

**ВСЕРОССИЙСКИЙ КОНКУРС НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ,  
ПРОЕКТНЫХ И ТВОРЧЕСКИХ РАБОТ ОБУЧАЮЩИХСЯ  
«ОБРЕТЁННОЕ ПОКОЛЕНИЕ»**

---

**Направление: Биология**

**Тема:**

**Разнообразие микроводорослей некоторых водоемов окрестностей города  
Феодосии Республики Крым**

**Соискатель: Подунай Елизавета Алексеевна**, учащаяся 9-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»

**Место выполнения работы: ЦДО "Интеллект"**, лаборатория 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»

## Аннотация

В работе изучено видовое разнообразие некоторых внутренних водоемов окрестностей г. Феодосии (Республика Крым). Показано наличие интересных видов диатомовых, десмидиевых и криптофитовых водорослей, клетки отдельных видов изолированы в клоновые культуры. 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*. Показано, что широкая галотолерантность диатомовой водоросли *Nitzschia* cf. *thermaloides* и криптофитовой водоросли *Cryptomonas* sp., обитающих в водоеме "Камышовый луг", позволяет им достигать большого развития в условиях изменения солености в разное время года. В планктоне озера-отстойника у очистных сооружений п. Приморский отмечено цветение *Closterium* sp., что может быть признаком мезотрофности водоема. Гетеротрофная утилизация органических субстратов у водорослей является важной составляющей стратегии выживания, если уровень освещенности слишком низок для фотосинтеза или освещенность вообще отсутствует. Поэтому есть все основания говорить о том, что изученные нами штаммы *Closterium* cf. *cornu* в условиях темноты питаются гетеротрофно. Изученные особенности и место обитание *Closterium* cf. *cornu* дают основание предложить данный вид для использования в экспериментах по очистке бытовых и сельско-хозяйственных сточных вод. 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, это 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 выделяемые водорослями токсины.

## Содержание

Введение.....	4
Глава 1. Обзор литературы.....	6
1.1. Водоемы Феодосии .....	6
1.2. Оценка степени загрязнения вод .....	7
1.3. 1.3. Использование микроводорослей для очистки сточных вод.....	8
Глава 2. Материал и методы .....	9
2.1. Отбор проб.....	9
2.2. Микроскопия и культивирование.....	10
2.3. Приготовление питательной среды для культивирования.....	10
2.4. Индекс сапробности по Пантле и Букк.....	11
2.5. Выделение тотальной ДНК из клеток клоновой культуры представителей рода <i>Closterium</i> sp. ....	11
Глава 3. Результаты и обсуждения .....	12
3.1. Состав фитопланктона соленых водоемов г. Феодосии.....	12
3.2. Фитопланктон пресноводных водоемов г. Феодосии.....	14
3.3. Влияние солености на рост двух видов микроводорослей .....	18
3.4. Половое воспроизведение <i>Nitzschia</i> cf. <i>thermaloides</i> .....	19
3.5. Оценка экологического состояния пресноводных водоемов.....	19
3.6. Морфологические характеристики клоновых культур <i>Closterium</i> cf. <i>cornu</i> .....	20
3.7. Влияние некоторых экологических факторов на рост клоновых культур представителей рода <i>Closterium</i> .....	20
Выводы .....	23
Заключение .....	24
Список литературы .....	25
Приложения .....	27

## **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: Южнобережный восточный низкогорный овражно-балочный; Восточный низкогорный; Индольский низкогорный лесостепной; Индольский равнинный и Керченский юго-западный 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 км<sup>2</sup>. 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 Фронтковского 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.
7. Изучить возможность перехода на гетеротрофное питание видов рода *Closterium* для оценки возможности использования их для биологической очистки водоемов.

Теоретическая значимость. Получены новые сведения о видовом разнообразии микроводорослей водоемов окрестностей города Феодосии. Изучены особенности биологии *Closterium* cf. *cornu*, впервые представители десмидиевых водорослей предложены для биологической очистки сточных вод.

Практическая значимость. Получены клоновые культуры *Closterium* cf. *cornu*, которые могут быть использованы для очистки водоемов-накопителей очистных сооружений и биотехнологических процессов.

Научная новизна. Изучены микроводоросли некоторых пресноводных водоемов г. Феодосии. Впервые предложен представитель десмидиевых водоослей для очистки водоемов от сточных вод.

Личный вклад автора. Осуществлен отбор проб, выделение клонов и введение их в культуру, подобраны условия для содержания; проведены экспериментальные работы. Для молекулярно-генетических исследований выделена тотальная ДНК. Автор принимал непосредственное участие в обработке экспериментальных данных.

Апробация. Материалы работы доложены на V Конгрессе молодых ученых (Федеральная территория «Сириус») в рамках I Международного научного съезда школьников.

## 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 (рисунок 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 (рисунок 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 м<sup>3</sup>, что соответствует данным, приведенным в Каталоге грязевых месторождений СССР.

