

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ, НАУКИ И МОЛОДЁЖИ
РЕСПУБЛИКИ КРЫМ

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

Номинация: «Микология. Лихенология.
Альгология»

**МИКРОВОДОРОСЛИ ВОДОЕМОВ ОКРЕСТНОСТЕЙ Г.ФЕОДОСИЯ
РЕСПУБЛИКИ КРЫМ**

Работу выполнила:

Подунай Елизавета Алексеевна,
учащаяся 8-Б класса Муниципального
бюджетного общеобразовательного
учреждения «Гимназия № 5 г. Феодосии
Республики Крым»

Научный руководитель:

Подунай Юлия Александровна, к.б.н.,
учитель биологии МБОУ «Гимназия № 5
г. Феодосии Республики Крым»;
старший научный сотрудник
лаборатории водорослей и микробиоты
Карадагской научной станции им.
Т.И.Вяземского – природного
заповедника РАН – филиала ФГБУН
ФИЦ «Институт биологии южных морей
им. А.О. Ковалевского РАН»

Содержание

Введение	3
Глава 1. Обзор литературы	5
1.1. Водоемы Феодосии.....	5
1.2. Оценка степени загрязнения вод.....	6
Глава 2. Материал и методы.....	8
2.1. Отбор проб.....	8
2.2. Микроскопия и культивирование.....	9
2.3. Приготовление питательной среды для культивирования	9
2.4. Индекс сапробности по Пантле и Букк.....	10
Глава 3. Результаты и обсуждения.....	11
3.1. Состав фитопланктона соленых водоемов г. Феодосии.....	11
3.2. Фитопланктон пресноводных водоемов г. Феодосии	12
3.3. Влияние солености на рост двух видов микроводорослей	15
3.4. Половое воспроизведение <i>Nitzschia cf. thermaloides</i>	16
3.5. Оценка экологического состояния пресноводных водоемов	16
Выводы	18
Заключение.....	19
Список литературы.....	20
Приложения.....	22

ВВЕДЕНИЕ

Водные ресурсы региона определяются как природными условиями, так и характером их эксплуатации. В пределах территории Большой Феодосии, также как и всего Крыма, ощущается недостаток водных ресурсов, что ограничивает, с одной стороны, развитие региона, а с другой – сказывается на качестве жизни населения. Анализ количества и качества водных ресурсов всех источников водоснабжения территории поможет выработать мероприятия по их оптимальному использованию и обеспечить условия для устойчивого развития региона (Позаченюк, Лукьянова, 2013).

Феодосийский регион характеризуется уникальными природными условиями. Он единственный в Крыму объединяет пять физико-географических районов [1, 2]: Южнобережный восточный низкогорный овражно-балочный; Восточный низкогорный; Индольский низкогорный лесостепной; Индольский равнинный и Керченский югозападный волнисторавнинный. Это определяет разнообразие климатических особенностей и рельефа региона

Речная сеть Большой Феодосии относится к бассейну Черного моря. Поверхностные воды региона представлены бассейнами реки Байбуги, реки Отуз и ручьями балок. По классификации характера рельефа Байбуга и ее бассейн относится к рекам и балкам северо-восточных склонов Главной гряды Крымских гор, а река Отуз – к рекам, ручьям и балкам Южного берега Крыма. Длина реки Байбуга от самого удаленного истока правого притока составляет 20 км, площадь водосбора 111 км². Восемь притоков питаются атмосферными осадками и родниками. Замкнутые поверхностные водоемы региона представлены солеными озерами Большой Аджиголь и Малый Аджиголь, а также сетью искусственных пресноводных водоемов. Водохранилищ естественного стока пресной воды в регионе нет используются. Замкнутые поверхностные водоемы региона представлены солеными озерами Большой Аджиголь и Малый Аджиголь, а также сетью искусственных пресноводных водоемов. Водохранилищ естественного стока пресной воды в регионе нет. Государственный природный заказник регионального значения «Озера Ачи и Камышинский луг» был создан 28.11.2017г. в Республике Крым. Общая площадь ООПТ Общая площадь ООПТ: 1 043,3 га. Южный участок (озеро «Камышинский луг» — 472,9168 га) расположен на территории городского округа Феодосия, севернее поселка Приморский и южнее Фронтовского водохранилища (Постановление Совета министров Республики Крым № 634от 28 ноября 2017 года).

Альгоиндикация, которую часто применяют в системе геоэкологического мониторинга водных экосистем, позволяет, в частности, выявлять степень эвтрофицирующего антропогенного воздействия на эти объекты. Быстрая и хорошо регистрируемая реакция водорослей и цианопрокариот на воздействие различных загрязнителей – это важнейшее условие успешного их применения в качестве индикаторных организмов при

оценке экологического состояния водных экосистем. Одним из элементов биомониторинга является диагностирование состояния и степени жизнеспособности клеток в природной среде. Водоросли и цианопрокариоты планктона и перифитона формируют цианопрокариотно-водорослевые ценозы, представляющие собой один из основных автотрофных компонентов водных экосистем, играя при этом большую роль в процессах самоочищения и улучшения санитарно-биологического состояния водоемов и водотоков (Филиппов, 2014).

Флора водорослей пресных водоемов Горного Крыма изучена крайне недостаточно. Сведения о находках отдельных видов водорослей содержатся в немногочисленных работах флористического и гидробиологического характера, посвященных результатам обследования разнотипных водоемов. Наиболее обстоятельные исследования были проведены в конце 40-х годов XX ст. и включали помимо Горного Крыма и степные районы. Данные о водорослях прудов Горного Крыма были сведены в обобщающей работе, где указывается 246 видовых и внутривидовых таксонов водорослей (Горбулин, Костенко, 2001).

Цель исследования: изучить разнообразие микроводорослей разнотипных континентальных водоемов г. Феодосии.

Задачи:

1. Отобрать пробы фитопланктона в водоемах г. Феодосии.
2. Изучить с помощью световой микроскопии и определить таксономическое положение водорослей, встреченных в пробах.
3. Изолировать в культуру клетки наиболее интересных представителей микроводорослей для дальнейшего изучения.
4. Изучить особенности биологии отдельных видов микроводорослей.
5. Подтвердить видовую принадлежность *Nitzschia cf. thermaloides* с использованием методов морфологического анализа и репродуктивной биологии.
6. С помощью биондикационных индексов провести оценку экологического состояния водоемов.

ГЛАВА 1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

1.1. Водоемы Феодосии

Озеро Аджиголь. Озеро Аджиголь расположено в прибрежной зоне Большой Феодосии в районе поселка Приморский, на побережье Феодосийского залива (рис. 1). Протяженность озера по длинной оси 1200 — 1400 м, в поперечнике — от 600 м на западе и до 300 м на востоке. Как естественная экологическая система - соленое озеро Аджиголь было веками связано диффузионными процессами с морской средой (рис. 1а). Со второй половины XX века озеро было отсечено от моря автомобильной трассой, а для водообмена был построен дюкер, соединяющий озеро с морем (рис.1б).

