

ИЗУЧЕНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ РАЗВИТИЯ «ЦВЕТЕНИЯ» ФИТОПЛАНКТОНА В ВОДОЕМАХ Г. ДОНЕЦКА

Мирненко Э.И.

Биологический факультет, кафедра ботаники и экологии, Донецкий национальный университет, Донецк.

Аннотация

В работе представлены данные о видовом составе фитопланктона в водоёмах г. Донецка, установлен пигментный состав и концентрация хлорофилла *a*. На основании полученных данных о видовом составе и периодах концентрации фотосинтетических пигментов установлены периоды начала «цветения» его пик и завершение.

Ключевые слова: фотосинтетические пигменты, хлорофилл *a*, фитопланктон, водоёмы, г. Донецк.

1. Введение

Проблеме «цветения» водоёмов уделяется много внимания, однако ввиду чрезвычайной сложности, в полной мере она не решена. Разработанные методы механического изъятия и химического воздействия на места скопления водорослей можно рассматривать как частичную меру улучшения санитарного состояния водоёмов [1,2]. Эти меры не могут повлиять на причины, вызывающие «цветение» воды, и не могут предохранить водоём от излишнего развития водорослей.

Ведущая роль в функционировании пресноводных экосистем принадлежит макро- и микроводорослям, за счёт фотосинтеза которых в водоёмах создаётся фонд органического вещества, составляющий энергетическую основу для всех последующих этапов продукционного процесса в водоёме [3]. К одним из наиболее распространённых показателей, используемых при изучении водорослевых сообществ, относятся фотосинтетические пигменты [4].

Содержание основного пигмента зеленых растений, хлорофилла *a*, считается универсальной эколого-физиологической характеристикой развития и фотосинтетической активности водорослей. Кроме того, в отечественной литературе часто используются такие пигментные характеристики альгоценозов, как концентрация хлорофиллов *b* и *c*, каротиноидов, пигментные индексы.

Цель работы. Изучение особенностей и периодов «цветения», установления альгофлоры прудов города Донецка.

Для достижения цели были поставлены следующие задачи:

1) изучить состав и определить систематическую структуру видов водорослей, вызывающих «цветения» воды;

2) установить состав и динамику фотосинтетических пигментов в фитопланктоне;

3) выделить периоды «цветения» по динамике фотосинтетических пигментов.

Объект исследования – пруды города Донецка.

Предмет исследования – особенности «цветения» водорослей фитопланктона.

Методы исследования. Метод спектрофотометрического определения фотосинтетических пигментов водорослей. Метод статистической обработки результатов. Методы отбора и фиксации материала.

Практическое значение. Составлен список видов фитопланктона прудов г. Донецка. Оценено разнообразие видов и доминирование отделов различных групп водорослей. Предложен метод определения периодов «цветения» с помощью фотосинтетических пигментов.

1.1 Эвтрофирование и «цветение» водоемов

Проблема водных ресурсов с каждым годом привлекает всё большее внимание. Это объясняется тем, что имеющиеся на земном шаре запасы пресной воды рек, озёр, водохранилищ и других водоисточников во многих высокоразвитых странах уничтожаются, или настолько загрязняются, что она становится непригодной для употребления. Количественная сторона водообеспечения на современном уровне технической оснащённости в ряде случаев решается за счёт гидротехнического строительства и зарегулирования стока рек, а также использование подземных водных запасов опреснения солёных вод [1, 4].

Обогащение водоёмов минеральными и органическими веществами, т.е. их эвтрофирование происходит под влиянием природных и антропогенных факторов. *Естественное эвтрофирование* – процесс очень медленный во времени (тысячи и десятки лет), развивается главным образом, вследствие накопления донных отложений и обмена водоёмов. *Антропогенное эвтрофирование* вызывается действием различных факторов – абиотических, биотических или определяемых биологическими процессами. К числу абиотических факторов, влияющих на пополнение запасов биогенных и органических веществ в водоемах относят, поступление их из подстилающих грунтов донных отложений временно и постоянно затапливаемых территорий. Наиболее энергично вымывается из почв такие компоненты как хлор, марганец, железо [2,5].

К числу природных биотических факторов эвтрофирования следует отнести процессы фотосинтеза и азотфиксации, в результате которых происходит связывание и поступление в водоём атмосферной углекислоты и азота [1, 2, 6]. В обогащении водоёмов питательными веществами определённую роль играет сток минеральных и аллохтонных веществ из природных ландшафтов целинных и залежных земель, лугов, лесных массивов. Большое количество биогенов даёт опад древесной и кустарниковой растительности прибрежной зоны.

Антропогенное эвтрофирование имеет гораздо широкое воздействие. Источником пополнения запасов биогенных и органических веществ в водных объектах является поверхностный сток с окультуренных территорий это прямое воздействие неграмотного освоения сельскохозяйственных территорий. Сельскохозяйственный сток определяется также уровнем агротехники культур, возделываемых на площади водосбора, интенсивностью мероприятий по окультуриванию почв [7]. Весьма существенным источником обогащения водоёмов питательными веществами является эрозия почв при поливе.

Таким образом, интенсификация сельского хозяйства, ирригационные мероприятия и увеличение количества использованных удобрений на площади водосбора являются причиной существенного обогащения водоемов основными биогенными веществами, которое при современном уровне сельского хозяйства увеличивается из года в год.