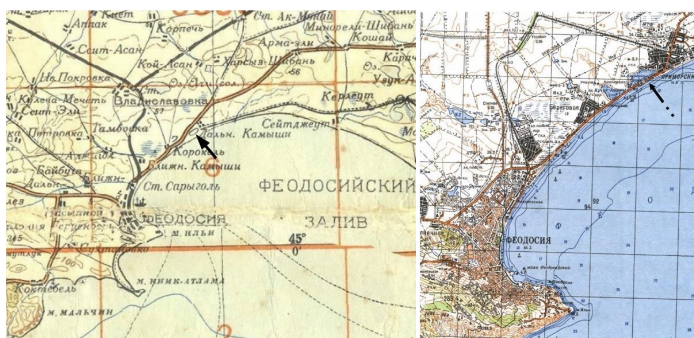


Рис. 1. Географическое положение озера Аджиголь (указано стрелкой): а) 1938 г., б) 1988 г.

*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. ВауБуѓа, Бай Бугъа) — река в Восточном Крыму, длина реки 20 км, площадь водосборного бассейна 111 км<sup>2</sup>, средний расход воды — 0,35 м<sup>3</sup>/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 реаэрации 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; СО<sub>2</sub> 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,  $\alpha$  - мезосапробов за 2,  $\beta$  - 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

### **1.3. 1.3. Использование микроводорослей для очистки сточных вод**

Очистка сточных вод – это комплекс мероприятий, позволяющих удалить из сточных вод загрязнения и патогенные микроорганизмы перед выпуском в водоёмы.

Биологическая очистка сточных вод основана на способности микроорганизмов использовать содержащиеся в сточных водах различные органические и неорганические соединения в качестве источника питательных веществ. Используют методы: 1) естественной биологической очистки (в биопрудах, на полях фильтрации и орошения); 2) искусственной биологической очистки (в очистных сооружениях).

Микроводоросли играют важную роль в процессах окончательной очистки городских сточных вод в прудах - накопителях, а также аэробных и анаэробно -аэробных накопителях. Они повышают эффективность изъятия из сточных вод биогенных элементов, тяжелых металлов, и устранения патогенной микрофлоры, выделяя  $O_2$ , необходимый гетеротрофным аэробным бактериям для минерализации органических загрязнителей, и утилизируя  $CO_2$ , выделяющийся при дыхании бактерий. В последних исследованиях показано, что микроводоросли способствуют аэробному разложению разнообразных опасных загрязнителей (Соловченко и др., 2011).

Рост водорослей и эффективность удаления питательных веществ (N и P) зависят от большого числа переменных, включая состав среды и условия окружающей среды, такие как начальная концентрация питательных веществ, интенсивность света, соотношение N/P, световой/темновой цикл и вид водорослей. Хотя в последнее время появилось большое количество исследований по снижению содержания питательных веществ с использованием фитобиореакторов, важно оптимизировать параметры культивирования (такие как состав среды) для достижения лучшего роста микроводорослей и высокого поглощения питательных веществ.

По сравнению с традиционными процессами очистки сточных вод, такими как активный ил, микроводоросли могут ассимилировать и преобразовывать органические загрязнители в клеточные компоненты, такие как липиды и углеводы. Таким образом, достигается снижение уровня загрязнителей экологически безопасным способом с потенциалом дальнейшего использования биомассы микроводорослей.

Водорослево-бактериальная биомасса, образовавшаяся при очистке стоков, может найти дальнейшее использование, пути которого разнообразны. Такая биомасса скорее всего окажется непригодной для производства пищевых продуктов, добавок и медикаментов из - за сложности ее очистки и обеспечения соответствия стандартам, а также психологического барьера. Использование такой биомассы в качестве органического удобрения возможно только при отсутствии в ней тяжелых металлов и устойчивых загрязнителей (Соловченко и др., 2011).

## 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 (рисунок 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 (рисунок 2.1., 1а, б).

Таблица 1. Места отбора проб

№	Водоем	Координаты	рН	Электропроводность, $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$	Соленость, ‰
1	Оз. Аджиголь	45.10858, 35.45909	-	-	350
2	Оз. Аджиголь1	45.11122, 35.47238	6,63	9800	-
3	Оз. Аджиголь2	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	-

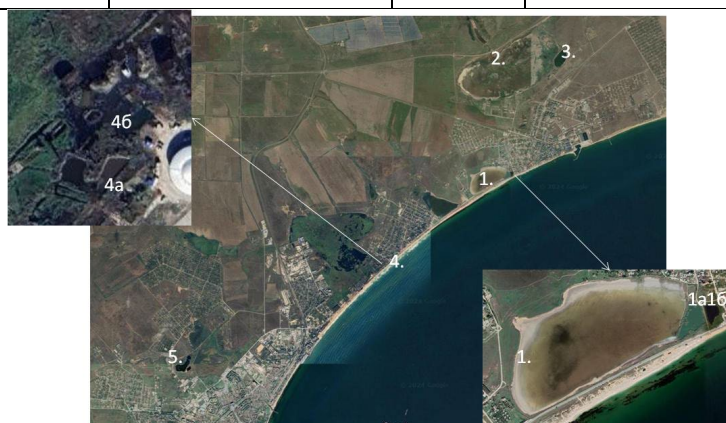


Рисунок 2.1. Карта отбора проб. 1. Оз. Аджиголь (1а, 1б - отгороженные пресноводные участки озера), 2. Озеро Камышовый луг, 3. Отстойник у Очистных, п. Приморский, 4. Водоемы у дельфинария "Немо", п. Береговое, 5. Ставок, р. Байбуга.



