспозвоночных до родов или семейств. По методике С.Г. Николаева (таблица 1), воды делятся на 6 классов по качеству, приблизительно соответствующих градам сапробности: 1- очень чистые (ксеносапробные), 2 - чистые (олигосапробные), 3 - умеренно загрязненные (β-мезосапробные), 4 - загрязненные (α-мезосапробные), 5 - грязные (β-полисапробные), 6 - очень грязные (α-полисапробные, гиперэвтрофные). Шесть классов качества воды сопоставимы с гидрохимической классификацией ГОСТов 17.1.2.04-77 и 17.1.3.07-82 по показателям: БПК, перманганатной и бихроматной окисляемости, содержанию кислорода, аммонийного азота и ряду других, что позволяет практически стандартно контролировать состояние водных объектов.

**Таблица 1. Определение качества вод по С.Г. Николаеву (2018)**

Таксоны	Классы качества вод					
	1	2	3	4	5	6
Ручейник Rhyacophila	*	*				
Веснянки, кроме Nemoura	*	*				
Личинка мухи Atherix	*	*				
Бокоплав Gammarus	*	*	*			
Губки		*	*			
Беззубки Anodonta		*				
Жаберные улитки Viviparus		*	*			
Речные раки Astacus		*	*			
Ручейники: Neureclipsis, Molanna, Brachycentrus		*	*			
Стрекозы: Calopteryx		*	*			
Поденки: Ephemera		*	*			
Пиявки: Glossiphoniidae		*	*	*		
Перловицы (Unio, Crassiana)		*	*	*		
Водные клопы		*	*	*		
Поденки: Heptageiidae		*	*	*		
Вислокрылка Sialis		*	*	*		
Мошки Simuliidae		*	*	*		
Ручейники: Hydropsyche			*	*		

Макрозообентоса нет

Стрекозы: Gomphidae			*	*	
Пиявки: Eprobdelella			*	*	
Горошинки и шаровки			*	*	
Водяной ослик Asellus			*	*	*
Трубочник (Tubificidae), в массе				*	*
Мотыль (Chironomus), в массе				*	*
Личинка мухи Eristalis				*	*
Индивидуальная классовая значимость таксона	20	6	5	7	20

**Методика Пантле-Букка в модификации Сладчека.** Для оценки качеств вод также была применена методика Пантле-Букка в модификации Сладчека (Чертопруд, 2003) [14]. Так как для индикаторных организмов рассчитан индекс сапробности "s" (по методике Пантле-Букка в модификации Сладчека), и выявлена приуроченность организма-индикатора к той или иной сапробной зоне, можно установить показатели для отдельных участков водоема. Ниже приводится расшифровка условных обозначений и формула для вычисления степени загрязнения водоёма по методике Пантле-Букка в модификации Сладчека.

Расчёт индекса сапробности по методике Пантле-Букка в модификации Сладчека проводился по формуле:  $s = \frac{\sum(sh)}{\sum h}$  где:  $h$  - относительная частота встречаемости (обилие) гидробионтов;  $s$  – сапробная валентность.

Для статистической достоверности результатов исследования необходимо, чтобы в пробе содержалось не менее 12 индикаторных видов с общей суммой частоты встречаемости (обилия)  $\sum^h$ , равной 30.

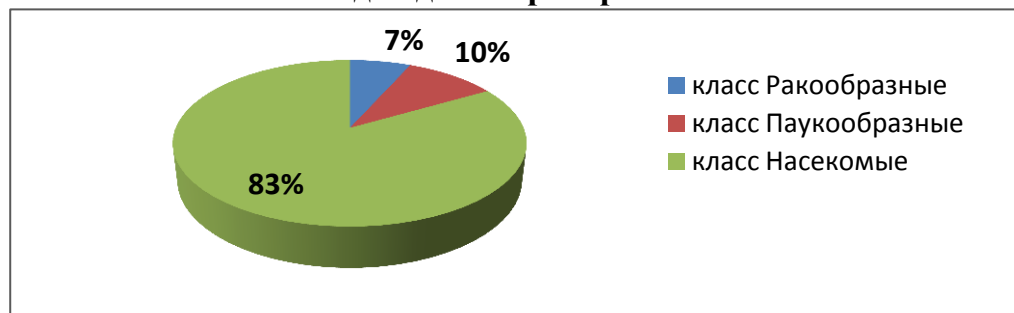
Использовалась оценочная шкала чистоты воды по Чертопруду М.В. (2003) [14]: 1. ксеносапробная зона – 0-0,50 (очень чистые). 2. олигосапробная — 0,51-1,50 (чистые). 3.  $\beta$ -мезосапробная — 1,51-2,50 (удовлетворительной чистоты). 4.  $\alpha$ -мезосапробная — 2,51-3,50 (загрязнённые). 5. полисапробная — 3,51-4,00 (грязные).

## Результаты

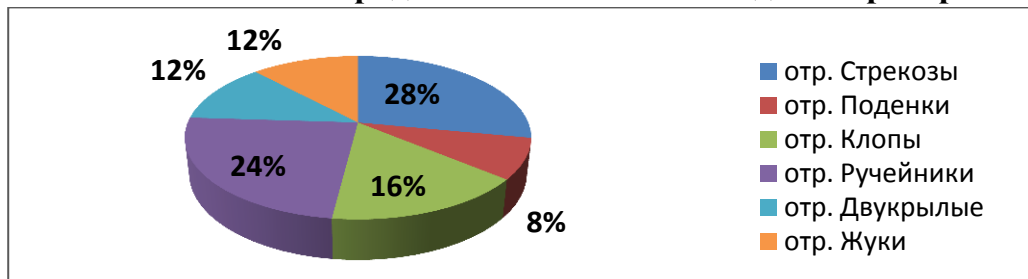
За период исследований был обнаружен 51 вид беспозвоночных, относящихся к группе макрозообентоса (рис. 1). Из них моллюсков - 18 видов, кольчатых червей - 3 вида (все пиявки), прочие 30 вида относятся к членистоногим (рис.2) Это ракообразные - 2, паукообразные - 3, насекомые – 25 видов. Среди насекомых (рис. 3) доминируют стрекозы – 7 видов Отмечены клопы - 4, ручейники – 6 видов, поденки – 2 вида, двукрылые - 3 вида, жуки – 3 вида.



**Рис. 2. Соотношение классов типа Членистоногие по количеству видов для озера Ореховое**



**Рис. 3. Соотношение отрядов класса Насекомые для озера Ореховое**



Анализ видового состава гидробионтов показывает, что население озера складывается из представителей как озерной, так и речной фауны, что обусловлено тем, что озеро имеет старичное происхождение и, кроме того, в некоторые годы во время высоких паводков сообщается с рекой Клязьма. Присутствие ряда видов указывает на относительно высокое качество воды в исследуемом водоеме и значительное количество растворенного кислорода.

Индекс С.Г. Николаева может применяться для пойменных озер полуоткрытого типа. В целом воды озера в 2022 и 2023 гг. по индексу С.Г. Николаева для большинства станций характеризуются как воды удовлетворительной чистоты (3 класс качества,  $\beta$ -мезосапробные воды) (рис. 4). В 2022 году для станций № 3 и станции № 5 и в 2023 году для станции №2 был отмечен 2 класс качества (олигосапробные воды). Это может быть связано с выходами родников и высоким содержанием кислорода в придонном слое.