Аналогичная картина наблюдается в отношении животноводческих комплексов. Показано [4, 7], что одна ферма в 1000 голов крупного рогатого скота даёт столько же загрязнений, сколько город с населением в 16 тыс. человек. При этом процесс урбанизации резко интенсифицирует загрязнение и эвтрофирование водоёмов за счёт попадания поверхностного стока. В условиях широкого распространения раздельной системы канализации, принятой в странах бывшего СССР (90% канализированных населённых пунктов), ливневые и мочные воды городов отводятся без очистки, и регламентируются в них только взвеси [4]. Таким образом, дождевые, снеговые и мочные воды городов и населённых пунктов могут быть источником повышения органических и минеральных веществ в водоёмах

В промышленных регионах основной причиной антропогенного эвтрофирования являются сточные воды, потому что даже в водах, прошедших биологическую очистку,

содержится такое количество нитратов и фосфатов, которое вполне достаточно для роста и развития водорослей [2,6].

Последствия антропогенного эвтрофирования выражаются в «цветении» воды. Данный процесс наблюдается как в континентальных водоёмах (пресных, солоноватых и солёных), так и в морях и океанах (в основном в прибрежных районах). В морях и океанах «цветения» воды вызывают главным образом диатомовые (*Bacillariophyta*) и динофитовые (*Dinophyta*), а также сине-зеленые (*Cyanoprocarota*).

Из пресноводных водоёмов, подверженных «цветению», в первую очередь следует отметить большие равнинные реки и построенные на них водохранилища, а также пруды различного назначения (биологические, технические, рыбоводные, всевозможные отстойники), озера, водоёмы-охладители. «Цветение» воды чаще всего вызывается сине-зелеными и динофитовыми водорослями, весной и осенью – диатомовыми. Реже «цветение» воды обуславливают зеленые или желто-зеленые водоросли. Из синезеленых водорослей, вызывающих «цветение» в Донецких водохранилищах [9-15], встречаются *Microcystis aeruginosa* Kütz. emend. Elenk., *M. wesenbergii* Komarek, *Anabaena flos aquae* Vreb., *A. lemmermannii* P. Richt., *A. spiroides* Klebs., *A. affinis* Lemm., *A. schreemetlevi* Elenk.

Наиболее широкую известность приобрело «цветение» воды в результате массового размножения отдельных видов сине-зелёных водорослей. При «цветении» сложные многовидовые сообщества, как правило, более устойчивые и обладающие более высокой экологической устойчивостью, упрощаются, обедняются за счет сокращения видового разнообразия. Как показывают многолетние исследования [2,3], обильному «цветению» сине-зелёных водорослей благоприятствует ослабленное течение, высокая прозрачность, большое содержание подвижных форм растворенного органического вещества, усиленное поступление биогенных, а также большая площадь плёсов малой глубины.

Следствием усиления «цветения» является падение рыбопродуктивности, ухудшение качества воды как по санитарно-биологическим, так и токсикологическим показателям, возникновение существенных помех в рекреационном использовании и водоснабжении [7].

В открытой системе, например реке, в связи со значительным течением и турбулентным перемешиванием воды эти процессы менее выражены, хотя заиливание и ухудшение кислородного режима наблюдается и здесь. В результате усиленного притока биогенных элементов зарегистрированы многочисленные случаи «цветения» рек Молдовы [16]. Оно выражалось в резком увеличении численности как планктонных, так и бентосных форм, в первую очередь, за счет повышения численности отдельных наиболее сапробных видов. Синезеленых, эвгленофитовых и вольвоксовых водорослей. Среди видов водорослей упоминались *Oscillatoria aghardhii*, *Anabaena spiroides*, *Microcystis aeruginosa*.

Вследствие эвтрофирования и зарегулирования стока, сопряжённого с обогащением водной толщи биогенными и органическими веществами, повышается биологическая продуктивность водоёмов за счёт интенсификации развития водорослей до степени «цветения» воды, то есть в данном случае происходит за счет нарушения сбалансированности системы за счет превышения продуцирования вещества над его утилизацией и деструкцией. По мнению некоторых авторов [2-6,9-16] на доминирующее положение в гидробиоценозах при «цветении» выходят *Microcystis aeruginosa*, *M. lemmermannii*, *Aphanizomenon flos-aquae*, а также виды родов *Anabaena*, *Oscillatoria*. В период интенсивного «цветения» доминирует в гидробиоценозе один из возбудителей «цветения» в силу действия принципа конкурентного исключения видов.

Известны случаи зимних «цветений» ряда диатомовых водорослей. По данным литературных источников [17] показано, что «цветение» может быть вызвано достаточно большой группой водорослей. Например, для Вьетнама отмечено «цветение» воды при участии 81 видового таксона водорослей при доминировании сине-зеленых водорослей в планктоне и бентосе.

Таким образом, процессы эвтрофирования вызванные влиянием разнообразных источников загрязнения влекут за собой "цветения" воды. При этом отмечается гиперразвитие отдельных видов водорослей, уменьшение видового разнообразия и другие процессы.

1.2 Физико-географическая характеристика Донбасса

Донецкий регион имеет преимущественно равнинный рельеф (высотой до 200 м), расчленённый оврагами и балками. На северо-востоке находится Донецкий кряж высотой до 367 м, поверхность которого изрезана долинами рек. На западе кряж переходит в Приднепровскую низменность, на юге – в Приазовскую низменность с отдельными поднятиями (Могила-Гончариха, Саур-Могила и другие). На юге – узкая полоса Причерноморской низменности, которая уступами обрывается к Азовскому морю. В местах залегания известняков и соленосных отложений развиваются карстовые формы рельефа. Характерная черта рельефа области – наличие форм антропогенного происхождения: терриконы, карьеры и т.д. [18].