Рисунок 2.2. Места отбора проб А. – пруд у оз. 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 – MoticImagesPlus 3.0. Численность клеток микроводорослей, тыс. кл./см<sup>3</sup>, 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 –  $\beta$ -мезосапробная зона, «умеренно загрязнённая»;
- 2,51–3,5 –  $\alpha$ -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.

## 2.5. Выделение тотальной ДНК из клеток клоновой культуры представителей рода *Closterium* sp.

Тотальная ДНК была выделена из моноклоновых культур представителей рода *Closterium*, изолированных из проб, отобранных в водоемах г. Феодосии с помощью раствора для выделения ДНК InstaGene™ Matrix Bio-Rad (США), согласно методике производителя. ДНК заморозили и оправили в лабораторию почвенной зоологии и общей энтомологии Института проблем экологии и эволюции им А.Н. Северцова РАН для проведения амплификации фрагментов хлоропластного гена *gbcL* с помощью ПЦР и секвенирования.

## 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 (рисунок 3.1.). Количество клеток *D. salina* составлял от 10 до 20 тыс. клеток на см<sup>3</sup>, что ниже чем в других соленых озерах Крыма (Гудвилович, 2010).

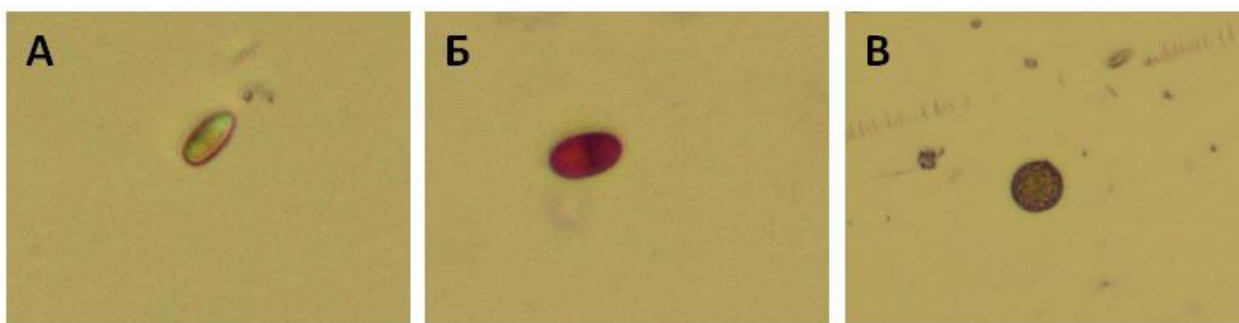


Рисунок 3.1. А - *Dunaliella salina* оз. Аджиголь в зеленой, подвижной форме, Б - циста *Dunaliella salina*, В - *Chlorella* cf. *vulgaris*

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 (рисунок 3.2.). Привлекло внимание большое количество криптофитовых водорослей в озере Камышинский 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 озера 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
Суанопrocaryota	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