Пелоиды (лечебные грязи) — это преимущественно осадки современных соляных озер и продукты извержения грязевых вулканов. Они издавна используются для оздоровления и лечения многих заболеваний опорно-двигательной и нервной системы, часто применяются в комплексе с минеральным рассолом соляного озера (рапой). Для созревания и существования грязевых залежей крайне важна рапа. Химический состав и степень минерализации рапы влияют на процессы грязеобразования. Высыхание водоема вследствие испарения провоцирует физико-химические процессы в грязевой залежи, приводящие к потере лечебных свойств (Котова и др., 2017). К сожалению, следует отметить, что некоторые озера, имеющие хороший запас лечебных грязей, сейчас совершенно не используют данный потенциал. Показательна в этом отношении Феодосия, которая располагала собственными ресурсами минеральной воды и лечебной грязью, а отдых мог сочетаться с осмотром музеев и сохранившихся древностей. Для лечебных ванн в купальнях того времени применялась целебная грязь озера Аджиголь. Исследования профессора Московского университета Ивана Каблукова подтвердили высокое качество аджигольской грязи по критерию радиоактивности. В наши дни озеро почти утратило целебные свойства, чтобы их возродить, нужны желание, средства и воля местных властей. (Корнеева Е.В.). Рассчитанные запасы пелоидов озера Аджиголь составили около 70 000 м³, что соответствует данным, приведенным в Каталоге грязевых месторождений СССР.

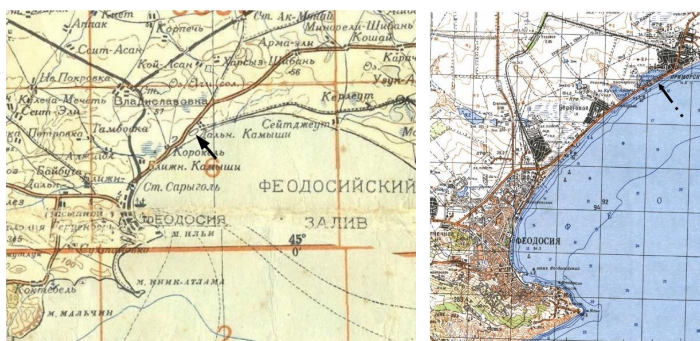


Рис. 1. Географическое положение озера Аджиголь (указано стрелкой): а) 1938 г., б) 1988 г.

Озеро Камышинский луг находится на юго-востоке Крымского полуострова – недалеко от поселка Приморский, расположенного на берегу Феодосийского залива Черного моря. Поселок издавна считается курортной зоной и развивается благодаря туризму. Находясь всего в 14 км от Феодосии, он стал излюбленным местом тихого и спокойного отдыха для сотен крымчан и гостей из Ближнего Зарубежья. Камышинский луг, находящийся всего в полукилометре от поселка, считается одной из его достопримечательностей. Площадь зеркала озера составляет 420 га, объем воды в нем – 4200 тысяч метров кубических. В XIX веке на месте нынешнего озера Камышинский луг находилось болото Тюреке и одноименная татарская деревня к северу от него. Поселение было заброшено во время Крымской войны и оставлено на произвол судьбы. Заросшая камышом заболоченная местность попала в зону подтопления, когда в 1978 году рядом было построено Фронтное водохранилище. Трубопровод, обеспечивающий пресной находящуюся в непосредственной близости Феодосию, со временем дал течь, что окончательно превратило Камышинский луг в мелкое озеро глубиной около одного метра.

Река Байбуга́ (Бай-Буга́; укр. Байбуга, Бай-Буга, крымскотат. Вау Буға, Бай Бугъа) — река в Восточном Крыму, длина реки 20 км, площадь водосборного бассейна 111 км², средний расход воды — 0,35 м³/с. Начинается источником Кошка-Чокрак близ села Ключевое (Кировский район), течёт, практически, на восток и впадает в Феодосийский залив Чёрного моря в черте города Феодосии.

1.2. Оценка степени загрязнения вод

В 1908 и 1909 гг. Кольквитцом и Марссоном были опубликованы материалы по оценке степени загрязнения вод разлагающимися органическими веществами, или сапробности. Кольквитц и Марссон изучая различные водоемы, установили 4 зоны сапробности:

1. Ксеносапробная зона – без органического загрязнения.
2. Полисапробная зона. Содержится значительное количество нестойких органических веществ и продуктов их анаэробного распада. Много белковых веществ. Кислород поступает в воду главным образом за счет атмосферной реэрации и расходуется полностью на окисление. В воде присутствует сероводород и метан. На дне кислорода нет.
3. α -мезосапробная зона. Начинается аэробный распад органических веществ, образуется аммиак, углекислота, кислорода мало, сероводорода и метана нет. БПК составляет десятки мг/л. Содержатся организмы, приспособленные к недостатку кислорода и высокому содержанию углекислоты. В илах много тубифицид и личинок хирономид.

4. β -мезосапробная зона. Нет стойких органических веществ, произошла полная минерализация. Содержание кислорода и углекислоты колеблется в зависимости от времени суток: днем избыток кислорода, дефицит углекислоты, ночью - наоборот. Много организмов с автотрофным питанием, наблюдается цветение воды.

5. Олигосапробная зона. Чистые воды, соединения азота в форме нитратов, вода насыщена кислородом; CO_2 мало, сероводорода нет. Это практически чистые водоемы. Цветения не бывает. На дне мало детрита, автотрофных организмов и бентосных животных.

Помимо того, что Кольквитц и Марссон определили зоны сапробности, они дали списки видов, характерных для каждой из этих зон. В своих работах они продемонстрировали очередность исчезновения и повторного появления организмов – водорослей, простейших, макробеспозвоночных и рыб – в результате воздействия загрязняющих веществ. Системы Кольквитца и Марссона послужила основой многих последующих систем биологического анализа.

В 1955г. выходит работа Пантле и Букка, в которой они характеризуют степень загрязнения индексом сапробности (S). Индикаторную значимость (s) они приняли у олигосапробов за 1, α -мезосапробов за 2, β -мезосапробов за 3 и полисапробов за 4. Относительное количество особей вида (h) оценивается следующим образом: случайные находки – 1, частая встречаемость 3 и массовое развитие – 5.

В. Сладечек, расширивший систему Кольквитца–Марссона, предложил несколько изменить значение индекса для зон сапробности и принять его значения для наиболее загрязненных (эусапробных) вод от 4.51 до 8.5, а для чистых, ксеносапробных вод от 0 до 0.5

ГЛАВА 2. МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

2.1. Отбор проб

Пробы отбирали в течение августа-сентября 2024 планктонной сетью в некоторых водоемах города Феодосия и прилегающих поселков (Рис.2.1.,2.2.,таблица 2.1.). Пробы из оз. Аджиголь отбирали в самом солёном озере и в пресных водоёмах, отделённых от основного озера земляной насыпью и загрязнённых стоками из ближайших домов и гостиниц (Рис2.1.,1а, б).