Исключение представляют станции №6 (200 м на запад от лагеря (5 класс качества) и №7 (напротив лагеря) (6 класс качества). Для последней станции были отмечены представители макрозообентоса, но в пробе не было найдено видов-индикаторов, соответствующих методике. Обе станции характеризуются значительным количеством донных иловых отложений с гнилостным запахом. Для станций №3, №4 и №5 отмечено ухудшение качества вод по методу С.Г. Николаева. Улучшение качества воды в 2023 г. по индексу С.Г. Николаева

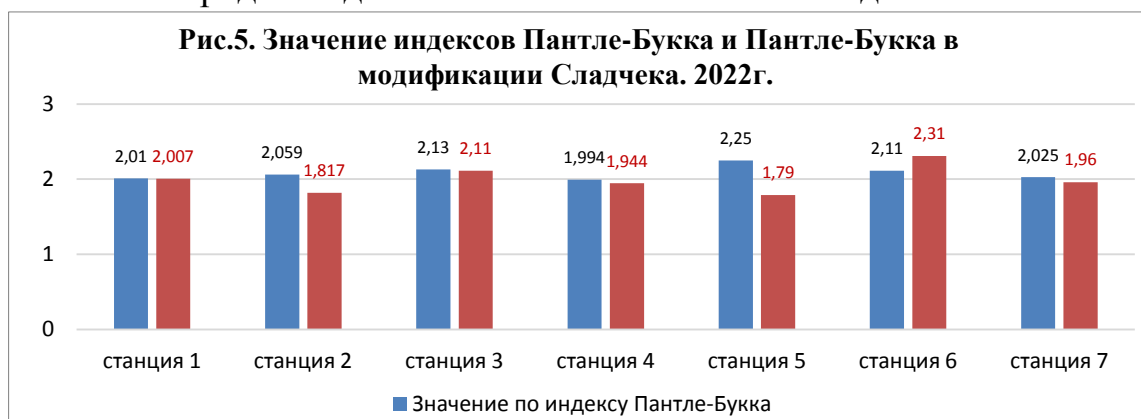
отмечено для станции №2, в месте расположения протоки с относительно быстрым течением, которая соединяет озеро Ореховое с озером Долгим. Таким образом, проведя анализ воды ключевых станций озера можно сделать вывод, что качество воды большинства станций оценивается как хорошее. В целом, озеро является  $\beta$ -мезосапробным. Фон сапробности, отмеченный для озера, является естественным для крупных пойменных озер полуоткрытого типа.

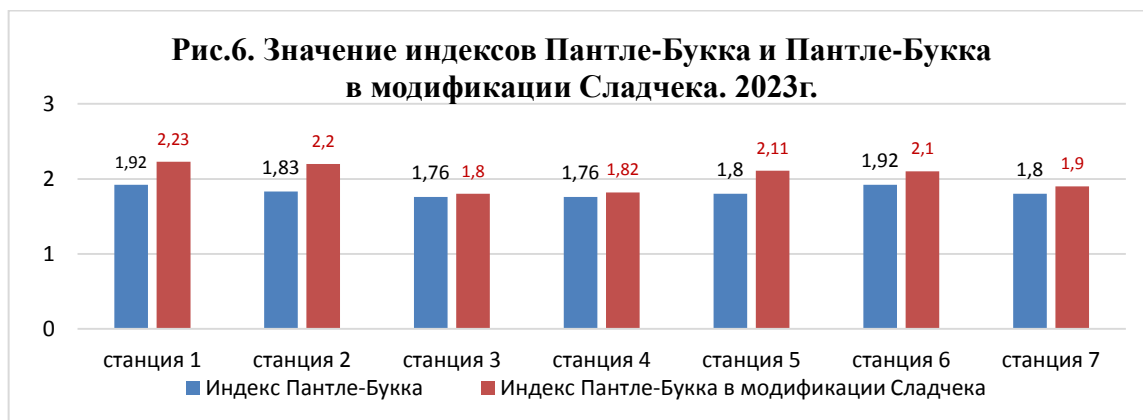


В 2022 г. и 2023 г. мы провели количественный учет видов-индикаторов. Результаты по методикам Пантле-Букка и Пантле-Букка в модификации Сладчека. представлены на рисунках 4 и 5. В целом характеристика вод по обоим методикам по результатам 2022г. является сходной, однако, ряд показателей с учетом количества индикаторных организмов для некоторых станций (№ 2, № 5, № 6) несколько отличается.

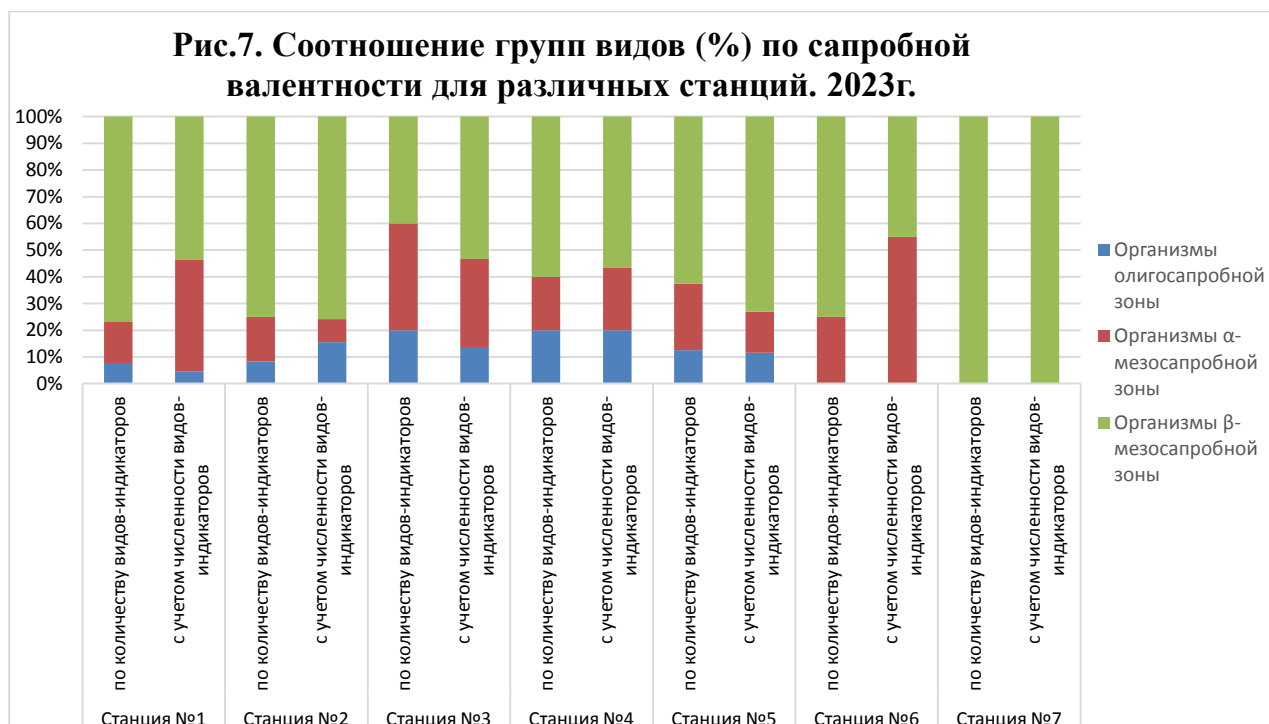
В 2023 г. показатели индексов Пантле-Букка и Пантле-Букка в модификации Сладчека расходятся для станций №1, №2, №5, №6. Тем не менее, из диаграммы (рис.6) видно, что значение индекса Пантле-Букка в модификации Сладчека характеризует воду как  $\beta$ -мезосапробную, т.е. удовлетворительной чистоты. Этот индекс основан на количественном показателе и дает более точный результат. Так для станций №3 и №4 показатель с учетом этого индекса указывает на значительно лучшее качество вод и значительное содержание кислорода.

Из диаграмм (рис.5 и 6) можно отметить улучшение качества воды (уменьшение значения индекса) в 2023 г. для станций №№3,4. Для станций №№1,2,5 отмечено ухудшение качества по сравнению с 2022 годом, что связано с более высокими температурами июня-июля 2023 г. и снижением вследствие этого содержания кислорода в воде и значительным количеством донных отложений.





Для большинства станций характерно наличие организмов-индикаторов олигосапробной зоны, что говорит о значительном содержании кислорода в придонном слое, однако для всех станций с учетом численности организмов доминируют представители  $\beta$ -мезосапробной зоны (рис.7). Исключение представляет станция № 6, где с учетом численности доминируют организмы  $\alpha$ -мезосапробной зоны, что подтверждает сказанное выше.