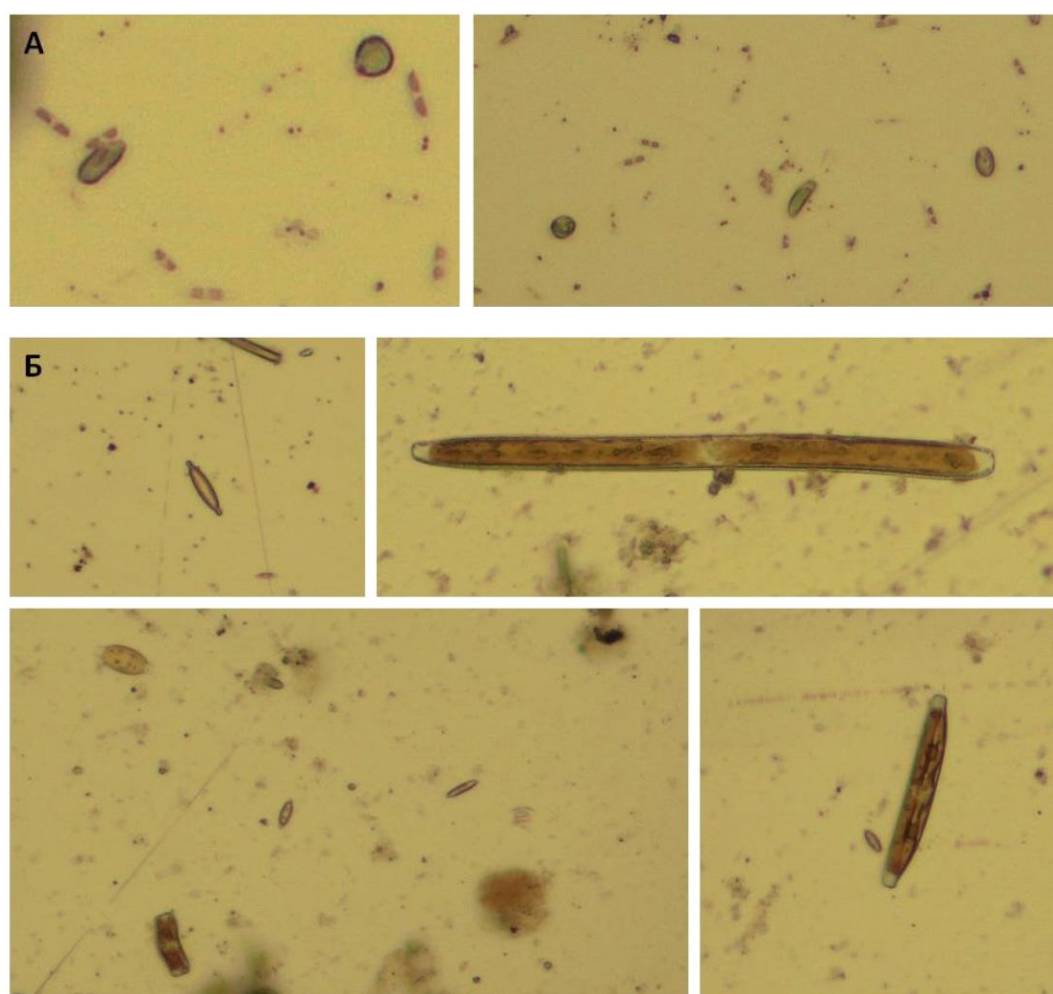


Рисунок 3.2. Водоросли соленых водоемов. А - водоросли озера "Камышовый луг" при разном увеличении, Б - разнообразие диатомовых водорослей у п. Береговое (x100).

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 (рисунок 3.2.) 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 морю. 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
Cyanoprocarota	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 (рисунок 3.3.). 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 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 *Halamphora* sp. в обоих водоемах.

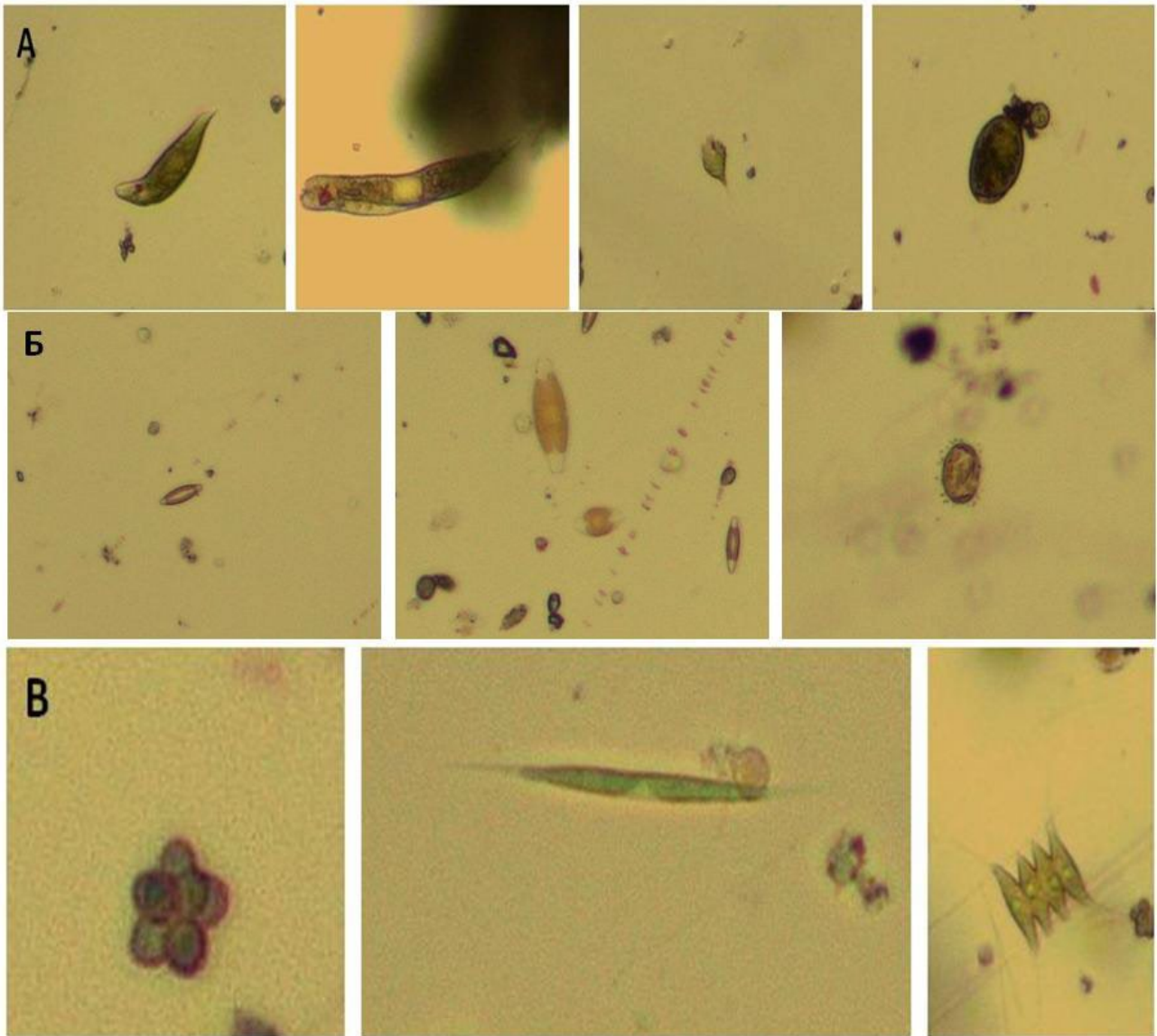


Рисунок 3.3. Микроводоросли прудов у оз. Аджиголь. А - эвгленовые водоросли, Б - диатомовые водоросли, В - зеленые водоросли.