Таблица 1. Места отбора проб

№	Водоем	Координаты	pH	Электропроводность, $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$	Соленость, ‰
1	Оз. Аджиголь	45.10858, 35.45909	-	-	350
2	Оз. Аджиголь 1	45.11122, 35.47238	6,63	9800	-
3	Оз. Аджиголь 2	45.11125, 35.47309	6,63	2398	-
4	Оз. Камышовый луг	45.14012, 35.46959	-	-	20
5	Отстойник у очистных, п.Приморский	45.13926, 35.49269	7,72	2980	-
6	Водоем у дельфинария 1	45.08499, 35.42210	-	-	10
7	Водоем у дельфинария 2	45.08534, 35.42211	-	-	15
8	Ставок, р. Байбуга	45.06078, 35.35275	7,32	2058	-

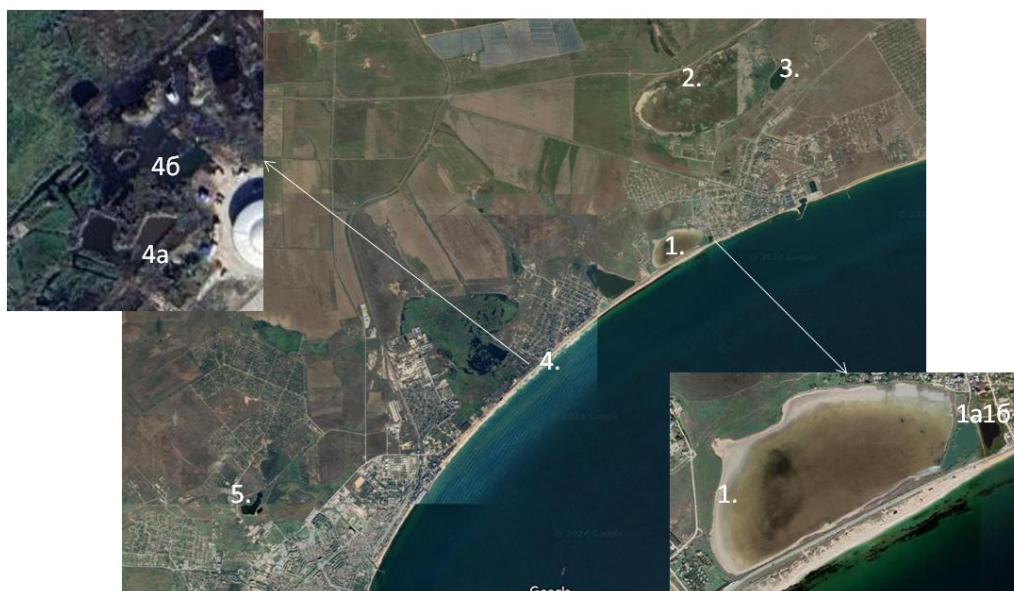


Рисунок 2.1. Карта отбора проб. 1. Оз. Аджиголь (1а, 1б - отгороженные пресноводные участки озера), 2. Озеро Камышовый луг, 3. Отстойник у Очистных, п. Приморский, 4. Водоемы у дельфинария "Немо", п. Береговое, 5. Ставок, р. Байбуга.



Рисунок 2.2. Места отбора проб А. – пруд у шз. Аджиголь, Б. – Озеро Камышовый луг, В. – Отстойник у Очистных, п. Приморский, Г. – Водоемы у дельфинария "Немо", п. Береговое

2.2. Микроскопия и культивирование

Клетки водорослей наблюдали и фотографировали с использованием инвертированного микроскопа NIB-100 (Китай), программное обеспечение для фотофиксации и измерения клеток – Motic Images Plus 3.0. Численность клеток микроводорослей, тыс. кл./см³, подсчитывали в поле зрения микроскопа с известной площадью под световым микроскопом Nib-100 (Китай) при увеличении $\times 600$. Отдельные клетки изолировались в культуру микропипеточным способом. Скрещивание проводили в чашках Петри диаметром 5 см. Результаты оценивали на 2–6 сутки после скрещивания.

2.3. Приготовление питательной среды для культивирования

Среду для культивирования диатомовых водорослей готовили на основе дистиллированной воды из химически чистых солей, добавляемых в последовательности, которая указана в рецепте (приложение А.). На следующий день после приготовления среду разливали в стеклянные, плотно закрывающиеся ёмкости и стерилизуют, последовательно три дня подряд нагревая в водяной бане до температуры 62–64 °С, а затем охлаждая. Метод известен как тиндализация. На третий день среда, остывшая до комнатной

температуры, готова к применению. Стерилизованная указанным способом среда может храниться в течение нескольких месяцев (Полякова и др., 2018).

2.4. Индекс сапробности по Пантле и Букк

Индекс сапробности по Пантле и Букк для участка водоема высчитывается по формуле:

$$S = \sum_{i=1}^N s_i \cdot h_i$$

- h – частота встречаемости видов – индикаторов,
- s – индивидуальная степень сапробности.

Обилие h может оцениваться различным образом, часто используют численность каждого вида; при отсутствии точных данных по численности обилие оценивают в баллах по 5-, 7- или 9-балльной шкале (например: единичные находки – 1 балл, частые встречи – 3 балла, массовое развитие –

5 баллов). При наличии в пробе 10 и более индикаторных видов метод оценки h обычно не играет существенной роли.

Согласно ГОСТ 17.1.3.07-82 могут выделяться следующие градации индекса сапробности с привязкой к степени загрязненности воды:

- <1 – ксеносапробная зона, «очень чистая»;
- 1,0–1,5 – олигосапробная зона, «чистая»;
- 1,51–2,5 – β -мезосапробная зона, «умеренно загрязнённая»;
- 2,51–3,5 – α -мезосапробная зона, «загрязнённая»;
- 3,51–4,0 – полисапробная зона, «грязная»;
- >4 – гиперсапробная зона, «очень грязная»

Для расчетов среднего арифметического значения численности, расчета темпа деления клеток и построения графиков использовали программу Microsoft Excel.

ГЛАВА 3. РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЯ

3.1. Состав фитопланктона соленых водоемов г. Феодосии

Озеро Аджиголь. Загадочное явление красного «цветения» рапы солёных водоёмов было известно задолго до 1905 г., когда первый представитель рода *Dunaliella* – *Dunaliella salina* был описан Теодореску. К настоящему моменту род *Dunaliella* широко известен благодаря галобным, и прежде всего, гипергалобным видам, развивающимся в солёных водоёмах всего мира в массовых количествах. Характерно такое явление в настоящее время и для гиперсоленого озера Аджиголь. В период августа-сентября 2024 г. в пробах рапы нами была обнаружена *D. salina* и в зеленой, и в оранжевой, богатой каротиноидами, формах. После дождей и при распреснении пробы в культуре преобладала "зеленая" форма, при сильном пересыхании озера и его солености более 200 ‰ - оранжево-красные цисты, переживающие неблагоприятные условия (Рис.3.1.). Количество клеток *D. salina* составляло от 10 до 20 тыс. клеток на см³, что ниже чем в других соленых озерах Крыма (Гудвилевич, 2010).