Оценка динамики изменений показателей индексов Пантле-Букка и Пантле-Букка в модификации Сладчека проводилась с использованием программы «Биостатистика» (раздел «Линейная регрессия и корреляция»).

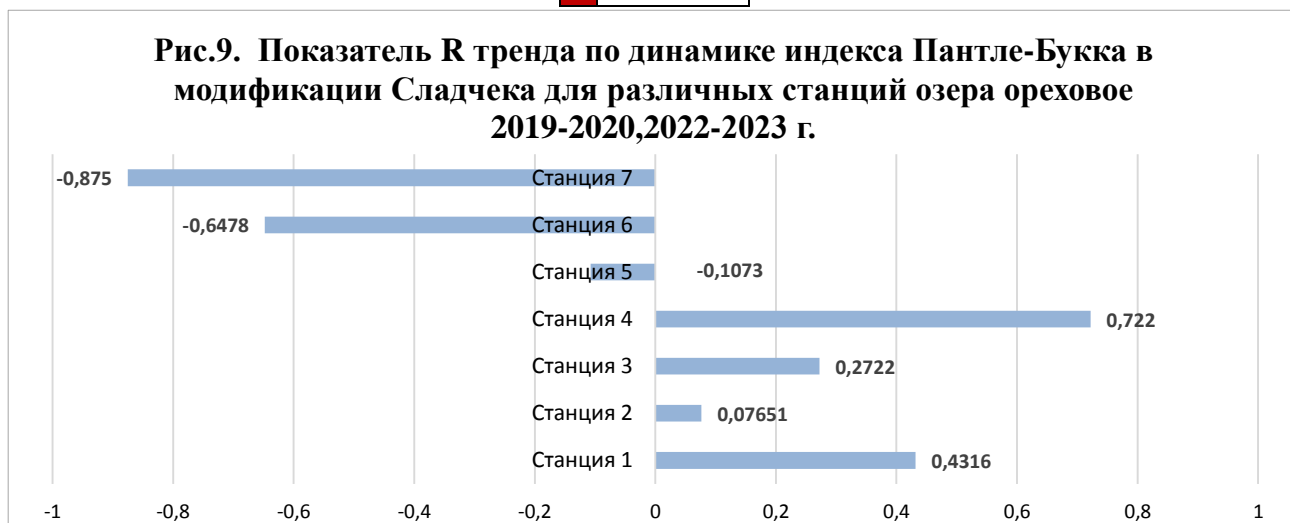
Показатель коэффициента корреляции между порядковым номером года исследований и индексом Пантле-Букка (показатель R-тренда) за период с 2013 по 2020гг., 2022-2023гг. для большинства станций является положительным (+), то есть показатель индекса Панте-Букка повышается, что говорит об ухудшении состояния и загрязнении воды (рис.8). Исключение представляют станции 7,6 и 4, для которых качество вод остается относительно стабильным. Значимое ухудшение по индексу Пантле-Букка отмечено для станции №1 ( $p < 0,01$ ). Не

исключено, что ухудшение качества воды связано и с жаркими погодными условиями 2021 и 2022 гг.

Анализ результатов по индексу Пантле-Букка в модификации Сладчека с 2019 по 2023гг. показывает улучшение качества воды для станций №№ 5, 6 и 7 (рис.9), что связано как с уменьшением антропогенной нагрузки, так и с природными факторами. Однако, следует учитывать, что количественный анализ по составу организмов биоиндикаторов проводился нашими предшественниками лишь с 2019 года, в 2021 году исследования не проводились, вследствие чего анализируемый период в данном случае здесь лишь 4 года.



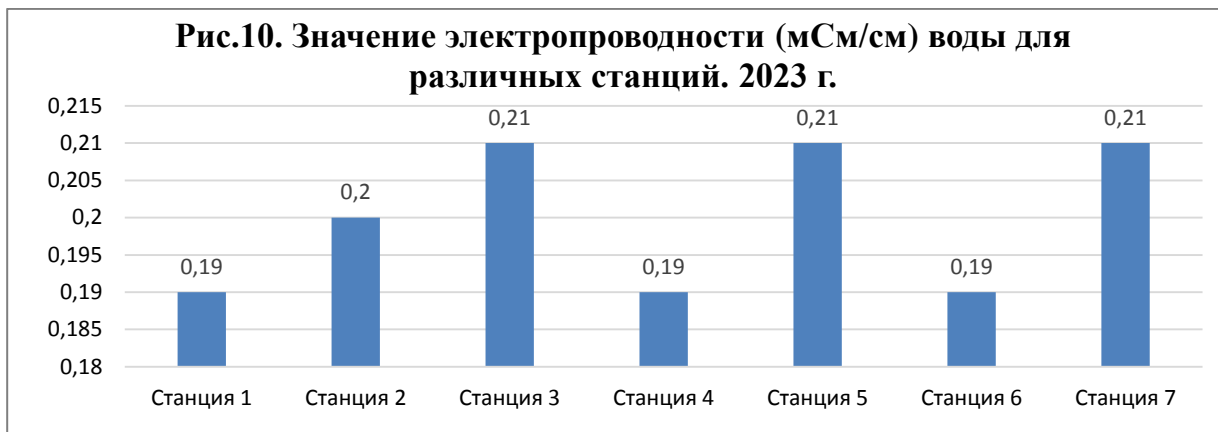
$p < 0,01$



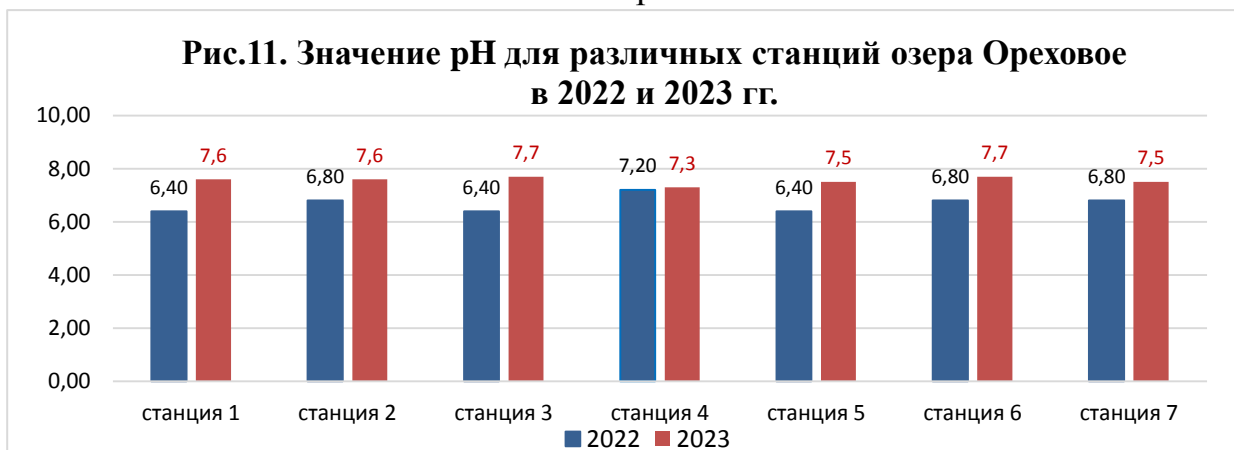
Так как индекс Пантле-Букка в модификации Сладчека является более точным, то можно сказать, что для большинства станций за период с 2019 по 2023 гг. качество воды ухудшилось, однако эти изменения не являются значимыми ( $p < 0,05$ ).