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, *Monomorpha* Mereschkowsky (Клетки представителей 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. Приморский, расположенный рядом с Камышовым лугом. Увидев при отборе проб желто-зеленый цвет вода (рисунок 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. (рисунок 3.4.) 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.

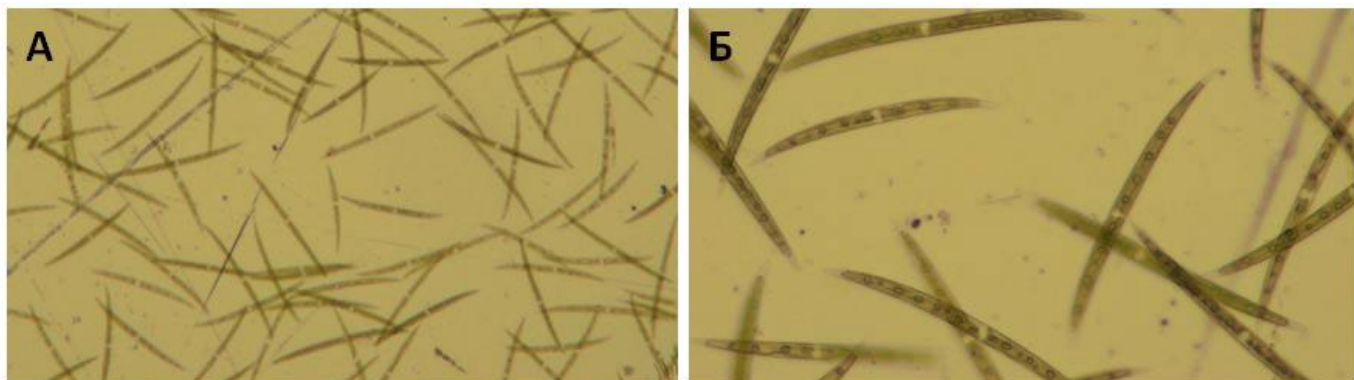


Рисунок 3.4. *Closterium* sp. в озере у очистных сооружений, природная проба. А - при увеличении микроскопа x100, Б - при увеличении x200.

Для сравнения мы также отобрали плактонные пробы в ставке, образованной рекой Байбуга. Ставок находится за пределами городской застройки (рисунок 2.1., 2.2), относится, в отличие от других изученных нами, к водоемам открытого типа. Фитопланктон ставки богат представителями диатомовых водорослей, относящихся к ксеносапробам, то есть индикаторам чистых вод (рисунок 3.5). Из интересных видов можно отметить *Cymbella affinis* Kützing, *Navicula cryptocephala* Kützing, *Pinnularia viridis* (Nitzsch) Ehrenberg, *Achnantheidium 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*.



Рисунок 3.5. Микроводоросли реки Байбуга

### 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 (*Cryptomonas* sp.) способны развиваться в массовом количестве (Рябушко, Бондаренко, 2020).

Клоны диатомовой водоросли *Nitzschia* cf. *thermaloides* продемонстрировали широкую толерантность к изменению солености (рисунок 3.6.). 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 *Cryptomonas* sp. При солености более 60 ‰ происходило разрушение хлоропластов с последующей гибелью клеток.

У *Cryptomonas* 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 ‰. *Cryptomonas* sp. оказалась менее приспособленной к изменению условий среды, чем *Nitzschia* cf. *thermaloides*.

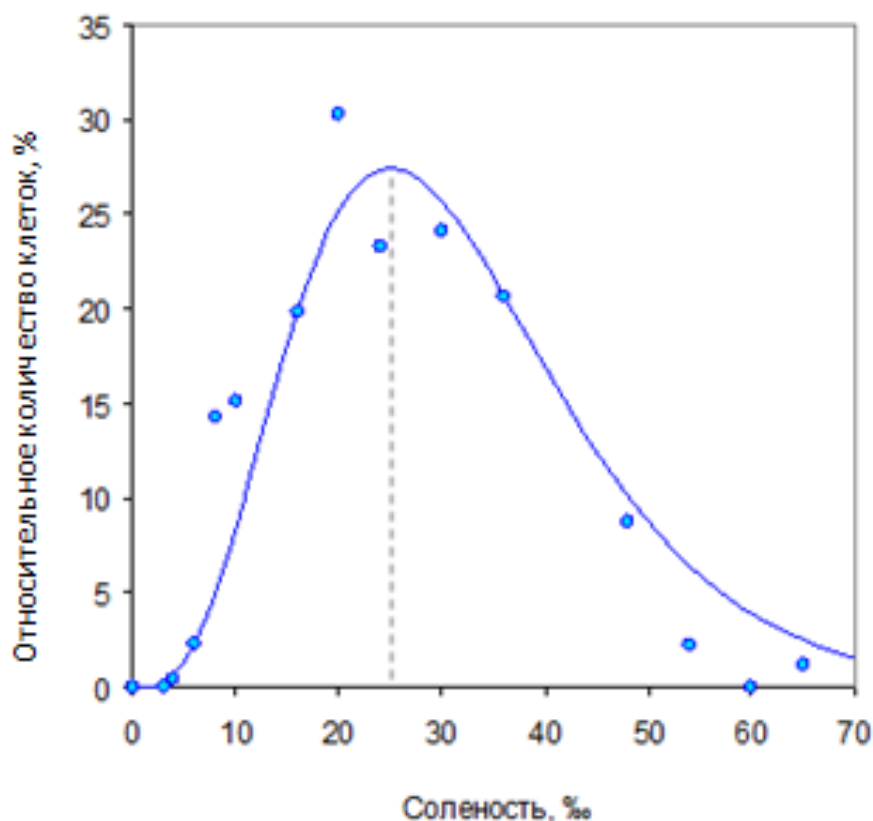


Рисунок 3.6. Темп деления клеток *Nitzschia* cf. *thermaloides*, помещенной в среду с разными уровнями солености

### 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 (рисунок 3.7.). 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*.