Климат. За период с 1936 по 2015 гг. среднегодовая температура в Донецкой области снизилась с 9,4°C до 9,0°C. Динамика среднегодового количества осадков в этот период показывает значительное увеличение показателя: с 500 до 615 мм в год, что значительно изменяет климатические условия области. Агроклиматические условия в Донецкой области способствуют произрастанию теплолюбивых сельскохозяйственных культур, однако, если описанные тенденции сохранятся, изменение климата будет влиять на производство сельскохозяйственной продукции в регионе [18].

Водные ресурсы. Донецкий регион является одним из самых малообеспеченных пресной водой регионов Европы. Сформировавшиеся за два столетия отрасли промышленности характеризуются значительным водопотреблением. Поэтому в регионе существует острая проблема загрязнения водных ресурсов и связанный с этим дефицит качественных вод для хозяйственно-питьевого водоснабжения населения, сельского хозяйства, перерабатывающей промышленности. В современных условиях режим практически всех рек в области изменён за счёт создания искусственных водоёмов – прудов и водохранилищ. Всего в области создано 157 водохранилищ. В целом, водообеспеченность на одного жителя области (180 м³) в 5 раз меньше, чем среднеевропейская. Бытовое потребление воды в расчёте на одного человека за последние 18 лет резко уменьшилось с 135 м³ в 1990 году до 48 м³ в 2015 году [18,19].

По данным статистической отчётности, [18,19] в Донецком регионе насчитывается 279 предприятий – водопользователей, которые сбрасывают возвратные воды в реки и водоёмы региона. Общий объём сброшенных в поверхностные водные объекты сточных вод в 2013 – 2014 гг. составил 1699 и 1546 млн. м³ соответственно. При этом, сброс загрязнённых сточных вод сократился с 1438 до 615 млн. м³, что связано с падением промышленного производства во второй половине 2014 года.

Вместе со сточными водами в водоёмы региона поступает значительное количество загрязняющих веществ. В 2013 – 2014 годах было сброшено соответственно 516 и 485 тыс. тонн сульфатов, 192 и 287 тыс. тонн хлоридов, 14 и 13,5 тыс. тонн нитратов, 103 и 113 тонн нефтепродуктов. В воде практически всех рек области наблюдается повышенное содержание солей. Приоритетными загрязнителями поверхностных вод региона являются сульфаты и биогенные вещества (соединения азота и фосфора), а также другие органические вещества. Содержание в поверхностных и подземных водах специфических веществ токсического действия (тяжёлые металлы, нефтепродукты, фенолы, синтетические поверхностно-активные вещества) в большинстве водоёмах не является критичным [18,19].

На территории Донбасса создана мощная техносфера, которая включает более 1100 промышленных предприятий горнодобывающей, металлургической и химической

промышленности, энергетики и тяжёлого машиностроения, эксплуатируется около 300 месторождений полезных ископаемых. Высокая концентрация промышленного, сельскохозяйственного производства и транспортной инфраструктуры в сочетании со значительной плотностью населения создали огромную нагрузку на биосферу – наибольшую в Украине и Европе. На территории Донецкого региона, которая составляет лишь 4,4% от общей площади Украины, сосредоточена пятая часть промышленного потенциала государства, 78% которого приходится на экологически опасные производства металлургической и добывающей отраслей, производство электроэнергии и производство кокса. Предприятия именно этих отраслей промышленности оказывают наибольшее влияние на окружающую среду региона [18, 19].

Таким образом, интенсивная эксплуатация природных ресурсов в течение длительного времени привела к тому, что изменения затронули все компоненты окружающей среды Донбасса: климат, атмосферный воздух, поверхностные и подземные воды, почвы, ландшафты, биоразнообразие.

2. Методы и методология

Материалом для исследования послужили пробы фитопланктона, отобранные в периоды «цветения». За условно чистые брали пруды Донецкого ботанического сада, антропогенно-нагруженные Первый и второй городской пруд, а также в два ветковских пруда.

Пруды Донецкого ботанического сада, не находятся в эксплуатации промышленных предприятий, и не принимают стоков предприятий, имеют приблизительно одинаковые размеры. Вблизи прудов, а также на берегу расположены зеленые насаждения, преимущественно древесные, в летнее время пруды имеют рекреационное значение, а также используются для ловли рыбы местным населением.

Первый и второй городской пруд выполняли, роль водохранилища Юзовского металлургического завода [20] и были созданы на реке Скоморошина (Бахмутка), после того как заводу перестало хватать воды из водохранилища на реке Кальмиус. Ёмкость Первого городского пруда при создании составила 1 млн. м³, а второго 700 тыс. м³. В настоящее время площадь водного зеркала составляет 32 и 27 га соответственно. Вода из прудов забиралась тремя насосами, которые передавали её в напорный бак у Центральной шахты. Кроме воды из Скоморошинки пруд наполнялся также водой из р. Кальмиус посредством семи насосов [21]. Воду из пруда помимо завода использовали бани и пожарные. Для питья вода не использовали никогда.

Ветковские пруды являются сточными, находящиеся жилой зоне, вблизи отсутствуют промышленные предприятия, поэтому они не находятся в эксплуатации промышленных предприятий. Поскольку все пруды находятся в промышленном центре, то они постоянно испытывают антропогенную нагрузку.

2.1 Методы альгологических исследований

Пробы отбирали на расстоянии 1 м и более от береговой линии на глубине 40 см от поверхности в пластиковые бутылки минимальным объемом 2 – 3 дм³.