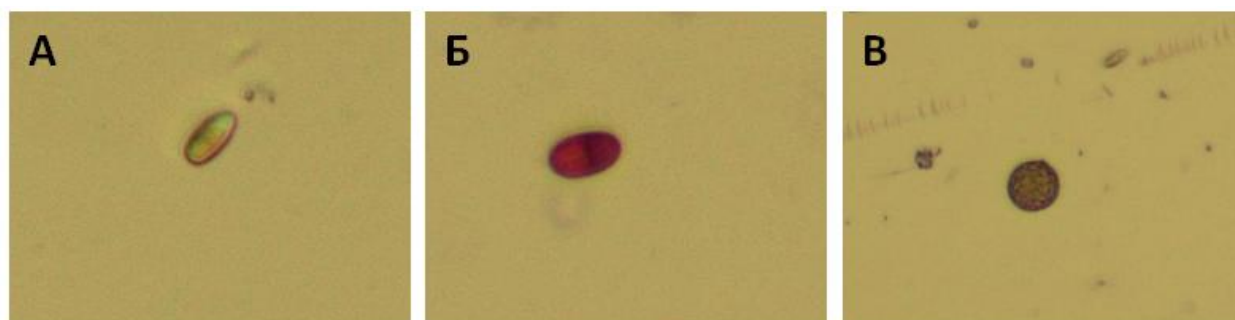


Рисунок 3.1. А - *Dunaliella salina* оз Аджиголь в зеленой, подвижной форме, Б - циста *Dunaliella salina*, В - *Chlorella* cf. *vulgaris*

Кроме это, в озере встречались клетки, похожие по морфологии на *Chlorella vulgaris*, количество которой возрастало с уменьшением солености водоема. В норме в гиперсоленых озерах Крыма *Dunaliella salina* может составлять монокультуру, так практически не имеет конкурентов. Мы предполагаем, что такие клетки попадают в соленую часть озера из отгороженных загрязненных пресных водоемов. Несмотря на то, что *Chlorella vulgaris* пресноводная, эксперименты с культурами показали, что в соленой среде она теряет свою активность, но может сохранять жизнеспособность (Алябьев и др., 2020).

В пробах, отобранных в водоемах с соленостью 15-20 ‰ были встречены представители разных групп водорослей (Таблица 3.1). Из интересных находок, которые были выделены в культуру хочется отметить представителей криптофитовых водорослей и рода *Nitzschia*, относящихся к диатомовым водорослей (Приложение Д). Привлекло внимание большое количество криптофитовых водорослей в озере Камышовый луг и большое

количество *Nitzschia cf. thermaloides*, которая отмечена в грязевых вулканах керченского полуострова и переносит высокие уровни температуры и инсоляции. В момент отбора проб озеро было очень неглубоким. так же привлекло внимание достаточно больше количество эвгленовых водорослей, которое в норме не характерно для соленых водоемов. Возможно это связано с распреснением в сезон дождей. Также большое количество криптофитовых и эвгленовых водорослей может быть индикатором превышения концентрации органических веществ, так они способны переходить на гетеротрофное питание.

Таблица. 3.1. Альгофлора соленых водоемов Феодосии

Таксономическая группа, количество видов	Озеро Камышовый луг	Водоем у дельфинария 1	Водоем у дельфинария 2	Всего
Cyanoprocarota	2	2	1	3
Bacillariophyta	7	12	19	26
Dinophyta	0	0	1	1
Euglenophyta	4	1	0	5
Chlorophyta	4	2	1	4
Cryptophyta	4	2	2	5

Если говорить о водоемах в поселке Береговое у дельфинария, были сообщения в прессе о том, что дельфинарий был оштрафован за сброс вод в окружающую среду. Состав альгофлоры изученных водоемов (Приложение Д) был похож, но в пруде, который расположен дальше от дельфинария большее разнообразие диатомовых водорослей и меньше встречаются зеленые и сине-зеленые водоросли.

3.2. Фитопланктон пресноводных водоемов г. Феодосии

В нашем исследовании изначально большее внимание было уделено изучению флоры водоемов, которые образовались путем отсыпки дамбы у озера Аджиголь (Приложение В). Многие дома частного сектора, так называемого 3-го участка пгт. Приморский, которые в восточной части озера вплотную примыкают к нему, не имели и не имеют подключения к цивилизованной канализации и с 90-х годов с развитием курортного бизнеса стали усиленно сливать нечистоты в озеро Аджиголь. А тут тебе пошло строительство частных коттеджей и пансионатов новыми хозяевами жизни. Одним из таких представителей некто, кто отгородился дамбой в восточной части озера (т.е. одна десятая часть озера стала автономным канализационным отстойником). Заодно прекратилось и без того смешное сообщение с Феодосийским заливом, с морем. Ранее доступ морской воды был постоянным (Приложение Г) Зато образовался кратчайший проход к

мору. Озеро начало опресняться, улетели птиц. Затем бизнесменом была отсыпана еще одна дамба, в получившиеся пруды была запущена рыба, но... сток нечистот с частного сектора и гостиниц не прекратился. Схемы стока нечистот в озеро в приложении Б. Вода в отгороженных дамбами прудах имеет насыщенный зеленый цвет и неприятный запах, тем не менее вылов рыбы происходит.

Таблица 3.2. Таксономический состав альгофлоры планктона пресноводных водотоков г. Феодосии

Таксономическая группа, число видов	Озеро Аджиголь 1	Озеро Аджиголь 2	Отстойник у очистных, Приморский	Ставок, река Байбуга
Cyanoprocarvota	7	8	2	4
Bacillariophyta	5	2	1	23
Dinophyta	0	0	0	1
Euglenophyta	5	3	1	1
Chlorophyta	8	7	3	3
Cryptophyta	0	0	1	2
Desmidiáles	0	0	1	3

Ведущую роль в формировании автотрофного планктона исследованных водотоков играют, зеленые и сине-зеленые водоросли. (Приложение Е). Одним из ведущих порядков отдела Chlorophyta по числу представителей был порядок Chlorococcales (6). Цианопрокариоты были представлены одним классом (Cyanophyceae), 8 родами и около 20 видами видами и внутривидовыми таксонами. Довольно часто встречались представители родов *Oscillatoria*, *Microcystis* и *Anaebena*, которые, как известно, предпочитают воды, загрязненные органическими веществами. Несмотря на относительно небольшое разнообразие по числу видов, по количеству клеток зеленые и сине-зеленые водоросли занимают подавляюще лидирующие позиции в прудах оз. Аджиголь. Во втором, ранее отделенном от Аджиголя, пруду отмечены в достаточно большом количестве представители рода *Desmodesmus*. Эти зеленые водоросли интересны тем, что сейчас активно изучаются для использования в очистке вод. В первом в нашем исследовании, но отделенном позднее, пруде встречаются представители рода *Monoraphidium* и *Coelastrum*. Из диатомовых водорослей хочется отметить большое количество клеток *Cyclotella* sp. во втором водоеме и присутствие *Nitzschia* sp. и *Halammphora* sp. в обоих водоемах.