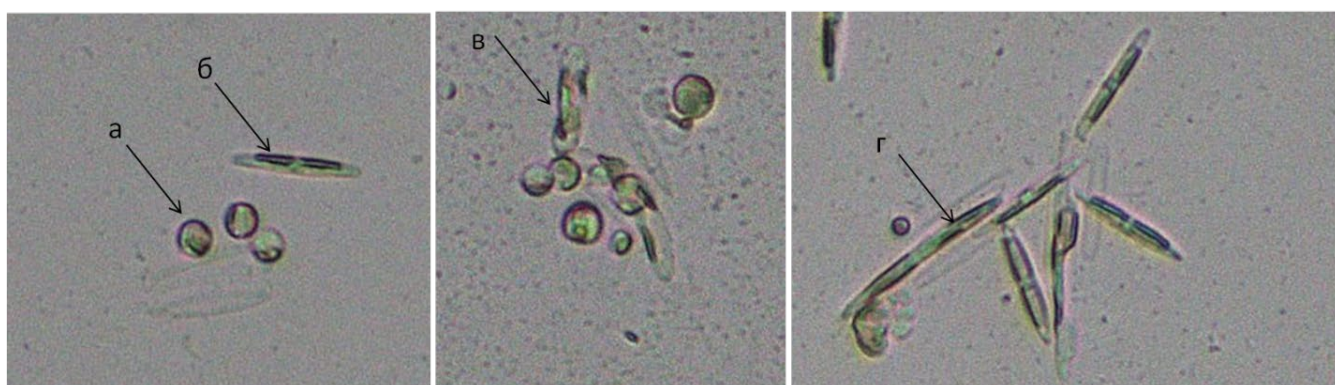


Рисунок 3.7. Половое воспроизведение *Nitzschia cf. thermaloides*. а – гаметы; б – гаметангии; в – ауксоспоры; г – инициальные клетки.

### 3.5. Оценка экологического состояния пресноводных водоемов

Качество или степень органического загрязнения воды оценивали по Индексу сапробности по Пантле и Буккаи 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.

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



### 3.6. Морфологические характеристики клоновых культур *Closterium cf. cornu*

По морфологическим признакам клетки представителя рода *Closterium* определены как *Cl. cf. cornu* Ehrenberg ex Ralf (Muller, 2002). Клетки веретеновидные, почти прямые или слегка изогнутые, длиной 90 – 150 мкм, шириной – 9,5 – 10 мкм, отношение длины к ширине 9,5-15,0. Клетки короче и шире, чем у *Cl. gracile* и *Cl. lundellii*. Их спинная сторона слегка выпуклая, брюшной край на среднем участке прямой. Клетки, заметно сужающиеся к полюсам, оканчиваются округлыми до округло-уплощёнными апиксами без видимой терминальной поры. В апикальных вакуолях содержится по одному крупному кристаллу гипса. Этот слабо изогнутый вид рода *Closterium*, несколько напоминающий обычный вид *Cl. acutum*. По сравнению с последним, клетки *Cl. cornu* характеризуются меньшим отношением длины к ширине и относительно широкими, тупыми концами (рисунок 3.8 А.).

### 3.7. Влияние некоторых экологических факторов на рост клоновых культур представителей рода *Closterium*

Эксперименты по добавлению в среду для культивирования *Cl. cf. cornu* повышенного количества нитратов и сульфатов показали увеличение темпа деления клеток штаммов вида в 1,2 – 1,7 раза (рисунок 3.8.).

Установлено, что в начале опыта у *Cl. cf. cornu* на свету в контроле (СК) наблюдается активное увеличение числа клеток, однако после 8го дня размножение замедляется, наступает стадия стационарного роста. Возможно, это связано с уменьшением концентрации минеральных веществ в среде. В среде с глюкозой (СГ) и глицерином на свету размножение идет крайне медленно, появляется большое количество бактериальных клеток. Скорость потребления глюкозы, как правило, зависит от уровня освещенности. У некоторых видов свет инактивирует транспортную систему, обеспечивающую поступление глюкозы в клетки (Багмет и др., 2013). У

*Cl. cf. cornu*, как и у *Mychonastes homosphaera*, в органической среде на свету размножение идет медленно, но сокращения численности клеток не наблюдается. Воз можно, у водорослей на свету также происходит инактивация транспортной системы.