Сбор фитопланктона осуществляли двумя общепринятыми методами [7, 22, 23]. При достаточном развитии фитопланктона из исследуемого водоема (толщи воды) отбирали по 2-10 дм³ воды с последующим концентрированием. Вторым методом сбора было фильтрование через планктонную сеть.

Сгущение проб фитопланктона осуществляли фильтрованием и центрифугированием.

Для отбора и хранения проб чаще всего используют стеклянные бутылки из прозрачного бесцветного химически стойкого стекла, снабженные резиновыми или

притертыми стеклянными пробками. Вместимость бутылки для основной пробы минимум 2 дм³ [7, 24, 25].

Изучение качественного состава фитопланктона проводили в препаратах раздавленной капли с помощью световых микроскопов МБН-3, Primo Star (Carl Zeiss) с соблюдением правил микроскопирования. Основой определения видовой принадлежности водорослей служил сравнительно–морфологический анализ образцов [2,7]. Определение видового состава проводили по общепризнанным определителям водорослей для пресных вод [23,26-29]. Анализируя видовую принадлежность, отмечали любые отклонения от морфологической формы, среднего размера, окраски видов водорослей, указанные в определителе или атласе. При составлении систематического списка использовали классификационные схемы принятые в *Algae of Ukraine* [30, 31].

2.1.2 Метод количественной оценки фотосинтетических пигментов

В основе количественной оценки фотосинтетических пигментов лежит 2 метода оценки основанных на измерениях концентрации фотосинтетических пигментов водорослей – хлорофилла *a* и дополнительных пигментов (хлорофилла *b*, c_1+c_2 и каротиноидов) применен метод прямого спектрофотометрического определения концентрации пигментов экстракта [30].

Отсчеты оптических плотностей брали на четырех длинах волн – 664, 647, 630, 750 нм. Фотометрирование проводили дважды: до и после подкисления экстракта несколькими каплями приготовленного раствора соляной кислоты в ацетоне. После добавления кислоты экстракт перемешивали в течение 2-3 мин. При фотометрировании подкисленного экстракта отсчеты брали на двух длинах волн 664 и 750 нм. Одновременно с определением концентрации хлорофилла *a* допускается определять концентрации и других пигментов хлорофиллов *b*, c_1+c_2 , суммарную концентрацию каротиноидов, а также пигментный индекс. С этой целью необходимо до подкисления экстракта дополнительно взять отсчеты еще на двух длинах волн – 430 и 480 нм [11].

Статистическую обработку проводили в программе Microsoft Office Excel.

Таким образом, для определения периодов «цветения» фитопланктона, были выбраны 2 основных метода, метод прямого микроскопирования и спектрофотометрический метод определения фитопланктона.

3. Результаты и обсуждение

3.1 Состав видов водорослей фитопланктона изученных водоемов

В результате проведенных исследований в прудах было выявлено 155 видов, водорослей которые относятся к 7 отделам, 12 классам, 24 порядков, 44 семейств, 61 родов (табл. 3.1). Наибольшим видовым богатством характеризовался отдел *Chlorophyta* (60 видов), на втором месте по количеству видов *Bacillariophyta* (39 видов), меньшее количество видов было отмечено для *Cyanoprocarvota* (37 вида). Систематическая структура водорослей фитопланктона приведена в табл. 1

Таблица – 1 Систематическая структура водорослей фитопланктона

Отделы	Количество				
	классов	порядков	семейств	родов	видов
<i>Cyanoprocarvota</i>	2	4	11	15	37
<i>Euglenophyta</i>	1	2	2	4	13
<i>Dinophyta</i>	1	1	1	1	2
<i>Pyrophyta</i>	1	1	1	1	1

<i>Xantophyta</i>	1	2	3	5	5
<i>Bacillariophyta</i>	2	9	12	16	39
<i>Chlorophyta</i>	4	5	14	29	60
Всего	12	24	44	61	155

Наибольшим количеством классов характеризовались отделы *Chlorophyta* (4 класса). На втором месте *Bacillariophyta* и *Cyanoprocarvota* по два класса, для остальных отделов отмечено по одному классу.

По количеству порядков первое место занимал отдел *Bacillariophyta* (9 порядков), второе место у *Chlorophyta* (5 порядков) и *Cyanoprocarvota* (4 порядка). На третьем месте были отделы *Euglenophyta* и *Xantophyta*, представленные по 2 порядка каждый. У всех остальных отделов было отмечено по одному порядку в каждом.

Наибольшее количество семейств имел отдел *Chlorophyta* (14 семейств). меньшим количеством семейств характеризуется отдел *Bacillariophyta* (12 семейств), отдел *Cyanoprocarvota* имеет 11 семейств. Отдел *Xantophyta* представлен 3 семействами: у отдела *Euglenophyta* 2 семейства. И одним семейством охарактеризовались отделы *Dinophyta*, *Pyrophyta*

По количеству родов также первое место занимал отдел *Chlorophyta* (29 родов). Для отдела *Bacillariophyta* было идентифицировано 16 родов. Меньшим количеством родов характеризовались отделы *Cyanoprocarvota* (15 родов), *Xantophyta* (5 родов), *Euglenophyta* (4 рода) и по одному роду было отмечено в отделах *Dinophyta* и *Pyrophyta*.

Наибольшим видовым богатством, характеризовался отдел *Chlorophyta* (60 видов), здесь наиболее часто встречались следующие виды: *Chlorella vulgaris* Beij., *Monoraphidium contortum* (Thur.) Kom.-Legn., *Scenedesmus obliquus* (Turp.) Kütz. На втором месте по количеству видов отмечен отдел *Bacillariophyta* (39 видов), здесь наиболее часто встречались такие виды: *Diatoma vulgare* Bory, *Navicula pupula* Kütz.