Хочется отметить факт большого количества эвгленовых водорослей в обоих прудах. Эвгленовые водоросли являются хорошими индикаторами степени загрязнения водоёмов, их изучение необходимо для оценки эвтрофности мест их обитания. Нам встретились представители родов *Discoplastis* R. E. Triemer, *Euglena* Ehrenberg, *Monomorphina* Mereschkowsky

(Клетки представи телей рода жесткие, грушевидной формы. Для видов характерно наличие заметных прозрачных килей на пелликуле, продолжающихся в выраженный хвостовой отросток), а также единично *Trachelomonas* Ehrenberg (Род представлен метаболическими эвгленоподобными клетками, заключенными в минерализованный панцирь (домик) с порой на передней его части, через которую выходит двигательный жгутик).

Для альгофлоры изучаемых участков характерно преобладание космополитных форм, при значительной доле бореальных видов.

Стало интересным посмотреть альгофлору и других пресноводных водоемов Феодосии. Для сравнения мы выбрали пруд-отстойник около очистных сооружений п. Примоский, расположенный рядом с Камышовым лугом. Увидев при отборе проб желто-зеленый цвет вода (рис.2.2.),мы ожидали увидеть картину, схожую с прудами у озера Аджиголь, говорящую о стойком органическом загрязнении водоема, который также местные жители облюбовали для отдыха и рыбалки. Однако под микроскопом мы обнаружили обильное "цветение" представителя десмидиевых водорослей *Closterium* sp. (Рис. 3.2.) Мы изолировали этот вид в культуру для проведения молекулярно-генетических исследований и определения вида, и проведения экспериментов. Некоторые виды рода *Closterium* предпочитают богатые органикой, эвтрофные и мезотрофные водоемы.

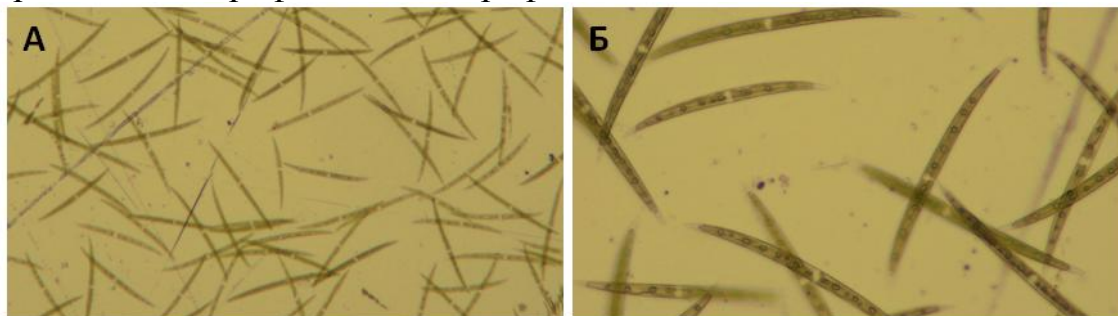


Рисунок 3.2. *Closterium* sp. в озере у очистных сооружений, природная проба. А - при увеличении микроскопа x100, Б - при увеличении x200.

Для сравнения мы также отобрали плактонные пробы в ставке, образованном рекой Байбуга. Ставок находится за пределами городской застройки (рис.2.1., 2.2), относится, в отличие от других изученных нами, к водоемам открытого типа. Фитопланктон ставка богат представителями диатомовых водорослей, относящихся к ксеносапробам, то есть индикаторам чистых вод (Приложение Ж). Из интересных видов можно отметить *Cymbella affinis* Kützing, *Navicula cryptocephala* Kützing, *Pinnularia viridis* (Nitzsch) Ehrenberg, *Achnanthisidium minutissimum* (Kütz.) Czarn, *Amphora pediculus* (Kütz.) Grunow. Наибольший вклад во флористическом многообразии диатомовых составляют рода: *Nitzschia* – 5 видов, *Navicula* – 4 видов, *Pinnularia* – 4 вида, *Amphora* – 2 вида, *Cymbella* – 2 вида, *Surirella* – 2 вида. Представитель рода *Pleurosigma* (1 вид) был одним из ведущих по частоте встречаемости клеток.

Из десмидиевых водорослей нами было отмечено два представителя рода *Closterium*, два представителя рода *Cosmarium* и единично один вид *Micrasterias*. Наиболее часто встречаемыми цианобактериями были представители рода *Oscillatoria*. Единичные одноклеточные зеленые водоросли скорее всего относятся к роду *Chlorella*.

3.3. Влияние солености на рост двух видов микроводорослей

Условия среды могут быть экстремальными в районе заказника «Камышовый луг», прежде всего, это касается солености, которая варьирует от 18 до порядка 40-50‰ в зависимости от времени года и количества осадков, а также крайне высоких уровней инсоляции и жесткого ультрафиолетового излучения. Интерес представляет изучение некоторых характеристик водорослей, способной обитать в этих условиях. В этих условиях отдельные виды диатомовых, в частности, *Nitzschia cf. thermaloides*, и криптофитовых водорослей (*Rhodomonas sp.*) способны развиваться в массовом количестве (Рябушко, Бондаренко, 2020).

Клоны диатомовой водоросли *Nitzschia cf. thermaloides* продемонстрировали широкую толерантность к изменению солености (рис. 3.3.). Клоны, участвовавшие в эксперименте, интенсивно делились в среде Dm, предназначенной для пресноводных видов, при этом сохраняя жизнеспособность в воде с соленостью до 60 ‰. Оптимальный уровень солености при этом находился вблизи 22–24 *Rhodomonas sp.*. При солености более 60 ‰ происходило разрушение хлоропластов с последующей гибелью клеток.

У *Rhodomonas sp.* наблюдали похожую картину, однако криптофитовая водоросль была не способна жить в пресноводной среде, ее клетки двигались и делились в среде с соленостью 5 – 50 ‰. *Rhodomonas sp.* оказалась менее приспособленной к изменению условий среды, чем *Nitzschia cf. thermaloides*.

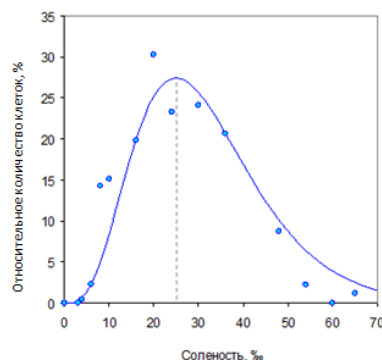


Рисунок 3.3. Темп деления клеток *Nitzschia cf. thermaloides*, помещенной в среду с разными уровнями солености

3.4. Половое воспроизведение *Nitzschia cf. thermaloides*

Обнаружив в пробах из водоема «Камышовый луг» клетки, похожие на *Nitzschia thermaloides*, мы выделили их в культуру и попробовали получить половое воспроизведение, чтобы скрестить с уже морфологически и генетически определенными клонами *Nitzschia cf. thermaloides* (Давидович и др., 2023). Через 3-4 дня после смешивания различных клонов мы получили гаметогенез, затем и ауксоспоры, которые дали жизнеспособные инициальные клетки. Половому процессу у *N. cf. thermaloides* предшествует объединение родительских клеток в пары. По окончании формирования гаметы попарно сливались в результате образовывались две зиготы, которые удлиняясь, образовывали ауксоспоры (рис. 3.4.). Длина инициальных клеток составила 61-74 мкм, родительских – 32-37 мкм.