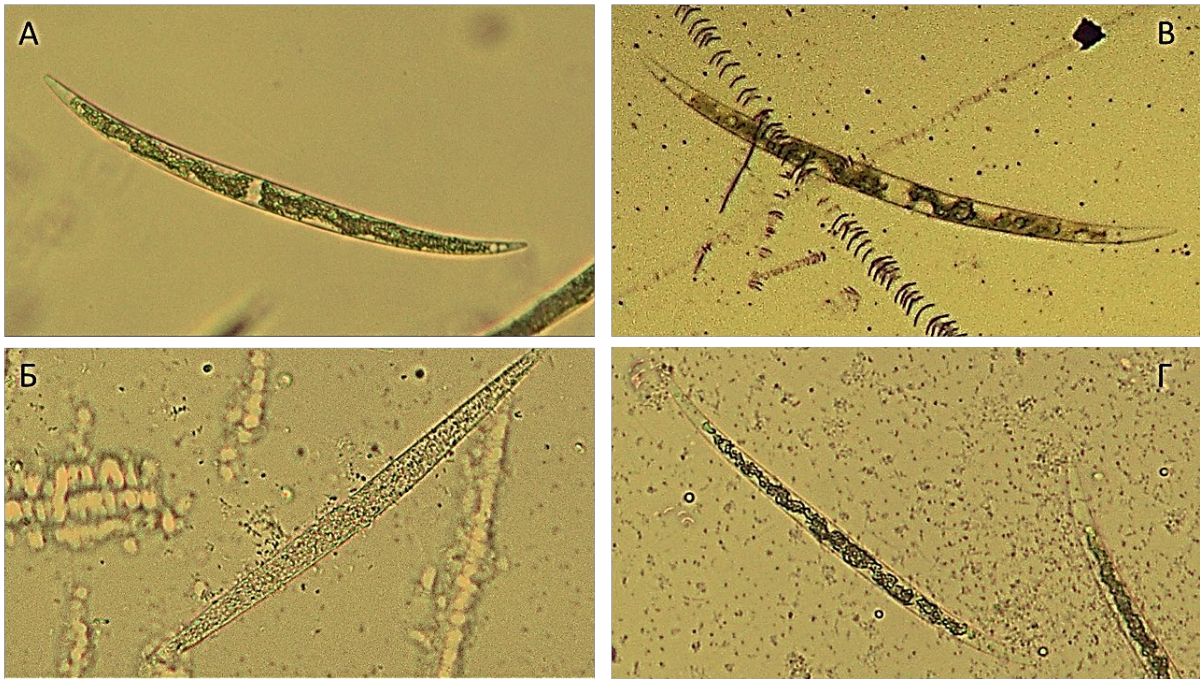
Содержание клоновой культуры клеток *Cl. cf. cornu* в темноте в среде DM, а также в средах с добавлением глюкозы и глицерина в течение трех месяцев не привело к гибели клеток (таблица 3.3). При отсутствии источника света хлоропласты клеток сильно уменьшились в размерах (рисунок 3.8. В, Г), клетки делились очень медленно (за время эксперимента количество клеток увеличилось всего в два раза). Однако, после возвращения культур клеток в освещенное место, в течение нескольких дней большинство клеток вернулись к первоначальному темпу деления, их хлоропласты восстановили свои размеры. Часть клеток во всех экспериментальных чашках были погибшими (рисунок 3.8.Б)

В то же время параллельно были поставлена такая же серия экспериментов с другим видом – *Cl. cf. moniliferum*, изолированном из ставка реки Байбуги, который не показал способности делиться и выживать в условиях отсутствия освещения (таблица 3.3, рисунок 3.9). Хотя в присутствии органического субстрата некоторые клетки смогли перейти к гетеротрофному питанию.

**Таблица 3.3.** Количество живых клеток в культуре двух видов рода *Closterium* после содержания в темноте и на свету в конце эксперимента

	Количество живых клеток на см <sup>2</sup> дна чашки Петри				
	На свету		В темноте		
	Среда Dm (контроль)	Среда Dm + р-ор глюкозы	Среда Dm	Среда Dm + р-ор глюкозы	Среда Dm + глицерин
<i>Closterium cf. cornu</i>	3562 ± 25	758 ± 13	571 ± 11	1618 ± 18	1410 ± 15
<i>Closterium cf. moniliferum</i>	2151 ± 10	659 ± 11	0	105	53

Способность клеток микроводорослей жить в отсутствии света показывает возможность переходить к гетеротрофному питанию. Субстратом для такого питания *Cl. cf. cornu* служили как растворы глюкозы и глицерина, так и, возможно, бактериальные компоненты, так как в среде, в которую не добавляли органические вещества, также присутствовали живые клетки вида. Способность клеток выдерживать достаточное время затемнения может быть необходимой для выращивания в биопрудах, прудах-отстойниках, на глубине которых количество солнечного света будет ограниченным. Ограничение количества света на глубине служит лимитирующим фактором при подборе видов водорослей-биоочистителей водоемов.



**Рисунок 3.8.** *Closterium* cf. *cornu* А – клетка в контрольной чашке, Б – погибшая клетка без хлоропластов после содержания в темноте, В, Г – клетки после содержания в темноте с видоизмененными хлоропластами (после возвращения экспериментальных чашек на естественное освещение такие клетки возобновили деление).



**Рисунок 3.9.** *Closterium* cf. *moniliferum*. А – клетка в контрольной чашке Петри, Б, В – клетки с разрушенными хлоропластами в экспериментальных чашках после содержания в темноте

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

8. Гетеротрофная утилизация органических субстратов у водорослей является важной составляющей стратегии выживания, если уровень освещенности слишком низок для фотосинтеза или освещенность вообще отсутствует. Поэтому есть все основания говорить о том, что изученные нами штаммы *Closterium cf. cornu* в условиях темноты питаются гетеротрофно. Изученные особенности и место обитания *Closterium cf. cornu* дают основание предложить данный вид для использования в экспериментах по очистке бытовых и сельскохозяйственных сточных вод.