Меньшее количество видов было идентифицировано для отдела *Cyanoprocarvota* (37 видов). Наиболее часто встречающимися видами в отделе *Cyanoprocarvota* были: *Merismopedia punctata* Meyen., *Microcystis aeruginosa* Kütz. emend. Elenk., *Oscillatoria raphidioides* Morr.

Из представителей отдела *Euglenophyta* было определено 13 видов, из них наиболее часто встречались: *Euglena viridis* Ehr., *E. proxima* Dang.

Для отдела *Xantophyta* было идентифицировано 5 видов; наиболее часто встречались: *Tetraplectron tribulus* (Pasch.) Fott., *Gloeobotrys chlorines* Pasch.

Наименьшим видовым богатством охарактеризовались 2 отдела *Dinophyta* та *Pyrophyta* количеством видов 2 и 1 вид соответственно.

При изучении альгофлоры прудов города Донецка наиболее часто встречались следующие виды: *Microcystis aeruginosa*, *Aphanizomenon flos-aquae* (L.) Ralfs., *Scenedesmus quadricauda* (Turp.) Breb., *Anabaena spiroides* Kleb, *Ceracium* sp., *Coelastrum micronium* Nag., *Tabellaria fenestrata* Kütz.,

Также часто наблюдали уникальный вид *Enteromorpha pilifera* Kütz семейства *Ulvaceae*. обитающий преимущественно в Азовском море.

Наиболее часто встречающиеся виды показаны в таблице 2

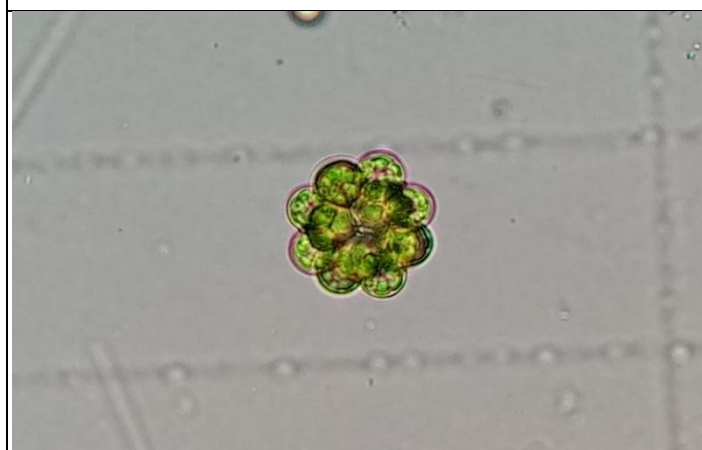
Таблица 2 – Наиболее часто встречающиеся виды в прудах г. Донецка



Anabaena spiroides Kleb.



Ceracium sp.



Coelastrum micronium Nag.



Enteromorpha prolifera Kütz



Tabellaria fenestrata Kütz



Scenedesmus quadricauda (Turp) Breb

В таблице 3 представлена систематическая структура определенных видов на уровне семейств, необходимая для выделения ядра флоры изученных водоемов.

Таблица – 3 Систематическая структура фитопланктона водоемов г. Донецка по Фотту

Семейство	Родов		Видов	
	количество	процент участия	количество	процент участия
Отдел <i>Cyanophyta</i>				
<i>Synechococcaceae</i>	3	1,83	8	12,56
<i>Merismopediaceae</i> Elenk.	1	0,61	4	6,28
<i>Radiococcaceae</i> Fott.ex Kum	1	0,61	1	1,57
<i>Gloeocapsaceae</i> Elenk.	1	0,61	2	3,14
<i>Coccobactraeae</i> Elenk.	1	0,61	2	3,14
<i>Microcystidaceae</i> Elenk.	2	1,22	5	7,85
<i>Gomphosphaeriaceae</i> Elenk.	1	0,61	1	1,57
<i>Anabaenaceae</i> Elenk.	1	0,61	2	3,14
<i>Aphanizomenonaceae</i> Elenk.	1	0,61	1	1,57
<i>Coelosphaeriaceae</i> Elenk.	2	1,22	2	3,14
<i>Oscillatoriaceae</i> (Kirchn.)	1	0,61	9	14,13
Отдел <i>Euglenophyta</i>				
<i>Euglenaceae</i> Klebs.	3	1,83	12	18,84
<i>Petalomonadaceae</i>	1	0,61	1	1,57
Отдел <i>Dinophyta</i>				
<i>Peridinaceae</i>	1	0,61	2	3,14
Отдел <i>Pyrophyta</i>				
<i>Gymnodiniaceae</i>	1	0,61	1	1,57
Отдел <i>Xantophyta</i>				
<i>Pleourochoridaceae</i>	2	1,22	2	3,14
<i>Gloeobotrydaceae</i>	2	1,22	2	3,14
<i>Stipitococcaceae</i> H. Ettl	1	0,61	1	1,57
Отдел <i>Bacillariophyta</i>				
<i>Melosiraceae</i> Kütz.	1	0,61	1	1,57
<i>Stephanodiscaceae</i> Makarova	1	0,61	1	1,57
<i>Fragilariaceae</i> Grev	5	3,05	8	12,56
<i>Scoliotropidaceae</i>	1	0,61	1	1,57
<i>Amphipleuraceae</i>	1	0,61	1	1,57
<i>Tabellariaceae</i>	1	0,61	1	1,57
<i>Stauroneidaceae</i> D.G. Mann	1	0,61	1	1,57
<i>Naviculaceae</i> Kütz	1	0,61	15	23,55
<i>Pinnulariaceae</i> Mereschk	1	0,61	1	1,57
<i>Cymbellaceae</i> Grev	1	0,61	1	1,57
<i>Catenulaceae</i> Mereschk	1	0,61	3	4,71
<i>Bacillariaceae</i> Ehrenb	1	0,61	5	7,85
Отдел <i>Chlorophyta</i>				
<i>Characiaceae</i> (Näg.) Will.	2	1,22	1	1,57
<i>Micractiniaseae</i> Korsch.	2	1,22	3	4,71
<i>Treubariaceae</i> (Korsch.) Fott.	2	1,22	3	4,71
<i>Dictyophanaeriodeae</i>	1	0,61	1	1,57
<i>Botryococcaceae</i> Will.	2	1,22	2	3,14
<i>Oocystaceae</i> Bohl.	2	1,22	5	7,85