Мы проанализировали химический анализ воды различных станций по некоторым показателям. Величина удельной электропроводности (УЭП) является примерным показателем суммарной концентрации электролитов и, следовательно, минерализации. Данный показатель измерялся с помощью карманного тестера EC59 PRO Waterproof EC/NLC/Testers. На рисунке 10 представлена диаграмма, содержащая показатели электропроводности (мСм/см). Это свойство зависит от концентрации в жидкости растворенных минеральных

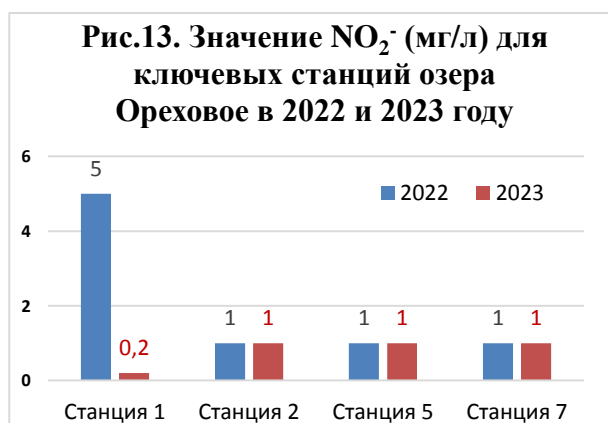
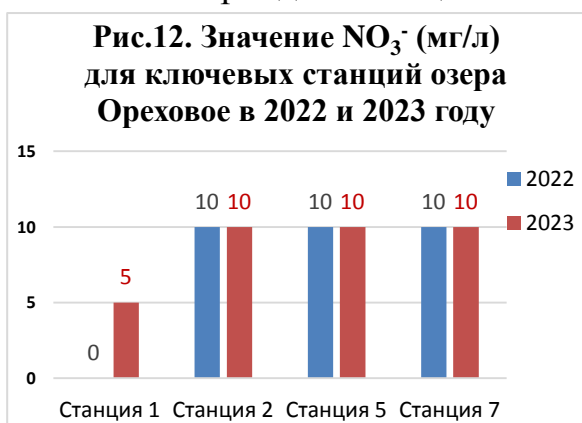
солей. Для различных станций показатель варьирует от 0,19 до 0,21 мСм/см, что свидетельствует о низком содержании электролитов и слабой минерализации.



Показатель рН для всех станций (2022-2023 гг.) находится в пределах, характерных для природных поверхностных водоёмов (рис.11). Также можно отметить увеличение уровня рН в 2023 г. по сравнению с прошлым годом. Данное явление можно объяснить более жарким летом.



Содержание нитратов ( $\text{NO}_3^-$ ) в водах всех станций находится в пределах нормы ПДК (40 мг/л) (для водоемов рыбохозяйственного назначения) (рис.12). Содержание нитритов ( $\text{NO}_2^-$ ) для всех станций кроме станции № 2 несколько выше норм ПДК (0,8 мг/л), что обусловлено зарастанием акватории макрофитами и значительным поступлением органических веществ после окончания периода вегетации.



Лабораторный химический анализ (таблица 2) показал достаточно высокое содержание кислорода для ключевых станций. Минимальное значение было отмечено для станции №7, которая по методу С.Г. Николаева характеризуется высоким уровнем загрязнения. Максимальное количество кислорода было отмечено для станции №1. Возможно, что содержание кислорода обусловлено выходом родниковых вод, а также существенным количеством фотосинтезирующих растений, которые также вносят свой вклад в обогащение воды кислородом. При низком уровне содержания кислорода условия жизни водоёма становятся неподходящими для его обитателей, кроме того кислород участвует в разложении биологических соединений. Таким образом, высокое содержание растворенного кислорода в водах озера является показателем благополучия его экологического состояния, что подтверждается биоиндикационными методами оценки.

По БПК<sub>5</sub> показатели также находятся в пределах нормы ПДК и характеризует воды как слабо загрязненные и демонстрируют отсутствие антропогенного загрязнения. В поверхностных водах величина биохимического потребления кислорода за 5 суток варьирует обычно в пределах 0,5-4,0 мг/л.

Общая щёлочность для всех исследуемых станций ниже ПДК, что свидетельствует о низком содержании органических кислот из-за отсутствия антропогенного воздействия, что подтверждается показателями БПК<sub>5</sub>. Значительно превышено ПДК по содержанию общего железа, что связано с выходами грунтовых вод.

**Таблица 2. Некоторые химические показатели для ключевых станций**

Название станции	Содержание растворенного кислорода (мг/л) ПДК 4 мг/л (мин.)	БПК <sub>5</sub> (мг/л)	Общая щелочность	Содержание общего железа мг/л
		ПДК 2,1 мг/л	ПДК 7,9 мг*эquiv/л	ПДК 0,1 мг/л
№1. Стоянка рыбака	9,55	0,32	1,8	3,7
№2. Протока	6,4	0,04	1,8	4,3
№5. Лагерь	6,08	0,12	2,0	5,0
№7. Напротив лагеря	4,8	0,08	1,8	3,7

**Таблица 3. Показатели общей и карбонатной жесткости для ключевых станций**

Показатель	Общая жесткость (ГН) (мг-эquiv/л)		Карбонатная жесткость (КН) (мг-эquiv/л)	
	2022	2023	2022	2023
Станция №1	1,44	2,2	1,08	1,08
Станция №2	5,76	4,8	2,88	2,4
Станция №3	2,88	-	1,08	-
Станция №4	2,16	-	1,08	-
Станция №5	2,88	2,22	1,08	1,12
Станция №6	2,88	-	1,08	-
Станция №7	2,88	3,2	2,16	2,2

В 2022 и 2023 гг. воды станций по показателю общей жесткости можно отнести к мягким (табл. 3) (до 4 мг-эquiv./л). Наибольший вклад в жесткость воды вносит карбонатная жесткость. В 2022 году воды станции № 2 («Протока») можно отнести к водам средней жесткости, что связано с выходом родников и грунтовых вод.

## **Заключение**

Таким образом, проведя исследование и оценку качество воды можно сделать заключение, что вода в озере Ореховое является относительно чистой, слабо загрязненной, а состояние озера - удовлетворительное. В целом озеро является относительно чистым для пойменных озер,  $\beta$ -мезосапробным. Загрязнение водоема вызывается естественными причинами, так как в районе озера практически отсутствуют загрязнения антропогенного происхождения, что подтверждают результаты химического анализа. Для ряда станций характерны значительные донные иловые отложения, особенно на станциях, расположенных на южном берегу озера, который является топким. В озере в настоящее время проходят естественные изменения, связанные с процессами зарастания и старения, однако эти процессы замедлены вследствие поступления родниковых вод и вод из реки Клязьма во время паводков. Биоценоз озера достаточно устойчив.

## **Выводы**

1. Видовой состав водных беспозвоночных (представителей макрозообентоса) озера Ореховое насчитывает 51 вид, среди которых встречаются представители озерной и речной фауны.

2. Вода озера Ореховое, оцененная по составу макрозообентоса, является относительно чистой, экологически полноценной,  $\beta$ -мезосапробной, состояние озера - удовлетворительным. Загрязнение в основном носит естественный характер, антропогенное загрязнение практически отсутствует.

3. Химический анализ выявил, что воды озера являются мягкими, что подтверждается результатами измерения электропроводности, Содержание нитратов находится в пределах нормы ПДК, содержание нитритов для некоторых станций несколько выше нормы ПДК, что обусловлено зарастанием акватории макрофитами и значительным поступлением органических веществ после окончания периода вегетации и паводками. Характерно высокое содержание растворенного кислорода. Анализ БПК<sub>5</sub> подтверждает отсутствие антропогенного загрязнения, также, как и показатели общей щелочности. Отмечено превышение ПДК по содержанию общего железа, что связано с выходами грунтовых вод.

4. Мониторинг качества воды за 2013-2023 годы показывает, что для ряда станций качество воды ухудшилось, что связано в основном с высокими летними температурами 2023 г., хотя в целом состояние озера можно оценить как стабильное. Фон сапробности, отмеченный для озера, является естественным для пойменных озер. Биоценоз озера достаточно устойчив.

## **Рекомендации**

В целях сохранения качества воды озера Ореховое на должном уровне необходимо ограничить его использование в качестве туристического объекта.