Согласно биологической концепции вида, мы можем сделать вывод о том, что популяции *Nitzschia*, обитающие на Камышовом лугу и на грязевых вулканах Керченского полуострова, относятся к одному виду - *Nitzschia cf. thermaloides*.

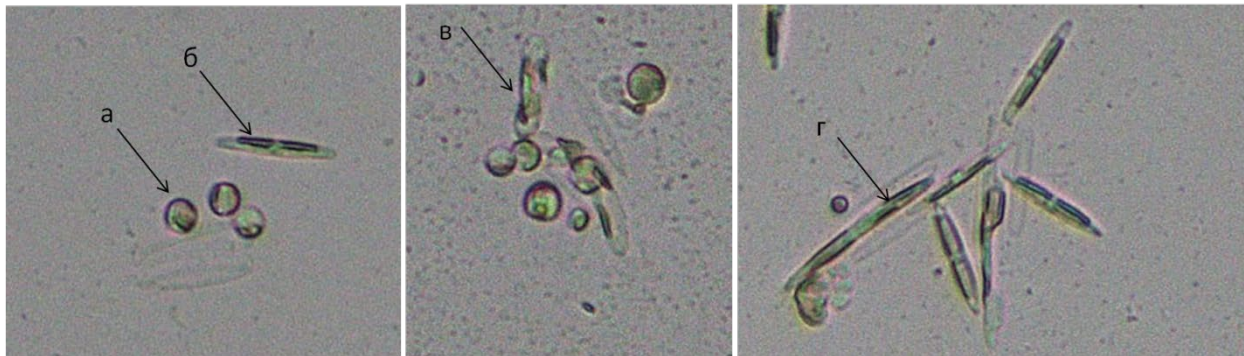


Рисунок 3.4. Половое воспроизведение *Nitzschia cf. thermaloides*. а – гаметы; б – гаметангии; в – ауксоспоры; г – инициальные клетки.

3.5. Оценка экологического состояния пресноводных водоемов

Качество или степень органического загрязнения воды оценивали по Индексу сапробности по Пантле и Букка и по видам – индикаторам сапробности. Согласно полученным данным наиболее загрязненными являются пруды, отгороженные от озера Аджиголь, который можно по индексу отнести к полисапробной зоне со стойким органическим загрязнением. Ставок образованный рекой Байбуга можно отнести к умеренно-загрязненной зоне. Чистых водоемов в нашем исследовании выявлено не было.

Диаграмма индексов сапробности



Большинство видов в прудах у озера Аджиголь представлены поли- и α -мезосапробными формами. Это представители родов *Oscillatoria*, *Microcystis*, *Chlorella*, *Chlamidomonas*, *Coelastrum*, *Desmodesmus*, *Euglena*, *Monomorphina*, *Cyclotella*, *Nitzschia*. *Closterium* sp. в отстойнике очистных сооружений вероятнее всего является индикатором мезосапробной зоны. Тогда как в ставке реки Байбуга в основном были отмечены α - и β -мезосапробы и небольшое количество индикаторов чистых вод - ксеносапробов.

ВЫВОДЫ

1. Проведено изучение биоразнообразия микроводорослей некоторых пресноводных и соленых водоемов города Феодосии.

2. Отмечено наличие интересных видов диатомовых, десмидиевых и криптофитовых водорослей, их клетки изолированы в культуру для проведения молекулярно-генетических исследований, изучение биологии и проведения экспериментов.

3. С помощью репродуктивной биологии и биологической концепции вида установлено, что морфологически схожие представители рода *Nitzschia*, обитающие в водоеме «Камышовый луг» и на грязевых вулканах Булганакского грязевого поля способны скрещиваться между собой и относятся к одному виду – *Nitzschia cf. thermaloides*.

4. Показанная широкая галотолерантность диатомовой водоросли *Nitzschia cf. thermaloides* и криптофитовой водоросли *Rhodomonas* sp., обитающих в водоеме "Камышовый луг", позволяет им достигать большого развития в условиях изменения солености в разное время года.

5. Отсыпка двух дамб от гиперсоленого озера Аджиголь, с одной стороны, прекратив доступ канализации в само озеро, способствует его восстановлению, повышению солености, появлению розовой, богатой каротиноидами зеленой водоросли *Dunaliella salina*, соли. С другой стороны привело к появлению двух пресноводных прудов, в которые продолжается слив канализации от частного сектора, о чем свидетельствуют данные альгоиндикации: оба пруда можно отнести к полисапробным грязным водоемам, в которых преобладают зеленые, сине-зеленые и эвгленовые водоросли. Рыба, которую местные жители вылавливают в данных водоемах непригодная для употребления в пищу, так как может содержать множество токсинов.

6. Планктон озера-отстойника у очистных сооружений п. Приморский содержат практически природную монокультуру *Closterium* sp., что может быть признаком мезотрофности водоема.

7. В планктоне ставка, образованного рекой Байбуга за пределами городской застройки, преобладают виды диатомовых и десмидиевых водорослей, по которым можно судить об умеренной загрязненности водоема, чему способствует его "открытый" тип.

8. В соленых прибрежных водоемах п. Береговое и озере Камышовый луг обитают виды, обитающие и в пресноводных, и в морских экосистемах.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Перспективы дальнейшей работы по данной теме включают в себя расширение географии водоемов, изучение разнообразия микроводорослей в разные сезоны года, определение видовой принадлежности с помощью молекулярно-генетических и морфологических методов.