<i>Selenastraceae</i> (Blachm. et Tansl.) Fritsch.	4	2,44	7	10,99
<i>Scenedesmaceae</i> Oltm.	5	3,05	24	37,68
<i>Desmidiaceae</i>	1	0,61	2	3,14
<i>Elakatotrichaceae</i>	1	0,61	1	1,57
<i>Ulotrichaceae</i> Kütz.	1	0,61	1	1,57
<i>Tetrasporaceae</i>	1	0,61	1	1,57
<i>Cladophoraceae</i> Cohn.	1	0,61	1	1,57
Всего	61	100	157	100

Из систематической структуры фитопланктона водоемов г. Донецка по Фотту видно, что по видовой представленности на первом месте находится семейство *Scenedesmaceae* 37,68% от общего количества выделенных видов, на втором месте – семейства *Naviculaceae* составляющие 23,55% всего состава альгофлоры. На третьем месте находилось семейство *Oscillatoriaceae* (14,13% от общего количества выделенных видов). Эти семейства совокупно составляли 75,36% всей альгофлоры, т.о. они являлись доминантами и составляли ядро флоры.

По родовой представленности на первом месте среди представителей фитопланктона находились семейства *Fragilariaceae* и *Scenedesmaceae*, с суммарным процентом участия равным 6,01% от общего количества родов. На втором месте находятся семейства *Selenastraceae* 2,44% от общего количества определенных родов. На третьем месте находится семейства *Synechococcaceae*, *Euglenaceae* с суммарным процентом участия 3,66% от общего числа родов.

Среди водорослей отдела *Цуанопрокарьюта* в водоемах г. Донецка чаще всего встречали: *Merismopedia punctata*, *Microcystis aeruginosa.*, *Oscillatoria raphidioides*. Такие виды как *Rhabdoderma irregulare*, *Gomphosphaeria aponina*, *Lemmermannia pallid.*

Из отдела *Еугленопхита* чаще всего встречали такие виды: *Euglena viridis*, *E. acus*, *E. proxima*, редким для этого отдела характеризуется *Petalomonas praegnans* Skuju.

Отдел *Динофита* характеризовался небольшим количеством встречаемости видов, в фитопланктоне было идентифицировано всего 2 вида который довольно редко встречались: *Peridinium bipes* Stein., *P. africanum* Lemm. f. *africanum*. У отдела *Пинофита* был обнаружен 1 вид *Gymnodinium rotundatum* Klebs.

Отдел *Хантофита* имел более высокую частоту встречаемости видов, чем 2 предыдущих отдела. Из представителей данного отдела наиболее часто встречались: *Tetraplectron tribulus* (Pasch.) Fott., *Chlorosaccus fluidus* Luther., *Gloeobotrys chlorines* Pasch., а *Heterothrix. tribonemoides* Ehr., *Botrydiopsis arhiza* Borza были достаточно редкими.

Отдел *Вациллиарифита* характеризуется большой частотой встречаемости видов, здесь наиболее часто встречались: *Melosira varians* Ag., *Diatoma vulgare*, *Tabellaria fetanestra* Kütz., *Navicula cryptocephala*, *Cymbella lata* Gren., *Amphora lineolata* Ehr., *Nitzschia tenuirostris* Mer.S.L. Достаточно редкими были виды: *Stephanodiscus hantzschii* Grun., *Sellaphora bacillum* (Ehr.) Mann, *Frustulia vulgaris* (Thv.) D. T., *Caloneis densestriata* Proschk.-Lavr., Zakor et Ger.

Отдел *Хлорофита* характеризовался наибольшим видовым богатством, в фитопланктоне отдела *Chlorophyta* наиболее часто встречались следующие виды: *Chlorella vulgaris*, *Monoraphidium contortum*, *Scenedesmus obliquus*, *S. arcutus* Meyen, *S.falcatu*s Cord., *Schroederia setigera*, *Oocystis lacustris* Chod. Наиболее редко в пробах фитопланктона из отдела *Chlorophyta* встречали следующие виды: *Koliella longiseta* Hind., *Chaetopeltis orbicularis* Berth., *Chaetomopha curta* Hind.

Таким образом, в альгофлоре прудов города Донецка было определено 155 видов, которые относятся к 7 отделам (*Цуанопрокарьюта*, *Еугленопхита*, *Динофита*, *Пинофита*, *Хантофита*, *Вациллиарифита*, *Хлорофита*), 12 классам, 24 порядков, 44 семейств, 61 род.

На основе полученных данных, были выделены семейства, которые являются доминирующими в фитопланктоне прудов г. Донецка: *Selenastraceae*, *Scenedesmaceae*, *Fragilariaceae*, *Naviculaceae* (количество видов принадлежащие этим семействам составляет 54, что является 34,4% от общего числа видов); эти семейства составляют ядро альгофлоры.