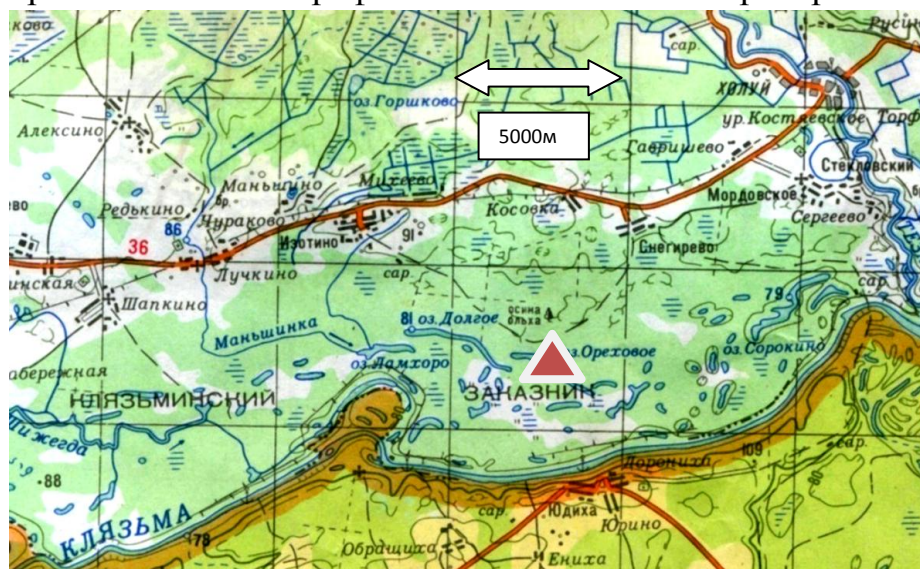
С целью сохранения и увеличения популяции водяного ореха следует проводить очистку ряда участков озера от телореза и кубышки, ужесточить контроль за рыбной ловлей на территории заказника, так как при выеме сетей происходит уничтожение части экземпляров чилима.

**Практическая значимость.** Материалы работы переданы в ФГБУ «Национальный парк «Мещера».

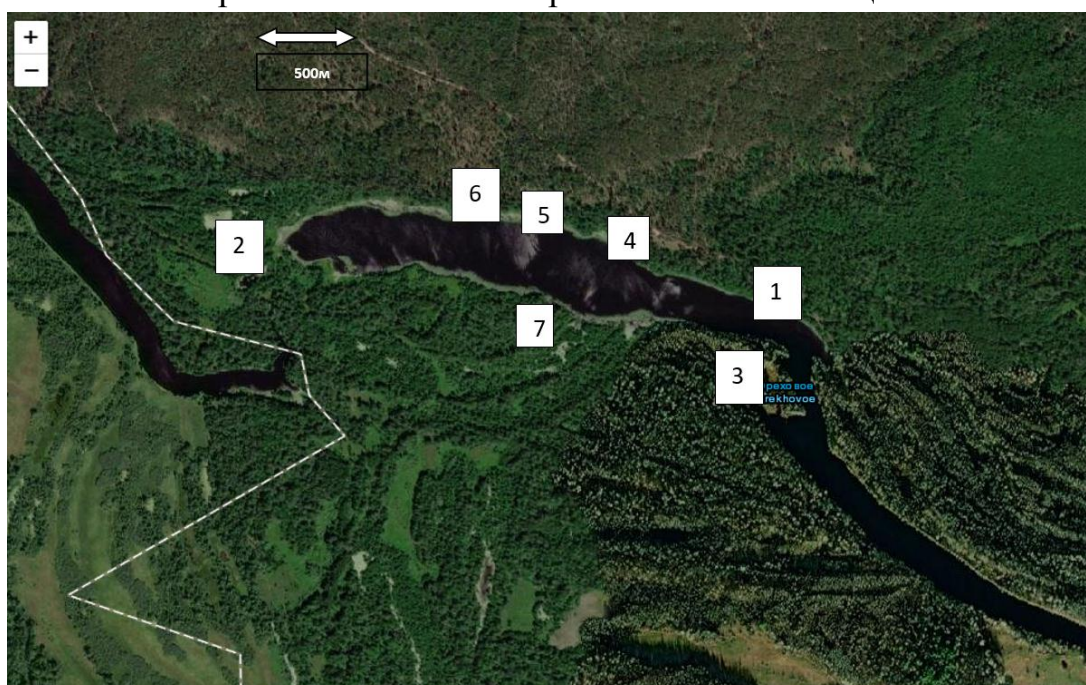
### Литература

1. Губанов И.А., Киселёва Т.А., Новиков В.С., Тихомиров В.Н. Определитель сосудистых растений центра европейской России, Москва 1995.- 560 стр.
2. Данилова Ю.А., Ляндзберг А.Р. Полевой определитель основных групп пресноводных беспозвоночных. Санкт-Петербург. 1999.
3. Муравьев А.Г., Пугал Н.А., Лаврова В.Н. Экологический практикум. Санкт-Петербург. Крисмас+. 2003.
4. Муравьев А.Г., Данилова В.В., Осадчая Н.А., Исследование экологического состояния водных объектов. Под ред. к.х.н. А.Г.Муравьева. - СПб: «Крисмас+», 2012.- 232 с.
5. Муравьев А.Г., Данилова В.В., Осадчая Н.А., Руководство по анализу воды. Питьевая и природная вода, почвенные вытяжки. Под ред. к.х.н. А.Г. Муравьева. – Изд. 2е, перераб. - СПб: «Крисмас+», 2012. – 264 с.
6. Муравьев А.Г. Пугал Н.А., Лаврова В.Н. Экологический практикум. Учебное пособие с комплектом карт-инструкций./ Под ред. к.х.н. А.Г. Муравьева – 4-е изд. - СПб: «Крисмас+», 2014.- 176 с.
7. Николаев С.Г., Извекова Э.И., Смирнова Л.А. Оперативный методбиоиндикации классности качества поверхностных вод // Методическое и информационное обеспечение Общественного мониторинга окружающей среды силами учащихся и педагогов образовательных организаций России. М., ФГБОУ ФДЭБЦ, 2018. С. 25-76.
8. Новиков В. С., Губанов И.А. Школьный атлас – определитель высших растений, Москва. 1991. - 239 с.
9. Определитель пресноводных беспозвоночных Европейской части СССР [Текст]: [Планктон и бентос] / [Г.Г. Винберг, О.И. Чибисова, Н.С. Гаевская и др.; Отв. ред. д-ра биол. наук Л.А. Кутикова, Я.И. Старобогатов]; Гл. упр. гидрометеорол. службы при Совете Министров СССР, Зоол. ин-т АН СССР. - Ленинград : Гидрометеиздат, 1977. - 511 с.
10. Реймерс Н.Ф. Основные биологические понятия и термины: Кн. для учителя / Н. Ф. Реймерс. - Москва: Просвещение, 1988. - 318,[1] с.: ил.; 22 см.; ISBN 5-09-000278-9 (В пер.).
11. Хейсин Е.М. Краткий определитель пресноводной фауны/ Проф. Е. М. Хейсин. - 2-е изд., испр. и доп. - Москва: Учпедгиз, 1962. - 148 с., 4 л. ил.
12. Чертопруд М.В. Краткий определитель пресноводных беспозвоночных центра Европейской России. М.: МАКС Пресс, 2003.
13. Чертопруд М.В. Мониторинг загрязнения по составу макрозообентоса. М., 1999.

Приложение 1. Географическое положение озера Ореховое



Приложение 2. Места расположения станций



1. Стоянка рыбака; 2. У протоки; 3. Напротив стоянки рыбака;
4. Студенческий мост; 5. У лагеря (в месте расположения родника);
6. 200 метров на запад от лагеря; 7. Напротив лагеря.