Выражаем благодарность коллективу лаборатории водорослей и микробиоты Карадагской научной станции им. В.И. Вяземского - природного заповедника РАН - филиала ФГБУН ФИЦ "Институт биологии южных морей им. А.О. Ковалевского РАН" за всестороннюю помощь и поддержку при выполнении работы; общественному деятелю, хранителю истории поселка Приморский Михаилу Аркадьевичу Облётову за предоставленные архивные материалы по истории и застройке озера Аджиголь.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алябьев А.Ю., Андреева И.Н., Пономарева А.А., Сальников В.В., Суслов М.А. Влияние умеренного гиперосмотического стресса на ультраструктуру и показатели энергетического метаболизма *Chlorella vulgaris* (Chlorophyta) // Биология внутренних вод. – 2020. – № 4. – С. 382-391.
2. Барина С.С., Белоус Е.П., Царенко П.М. Альгоиндикация Биоиндикация и биотестирование в пресноводных экосистемах: учебное пособие для высших учебных заведений. – СПб.: РГГМУ, 2019. – 140 с.
3. Водоросли: Эвгленовые, диатомовые, бурые, золотистые, желто-зеленые, криптофитовые и динофитовые : учеб.-метод. пособие / А. Г. Пауков, А. Ю. Тептина, Н. А. Кутлунина, А. С. Шахматов, Е. В. Павловский ; [под общ. ред. А. Г. Паукова] ; М-во образования и науки Рос. Федерации, Урал. федер. ун-т. — Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2018. — 224 с.
4. Водоросли-индикаторы в оценке качества окружающей среды. Часть I. Барина С.С. Методические аспекты анализа биологического разнообразия водорослей. Часть II. Барина С.С., Медведева Л.А., Анисимова О.В. Экологические и географические характеристики водорослей-индикаторов. М.: ВНИИприроды. 2000. - 150 с
5. Горбулин О. С., Костенко Д. В. Водоросли прудов горного Крыма // Ученые записки Таврического национального университета им. В. И. Вернадского, Серия «Биология». – 2001. – Т. 14, № 1. – С. 55–57.
6. Гудвилевич И.Н. *Dunaliella salina* солёных водоёмов западной части Крыма // Геополитика и экогеодинамика регионов. – 2010. – Вып.1. – С. 44-48
7. Давидович Н. А., Давидович О. И., Подунай Ю. А. Биология воспроизведения и жизненный цикл диатомовой водоросли *Nitzschia cf. thermaloides*, населяющей грязевые вулканы Крыма // Морской биологический журнал. 2023. Т. 8, № 2. С. 42-54.
8. Котова И. К., Котов С.Р., Е. П. Каюкова, Мордухай-Болтовская Л. В. Влияние геологических и антропогенных факторов на состав пелоидов современных соляных озер // Вестник СПбГУ. Науки о Земле. – 2017. – Т. 62. Вып. 2 . – С. 177-191.
9. Майданевич Ю.П., Рединская М.В. Проблемы и перспективы развития бальнеокурортов в юго-восточной части Крыма // Сборник трудов V Научно-практической конференции профессорско-преподавательского состава, аспирантов, студентов и молодых ученых «Дни науки крымского федерального университета им. В.И. Вернадского», Симферополь, 30 октября – 1 ноября 2019 г. [Электронный ресурс]. – Электрон. дан. – Крымский федерал. ун-т им. В.И. Вернадского, 2019. – Режим доступа: https://science-days.cfuv.ru/sites/default/files/2019-12/PROCEEDING_2019.pdf

10. Методы оценки качества вод по гидробиологическим показателям: учебно-методическая разработка по курсу «Гидробиология»; сост.: О.Ю. Деревенская. – Казань: КФУ, 2015. – 44 с.
11. Пасынков А.А., Соцкова Л.М., Чабан В.И. Экологические проблемы сохранения и использования бальнеологических ресурсов соленых озер крыма // Ученые записки Таврического национального университета имени В. И. Вернадского Серия «География». 2014. – Том 27 (66), № 2. – С. 97–117.
12. Позаченюк Е.А., Лукьянова М.Ю. Водохозяйственный комплекс территории большая Феодосия, как основа устойчивого развития региона // Геополитика и экогеодинамика регионов. – 2013. – Т.9, №2-1. – С. 148–159.
13. Рябушко Л. И., Бондаренко А. В. Микроводоросли грязевого вулкана Булганакского сопочного поля Крымского полуострова // Морской биологический журнал. 2020. Т. 5, № 1. С. 64-77.
14. Филиппов А.С. Альгоиндикация экологического состояния водотоков г. Твери Вестник ТвГУ. Серия "Биология и экология". – 2014. – № 3. – С. 115-122.
- 15.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение А. Состав среды ESAW.

Компонент	Запасной раствор (г·л ⁻¹ dH ₂ O)	Используемое количество, г*	Концентрация в конечной среде (М)
Раствор солей № 1: безводные соли			
NaCl	—	21,194	3,63 x 10 ⁻¹
Na ₂ SO ₄	—	3,550	2,50 x 10 ⁻²
KCl	—	0,599	8,03 x 10 ⁻³
NaHCO ₃	—	0,174	2,07 x 10 ⁻³
KBr	—	0,0863	7,25 x 10 ⁻⁴
H ₃ BO ₃	—	0,0230	3,72 x 10 ⁻⁴
NaF	—	0,0028	6,67 x 10 ⁻⁵
Раствор солей № 2: гидратированные соли			
MgCl ₂ · 6H ₂ O	—	9,592	4,71 x 10 ⁻²
CaCl ₂ · 2H ₂ O	—	1,344	9,14 x 10 ⁻³
SrCl ₂ · 6H ₂ O	—	0,0218	8,18 x 10 ⁻⁵
Главные биогенные элементы:			
NaNO ₃	46,670	0,8 мл	5,49 x 10 ⁻⁴
NaH ₂ PO ₄ · H ₂ O	3,094	0,8 мл	2,24 x 10 ⁻⁵
Na ₂ SiO ₃ · 9H ₂ O	15,000	2 мл	1,06 x 10 ⁻⁴
Na ₂ EDTA · 2H ₂ O	2,44 мг/л	1 мл	6,56 x 10 ⁻⁶
FeCl ₃ · 6H ₂ O	1,77	1 мл	6,55 x 10 ⁻⁶

Растворы витаминов:

Суанособаламин (витамин B12)	0,005	4 мл	1,48 x 10 ⁻⁸
Thiamine HCl (витамин B1)	0	2 мл	2,96 x 10 ⁻⁶

Приложение Б.

Источники бытовых и канализационных стоков в озеро Аджиголь. Стрелками отмечены направления движения дренажных и сточных вод (по материалам, переданным М. Облетовым).



Приложение В.
Отсыпка дамбы на озере Аджиголь (по материалам, переданным М. Облетовым)