3.2 Состав и динамика фотосинтетических пигментов водорослей искусственных водоемов

Фитопланктон является базовым звеном водных экосистем, определяя их состояние и продуктивность. При действии различных экологических факторов и антропогенных загрязнений в первую очередь изменяется фотосинтетическая активность и численность клеток водорослей [19]. Изменения фотосинтеза фитопланктона приводит к изменениям в остальных звеньях водной экосистемы.

Экспериментально концентрацию фотосинтетических пигментов определяли в водоемах города Донецка в период 2013-2014 года. Были обследованы пруды: в Киевском районе, Первый ветковский пруд и Второй ветковский пруд, в Ворошиловском районе, Первый городской пруд и Второй городской пруд, в Буденовском районе Пруды Донецкого ботанического сада. Среднее содержание фотосинтетических пигментов водорослей в водоемах г. Донецка по данным спектрофотометрического анализа в таблица 4.

Таблица 4 – Среднее содержание фотосинтетических пигментов водорослей в водоемах г. Донецка по данным спектрофотометрии.

Показатель	Хлорофилл, мкг/дм ³				Каротиноиды	Пигментный индекс
	<i>a</i>	феофитин	<i>b</i>	<i>c</i> ₁ + <i>c</i> ₂		
Первый городской пруд						
Среднее значение	25,02	6,59	6,58	10,89	19,46	3,71
Стандартное отклонение	56,83	9,64	7,27	9,82	18,10	0,94
Ошибка среднего	20,09	3,64	2,75	3,71	6,84	0,36
Коэффициент вариации, %	227,14	146,18	110,44	90,22	92,98	25,38
Второй городской пруд						
Среднее значение	23,43	5,16	7,51	55,90	23,39	3,53
Стандартное отклонение	17,91	8,68	7,38	125,09	18,53	0,88
Ошибка среднего	5,97	2,89	2,46	41,70	6,18	0,29
Коэффициент вариации, %	76,40	168,29	98,39	223,76	79,22	24,99
Первый Ветковский пруд						
Среднее значение	21,49	9,15	1,86	11,60	14,65	3,26
Стандартное отклонение	33,51	11,20	2,62	14,81	16,42	1,75
Ошибка среднего	11,85	3,96	0,93	5,24	5,80	0,62
Коэффициент вариации, %	155,95	122,48	140,81	127,71	112,04	53,74
Второй Ветковский пруд						
Среднее значение	10,06	2,12	3,55	6,75	9,89	4,72
Стандартное отклонение	20,08	4,08	4,17	4,61	6,90	1,89
Ошибка среднего	7,59	1,54	1,58	1,74	2,61	0,71
Коэффициент вариации, %	199,61	192,81	117,43	68,29	69,70	39,94

Пруд Донецкого ботанического сада №3						
Среднее значение	94,68	18,16	2,41	31,99	68,49	3,42
Стандартное отклонение	208,22	21,11	2,86	39,78	76,45	1,09
Ошибка среднего	85,01	8,62	1,17	16,24	31,21	0,45
Коэффициент вариации, %	219,93	116,21	118,84	124,36	111,62	31,95
Пруд Донецкого ботанического сада №4						
Среднее значение	9,49	7,18	3,24	9,70	15,03	6,73
Стандартное отклонение	11,78	12,12	1,65	10,95	18,39	4,77
Ошибка среднего	4,81	4,95	0,67	4,47	7,51	1,95
Коэффициент вариации, с%	124,15	168,94	50,93	112,98	122,31	70,80
Пруд Донецкого ботанического сада №5						
Среднее значение	6,52	3,28	2,19	3,11	6,39	9,53
Стандартное отклонение	10,09	3,50	1,52	2,58	3,62	13,31
Ошибка среднего	4,12	1,43	0,62	1,05	1,48	5,43
Коэффициент вариации, %	154,82	106,89	69,23	82,81	56,68	139,65
Пруд Донецкого ботанического сада №6						
Среднее значение	12,43	4,03	3,58	34,11	60,25	10,18
Стандартное отклонение	8,90	8,86	3,33	72,75	99,39	19,06
Ошибка среднего	3,63	3,62	1,36	29,70	40,58	7,78
Коэффициент вариации, %	71,59	220,16	93,12	213,26	164,96	187,30

Информация о концентрации хлорофилла *a* и ее изменчивости в водном объекте служит критерием при оценке запасов биомассы фитопланктона и его продукции, а также другими пигментами (хлорофилл *b*, хлорофилл c_1+c_2 , каротиноиды) характеризуют физиологическое состояние водорослей. Проанализировав среднее содержание фотосинтетических пигментов фитопланктона в водоемах г. Донецка отметили, что пруд Донецкого ботанического сада №3 является водоемом с наибольшей степенью продуктивности фотосинтетических пигментов, концентрация основного фотосинтетического пигмента хлорофилла *a* составляет $94,68 \pm 85,01$ мг/дм³. Наименее продуктивным является пруд Донецкого ботанического сада концентрация хлорофилла *a* составлял $6,52 \pm 4,12$ мг/дм³.

Концентрация хлорофилла *a* в Первом городском пруде составила $25,02 \pm 20,09$ мкг/дм³, а концентрация каротиноидов составила $19,46 \pm 6,84$ мкг/дм³. Отношение основных и дополнительных пигментов вкладывалось в нормальное соотношение, характерное для растений, т.о. концентрация основного пигмента была выше, чем дополнительных. Пигментный индекс, составляющий $3,71 \pm 0,36$ мкг/дм³ указывает что, при относительно невысоком содержании пигментов, наблюдается относительно высокая фотосинтетическая активность водорослей.