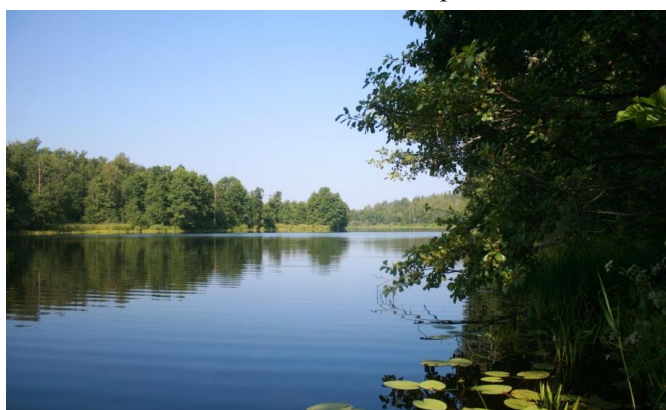


Фото. Озеро Ореховое

## Список встреченных растений

Царство растений	<i>Семейство злаки</i>
Отдел мохообразные	<i>Род Тростник</i>
Класс листостебельные мхи	Тростник обыкновенный
<i>Семейство фонтиналисовые</i>	<i>Семейство осоковые</i>
<i>Род фонтиналис</i>	<i>Род осока</i>
Фонтиналис противопожарный	Осока пестрая
Отдел хвощеобразные	Осока черная
Класс хвощевидные	Осока пузырчатая
<i>Семейство хвощовые</i>	Осока желтая
<i>Род хвощ</i>	<i>Род камыш</i>
Хвощ речной	Камыш озерный
Отдел папоротникообразные	Камыш лесной
Класс полиподиопсидны	<i>Семейство ситниковые</i>
<i>Семейство кочедыжниковые</i>	<i>Род ситник</i>
<i>Род кочедыжник</i>	Ситник болотный
Кочедыжник женский	Ситник жабий
<i>Семейство телиптерисовые</i>	<i>Семейство рясковые</i>
<i>Род телиптерис</i>	<i>Род многокоренник</i>
Телиптерис болотный	Многокоренник обыкновенный
Отдел цветковые	<i>Род ряска</i>
Класс однодольные	Ряска трехдольная
<i>Семейство рогозовые</i>	Ряска маленькая
<i>Род рогоз</i>	Класс двудольные
Рогоз широколистный	<i>Семейство ивовые</i>
Рогоз узколистный	<i>Род ива</i>
<i>Семейство ежеголовниковые</i>	Ива козья
<i>Род ежеголовник</i>	Ива трехтычинковая
Ежеголовник прямой	<i>Семейство кувшинковые</i>
Ежеголовник простой	<i>Род кувшинка</i>
<i>Семейство рдестовые</i>	Кувшинка белоснежная
<i>Род рдест</i>	<i>Род кубышка</i>
Рдест гребенчатый	Кубышка желтая
Рдест курчавый	<i>Семейство роголистниковые</i>
Рдест плавающий	<i>Род роголистник</i>
Рдест пронзеннолистный	Роголистник погруженный
Рдест блестящий	<i>Семейство рогольниковые</i>
<i>Семейство наядовые</i>	Рогольник водяной или чилим
<i>Род наяда</i>	<i>Семейство розоцветные</i>
Наяда большая	<i>Род сабельник</i>
<i>Семейство частуховые</i>	Сабельник болотный
<i>Род частуха</i>	Семейство зонтичные
Частуха подорожниковая	<i>Род поручейник</i>
<i>Род стрелолист</i>	Поручейник широколистный
Стрелолист обыкновенный	<i>Род омежник</i>

Семейство сусаковые  
 Род сусак  
 Сусак зонтичный  
 Семейство водокрасовые  
 Род элодея  
 Элодея канадская  
 Род телорез  
 Телорез обыкновенный  
 Род водокрас  
 Водокрас лягушачий

Омежник водный  
 Семейство сложноцветные  
 Род череда  
 Череда трехраздельная

#### Приложение 4.

#### Описание воды, дна и растительности станций озера Ореховое.

№ станции	Глубина	Цвет воды	Грунт	Берег	Растительность
1	50см	буроватый	песок и ил	песчаный	Кубышка желтая, водокрас лягушачий, осока, реччилия плавающая, телорез, многокоренник, стрелолист
2	75см	желтоватый	песок и ил	песчаный	Кубышка желтая, телорез алоэвидный, осока, реччилия плавающая, частуха подорожниковая, стрелолист
3	120 см	буроватый	ил	торф и ил	Кубышка желтая, телорез, чилим, рдест плавающий, реччилия плавающая, многокоренник, рдест нитчатый, рогоз, ирис, элодея канадская, водокрас лягушачий, осока, стрелолист
4	70 см	буроватый	песок и ил	песчаный	Кубышка желтая, водокрас лягушачий, многокоренник, осока, реччилия плавающая, рдест курчавый, элодея канадская
5	90 см	буроватый	песок и ил	песчаный	Кубышка желтая, осока, многокоренник, телорез, рогоз, камыш
6	150 см	буроватый	песок и ил	песчаный	Кубышка желтая, телорез, стрелолист, элодея канадская, реччилия плавающая
7	100 см	зеленовато-бурый	песок и ил	песчаный	Кубышка желтая, многокоренник, телорез, осока, реччилия плавающая

Список видов беспозвоночных, представителей группы макрозообентоса, обнаруженных в оз.  
Ореховое 2022-2023гг.

Тип Губки (*Spongia*)

Класс Обыкновенные губки (*Demospongiae*)

Отряд *Spongillidae*

Семейство Бадяги (*Spongillidae*)

- 1) Бадяга обыкновенная (*Spongilla lacustris* L.)

Тип Кольчатые черви (*Nemathelminthes*)

Класс пиявки (*Glossiphonia*)

Отряд Хоботные (*Rhynchobdellae*)

Семейство Плоские Пиявки (*Glossiphonidae*)

- 1) Улитковая пиявка (*Glossiphonia complanata* L.)

Отряд Челюстные пиявки (*Gnathobdellae*)

Семейство Глоточные пиявки (*Hirudinidae*)

- 1) Малая ложноконская пиявка (*Erpobdella octoculata* L.)

Семейство Рыбьи пиявки (*Piscicolidae*)

- 1) Рыбья пиявка (*Piscicola geometra* L.)

Тип Моллюски (*Mollusca*)

Класс Брюхоногие (*Gastropoda*)

Отряд Легочные моллюски (*Pulmonata*)

Семейство катушки (*Planorbidae*)

Род *Anisus*

- 1) катушка завиток (*Anisus vortex* L.)

Род *Planorbis*

- 1) катушка роговая (*Planorbis corneus* L.)

- 2) катушка сплюснутая (*Planorbis complanatus* L.)

Семейство Прудовики (*Limnaeidae*)

Род Прудовики (*Limnaea*)

- 1) прудовик обыкновенный (*Limnaea stagnalis* L.)

- 2) прудовик ушковый (*Limnaea auricularia* L.)

Отряд Переднежаберные (*Prosobranchia*)

Семейство Живородки (*Viviparidae*)

Род Живородки (*Viviparus*)

- 1) лужанка живородящая (*Viviparus contectus* Millet)

Семейство Битинии (*Bithyniidae*)

Род Битиния (*Bithinia*)

- 1) битиния щупальцевая (*Bithinia tentaculate* Linne)

- 2) битиния Личи (*Bithinia leachi* Sheppard)

Семейство Затворки (*Valvatidae*)

Род Затворка (*Valvata*)

- 1) затворка макростома (*Valvata macrostoma* Pfeiffer)

- 2) затворка обыкновенная (*Valvata piscinalis* O.F.Müller)

Семейство Чашечки (*Ancylidae*)

Род Чашечка (*Ancylus*)

- 1) чашечка озерная (*Ancylus lacustris* L.)