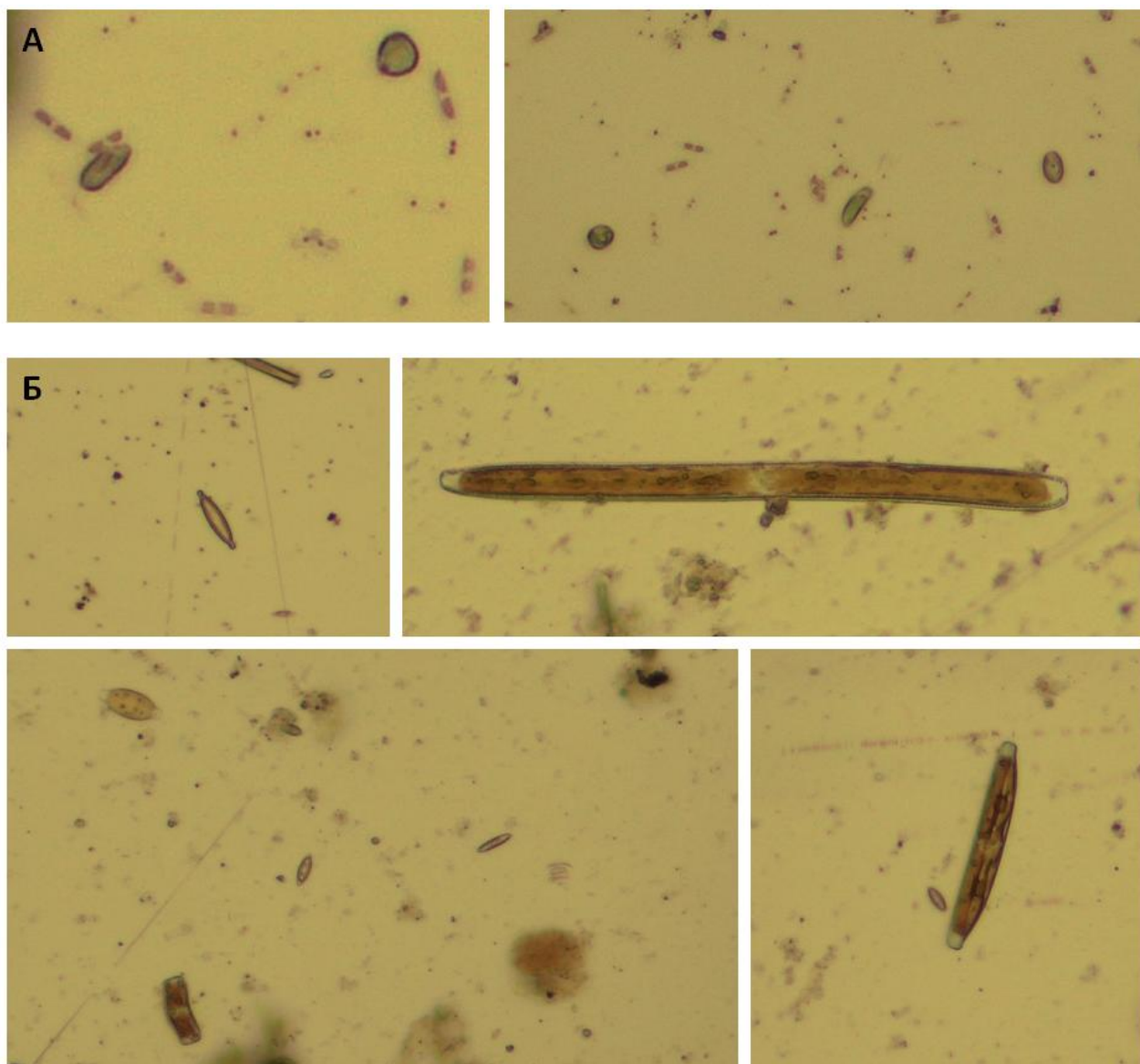


Приложение Г.

Каналы, обеспечивающие попадание морской воды в озеро Аджиголь (фото из архива М. Облетова)



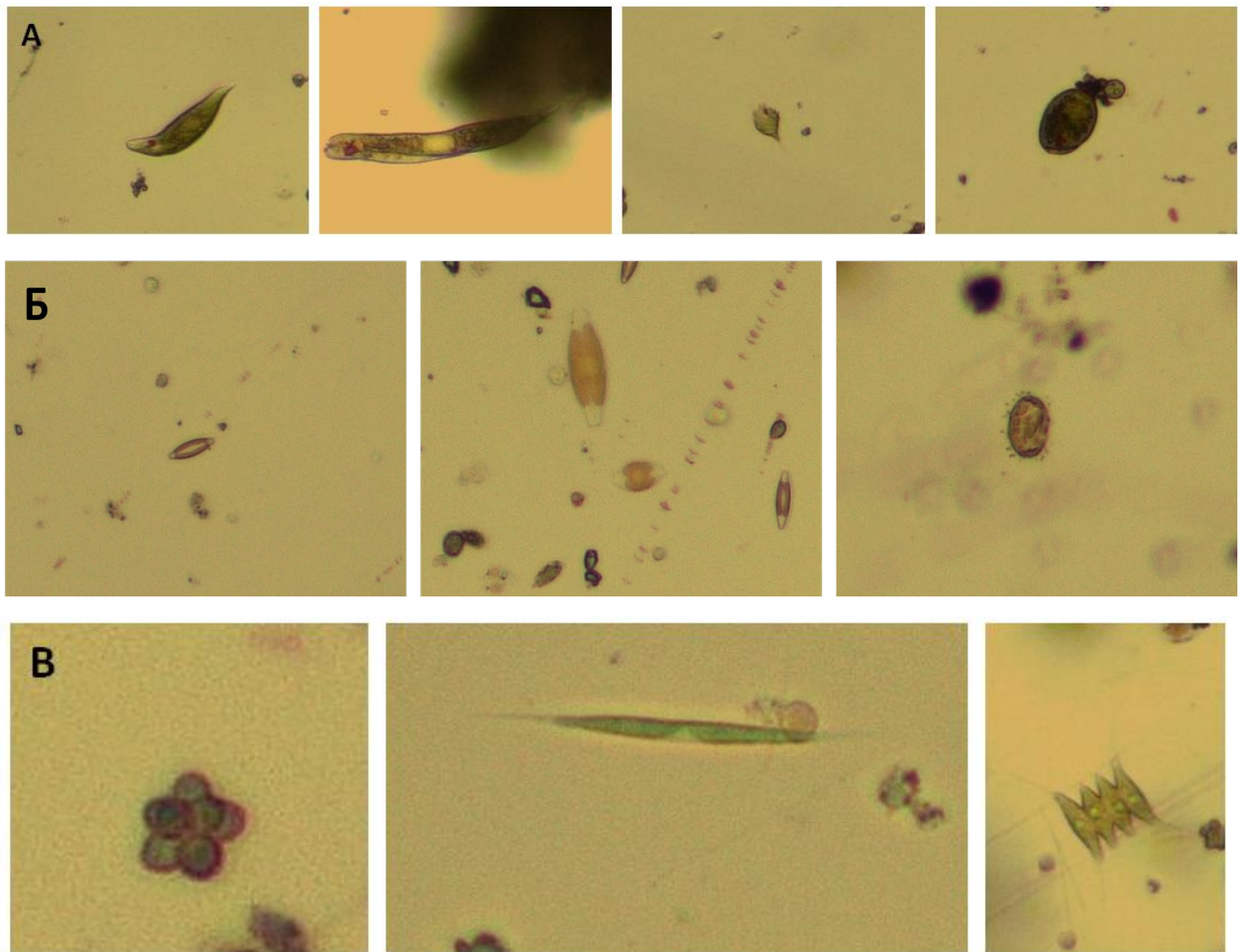
Приложение Д.
Водоросли соленых водоемов



А - водоросли озера "Камышовый луг" при разном увеличении, Б - разнообразие диатомовых водорослей у п. Береговое (x100).

Приложение Е.

Микроводоросли прудов у оз. Аджиголь



А - эвгленовые водоросли, Б - диатомовые водоросли, В - зеленые водоросли.

Приложение Ж.
Водоросли реки Байбуга