## 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. В последующем мы также планируем закончить молекулярно-генетическое и морфологическое исследование штаммов *Closterium* sp. и *Cryptomonas* sp. получить их жирно-кислотный, белковый и пигментный состав, и провести эксперименты по изучению влияния на представителей разных видов сельскохозяйственных и бытовых сточных вод.

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 *Chlorellavulgaris* (Chlorophyta) // Биология внутренних вод. – 2020. – № 4. – С. 382-391.
2. Багмет, В.Б., Абдуллин Ш.Р., Крупская Ю.В. Особенности питания водорослей *Nitzschia palea* (Kutz.) W. Sm. (Bacillariophyta) и *Mychonastes homosphaera* (Skuja) Kalina et Punc. (Chlorophyta) // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2013. – №15. – С. 1207–1209.
3. 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.
4. 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.
5. 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
6. 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.
7. Гудвилевич И.Н. *Dunaliellasalina* солёных водоёмов западной части Крыма // Геополитика и экогеодинамика регионов. – 2010. – Вып.1. – С. 44-48
8. 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.
9. Котова И. К., Котов С.Р., Е. П. Каюкова, Мордохай-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.
10. 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](https://science-days.cfuv.ru/sites/default/files/2019-12/PROCEEDING_2019.pdf)
11. Методы оценки качества вод по гидробиологическим показателям: учебно-методическая разработка по курсу «Гидробиология»; сост.: О.Ю. Деревенская. – Казань: КФУ, 2015. – 44 с.
12. Пасынков А.А., Соцкова Л.М., Чабан В.И. Экологические проблемы сохранения и использования бальнеологических ресурсов соленых озер крым // Ученые записки Таврического национального университета имени В. И. Вернадского Серия «География». 2014. – Том 27 (66), № 2. – С. 97–117.

13. 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.
14. Рябушко Л. И., Бондаренко А. В. Микроводоросли грязевого вулкана Булганакского сопочного поля Крымского полуострова // Морской биологический журнал. 2020. Т. 5, № 1. С. 64-77.
15. Соловченко А.Е., Лобакова Е.С., Барский Е.Л., Саванина Я.В., Лукьянов А.А., Кирпичников М.П. Экологическая фотобиотехнология для очистки сточных вод // Биотехнология. – 2011. – № 6. – С. 70–88.
16. Филиппов А.С. Альгоиндикация экологического состояния водотоков г. Твери Вестник ТвГУ. Серия "Биология и экология". – 2014. – № 3. – С. 115-122.
17. Muller, M. *Closterium cornu* Ehrenb. ex Ralfs var. *lundellii* (Lagerh.) Willi Krieg. 1935 (Desmidiaceae) - revision of a taxon // Limnologica. – 2002. – Vol. 32. – P. 66–81.

## ПРИЛОЖЕНИЯ

### Приложение А. Состав среды ESAW .

Компонент	Запасной раствор (г·л <sup>-1</sup> dH <sub>2</sub> O)	Используемое количество, г*	Концентрация в конечной среде (М)
Раствор солей № 1: безводные соли			
NaCl	—	21,194	3,63 x 10 <sup>-1</sup>
Na <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	—	3,550	2,50 x 10 <sup>-2</sup>
KCl	—	0,599	8,03 x 10 <sup>-3</sup>
NaHCO <sub>3</sub>	—	0,174	2,07 x 10 <sup>-3</sup>
KBr	—	0,0863	7,25 x 10 <sup>-4</sup>
H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	—	0,0230	3,72 x 10 <sup>-4</sup>
NaF	—	0,0028	6,67 x 10 <sup>-5</sup>
Раствор солей № 2: гидратированные соли			
MgCl <sub>2</sub> · 6H <sub>2</sub> O	—	9,592	4,71 x 10 <sup>-2</sup>
CaCl <sub>2</sub> · 2H <sub>2</sub> O	—	1,344	9,14 x 10 <sup>-3</sup>
SrCl <sub>2</sub> · 6H <sub>2</sub> O	—	0,0218	8,18 x 10 <sup>-5</sup>
Главные биогенные элементы:			
NaNO <sub>3</sub>	46,670	0,8 мл	5,49 x 10 <sup>-4</sup>
NaH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub> · H <sub>2</sub> O	3,094	0,8 мл	2,24 x 10 <sup>-5</sup>
Na <sub>2</sub> SiO <sub>3</sub> · 9H <sub>2</sub> O	15,000	2 мл	1,06 x 10 <sup>-4</sup>
Na <sub>2</sub> EDTA · 2H <sub>2</sub> O	2,44 мг/л	1 мл	6,56 x 10 <sup>-6</sup>
FeCl <sub>3</sub> · 6H <sub>2</sub> O	1,77	1 мл	6,55 x 10 <sup>-6</sup>
Растворы витаминов:			
Суанособаламин (витамин B12)	0,005	4 мл	1,48 x 10 <sup>-8</sup>
ThiamineHCl (витамин B1)	0,5	2 мл	2,96 x 10 <sup>-6</sup>

## 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)