Класс Пластинчатожаберные (*Bivalvia*)



Семейство (*Limnophilidae*)

- 1) Ручейник Ромбический (*Limnophilus rhombicus L.*)
- 2) Ручейник Моховой (*Limnophilus stigma L.*)
- 3) Ручейник Трехгранный (*Limnophilus nigriceps Zetterstedt*)
- 4) Ручейник Колчанка (*Limnophilus vitatus Fabricius*)

Семейство Ручейники плетущиеся (*Polycentropodidae*)

- 1) Анаболия (*Anabolia sp. Steph.*)

Семейство Щетинконосцы (*Molannidae*)

- 1) *Molanna Curtis*

Отряд Двукрылые (*Diptera*)

Семейство Звонцы (*Chironomidae*)

- 1) Мотыль (*Chironomus sp.*)

Семейство настоящие комары (*Culicidae*)

- 1) *Culex sp.*

Семейство Огневки (*Pyralididae*)

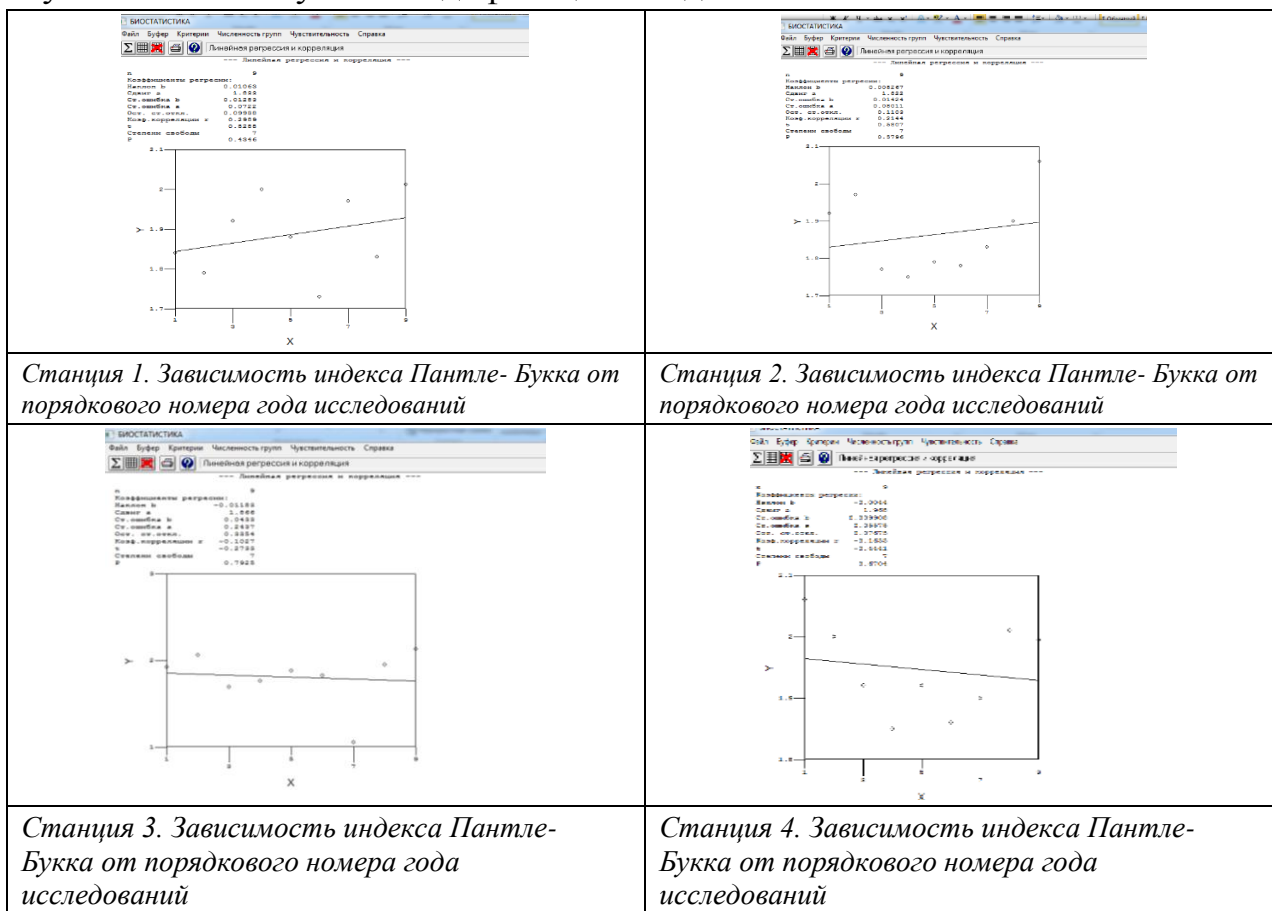
- 1) Огневка водная кувшинковая (*Elophila nymphaeata L.*)

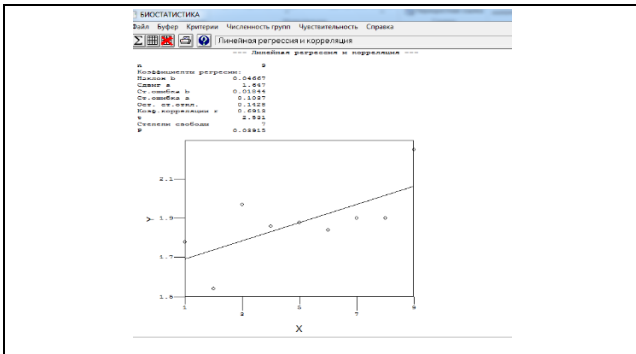
Отряд Жесткокрылые (*Coleoptera*)

Семейство Плавунцы (*Dytiscidae*)

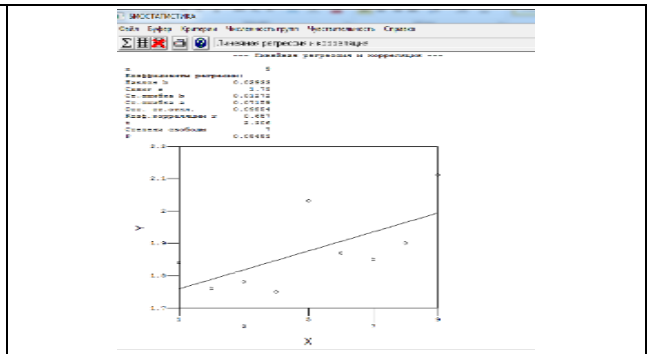
- 1) Плавунец окаймленный (*Dytiscus marginalis L.*)
- 2) Пеструшка (*Hydrotus sp.*)
- 3) Водолюб большой (*Hydrophilus piceus L.*)

Приложение 7. Статистическая обработка динамики изменения индексов Пантле-Букка и Пантле-Букка в модификации Сладчека

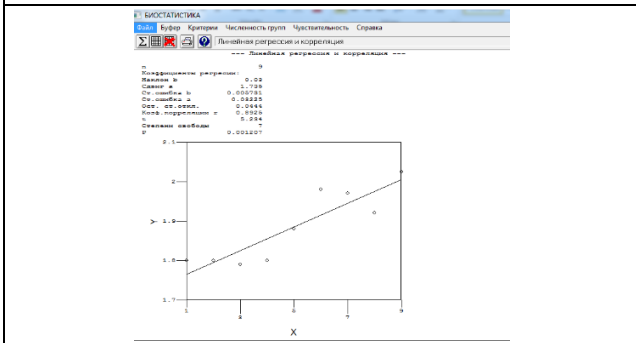




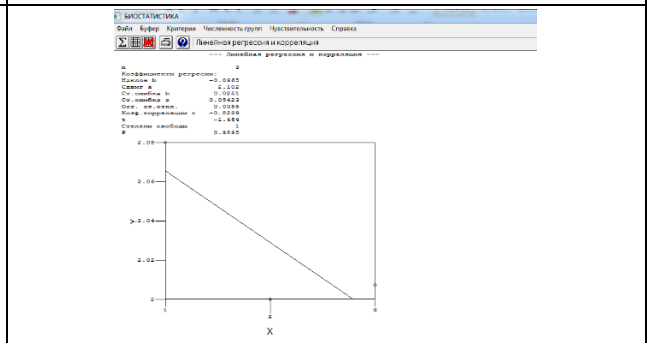
*Станция 5. Зависимость индекса Пантле-Букка от порядкового номера года исследований*



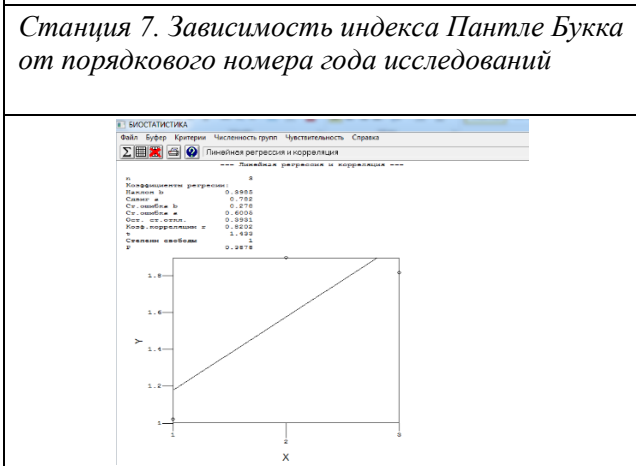
*Станция 6. Зависимость индекса Пантле-Букка от порядкового номера года исследований*



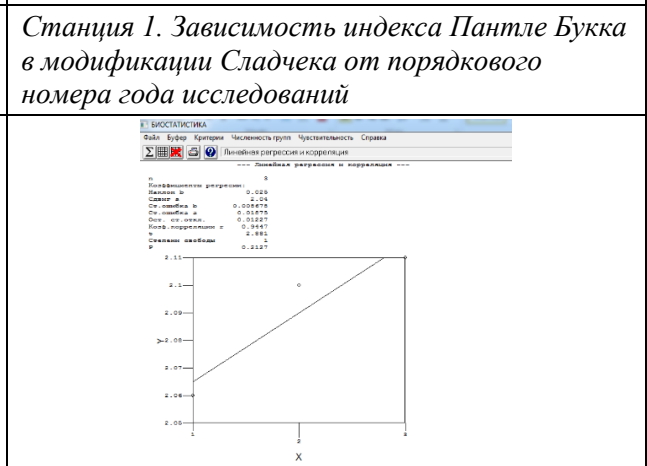
*Станция 7. Зависимость индекса Пантле Букка от порядкового номера года исследований*



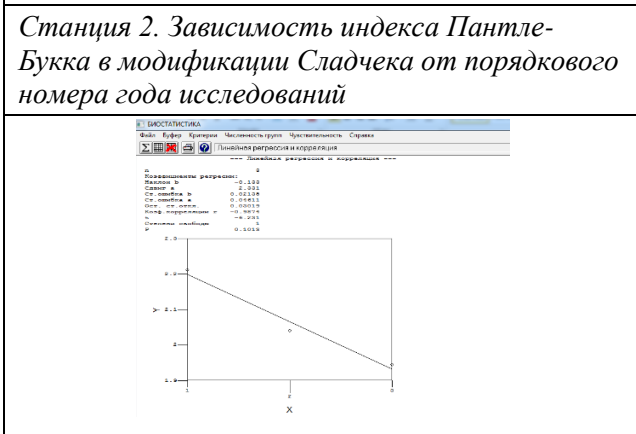
*Станция 1. Зависимость индекса Пантле Букка в модификации Сладчека от порядкового номера года исследований*



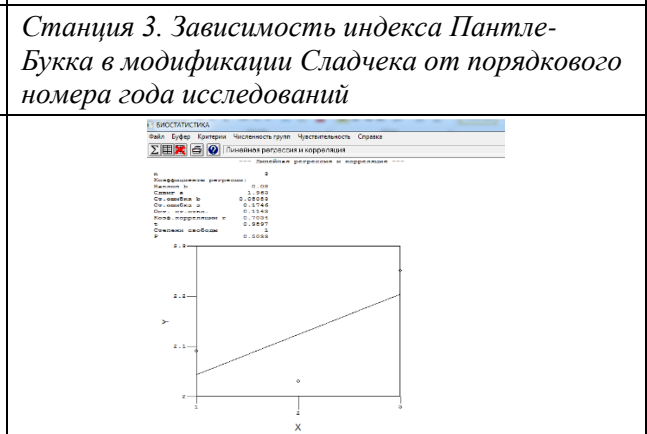
*Станция 2. Зависимость индекса Пантле-Букка в модификации Сладчека от порядкового номера года исследований*



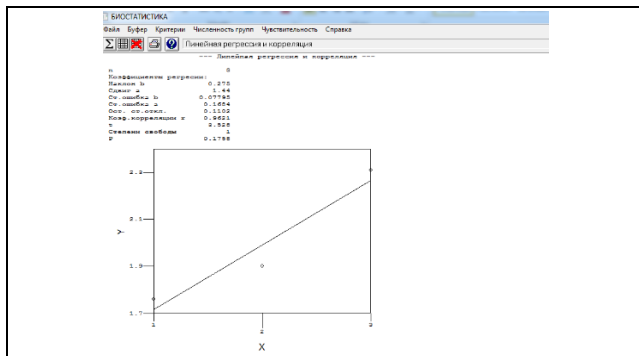
*Станция 3. Зависимость индекса Пантле-Букка в модификации Сладчека от порядкового номера года исследований*



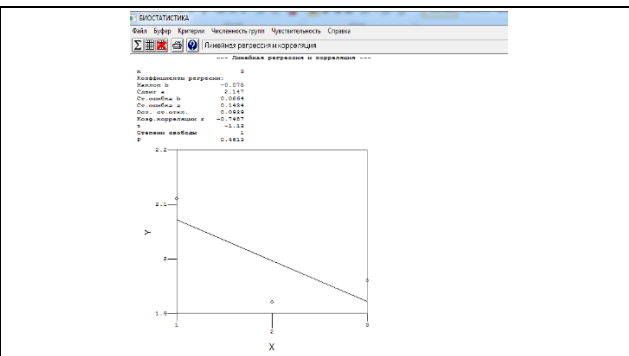
*Станция 4. Зависимость индекса Пантле-Букка в модификации Сладчека от порядкового номера года исследований*



*Станция 5. Зависимость индекса Пантле-Букка в модификации Сладчека от порядкового номера года исследований*



Станция 6. Зависимость индекса Пантле-Букка в модификации Сладчека от порядкового номера года исследований



Станция 7. Зависимость индекса Пантле Букка в модификации Сладчека от порядкового номера года исследований

## Приложение 8.

Сравнительная таблица индексов по станциям 2010-2020 гг., 2022 г.

Год/индекс/станция	Станция № 1	Станция № 2	Станция № 3	Станция № 4	Станция № 5	Станция № 6	Станция № 7
<b>Индекс С.Г. Николаева</b>							
2013	4	4	4	4	4	4	4
2014	4	4	4	4	4	4	4
2015	4	4	4	4	4	4	4
2016	4	3	4	4	4	3	3
2017	4	4	4	4	4	4	4
2018	3	3	4	4	4	3	4
2019	4	4	4	4	4	4	4
2020	3	4	4	4	4	4	4
2022*	3	3	2	3	2	5	6
2023*	3	2	3	4	3	5	6
<b>Индекс Пантле-Букку</b>							
2013	1,84	1,92	1,92	2,06	1,78	1,84	1,8
2014	1,79	1,97	2,06	2,0	1,54	1,76	1,8
2015	1,92	1,77	1,69	1,92	1,97	1,78	1,79
2016	2,0	1,75	1,76	1,85	1,86	1,75	1,8
2017	1,88	1,79	1,88	1,92	1,88	2,03	1,88
2018	1,73	1,78	1,82	1,86	1,84	1,87	1,89
2019	1,97	1,83	1,95	1,9	1,9	1,85	1,97
2020	1,83	1,9	1,95	2,01	1,9	1,9	1,92
2022*	2,012	2,059	2,13	1,994	2,25	2,11	2,025
2023*	1,92	1,83	1,76	1,76	1,8	1,92	1,8
<b>Индекс Пантле-Букку в модификации Сладчека</b>							
2019	2,08	1,02	2,06	2,21	2,09	1,76	2,11
2020	2,0	1,9	2,1	2,04	2,03	1,9	1,92
2022*	2,007	1,817	2,11	1,944	1,79	2,31	1,96
2023*	2,23	2,2	1,8	1,82	2,11	2,1	1,9

\*2022-2023гг. – наши данные

2013-2020 гг. – данные, предоставленные руководителем работы