Второй городской пруд характеризовался самым высоким содержанием хлорофилла c_1+c_2 $55,90 \pm 41,70$ мкг/дм³, среди исследуемых водоемов, это означает, что в водоеме доминируют отделы бурых и пиррофитовых водорослей. Содержание каротиноидов, как дополнительного пигмента не превышало содержание основного пигмента, что показывало нормальное соотношение пигментов. Концентрация феофитина находилось на относительно низком уровне, $5,16 \pm 2,89$ мкг/дм³ указывало на относительно низкое содержание продуктов распада хлорофилла, и соответственно низкое антропогенное воздействие на водоем.

Данные средних значений фотосинтетических пигментов водорослей в водоемах г. Донецка приведены на рис. 1

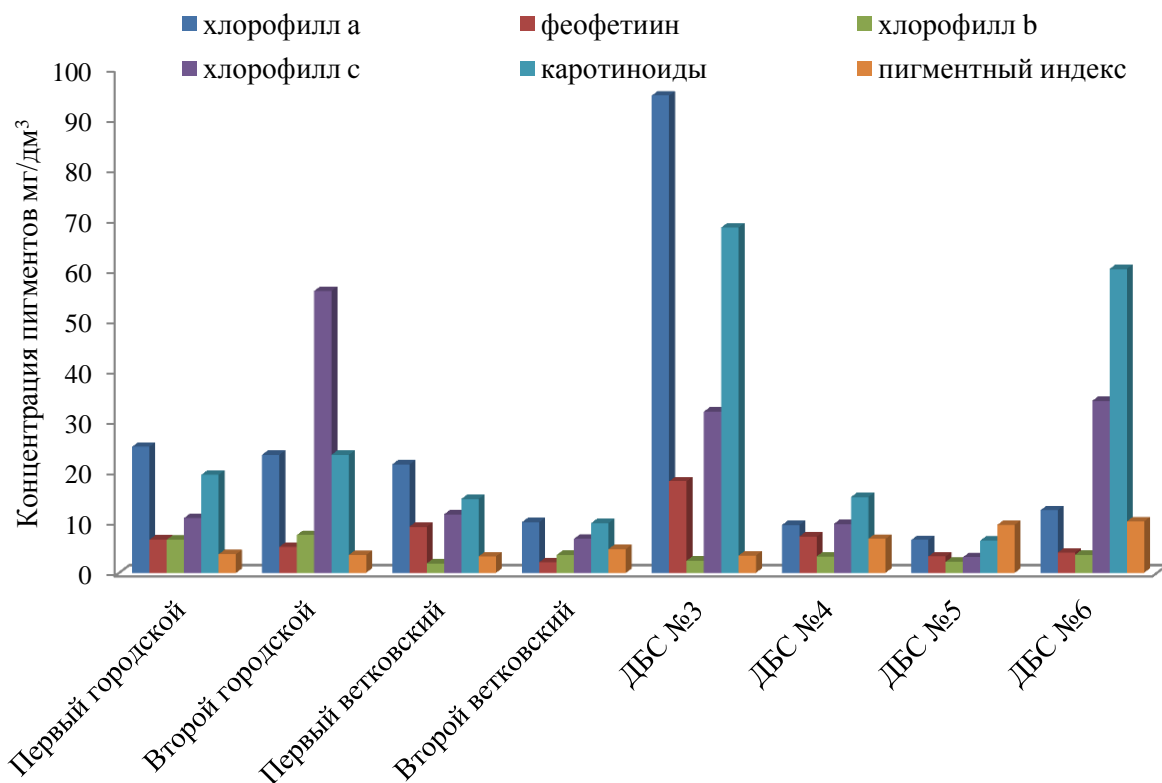


Рисунок 1 – Среднее значение фотосинтетических пигментов водорослей в водоемах г. Донецка

Первый Ветковский пруд характеризовался сильно варьирующей концентрацией фотосинтетических пигментов, при не высоком пигментном индексе ($3,26 \pm 0,62$ мкг/дм³) показывало высокую фотосинтетическую активность. Количество хлорофилла *a* составила $21,49 \pm 11,85$ мкг/дм³, хлорофилл *b* $1,86 \pm 0,93$ мкг/дм³ и хлорофилла *c*₁+*c*₂ $11,60 \pm 5,24$ мкг/дм³.

Второй Ветковский пруд характеризовался относительно низким содержанием фотосинтетических пигментов среди исследуемых водоемов. Количество хлорофилла *a* составляло $10,06 \pm 7,59$ мг/дм³ при относительно низком пигментном индексе ($4,72 \pm 0,71$ мг/дм³). Это означает, что водоем имеет низкую продуктивность.

В пруду Донецкого ботанического сада №3 наблюдали наивысшую концентрацию хлорофилла *a* среди исследуемых водоемов, которая составила $94,68 \pm 85,01$ мг/дм³. Концентрация каротиноидов была ниже в 1,4 раза, и составляла $68,49 \pm 3,21$ мг/дм³, что указывало на нормальное соотношение основного и дополнительного пигментов. Однако, наблюдали наивысшую концентрацию феофитина ($18,16 \pm 8,62$ мг/дм³) по сравнению с другими исследуемыми водоемами. При повышении концентрации хлорофилла *a*, наблюдали увеличение количества продуктов его распада, в связи с резким ростом развития сообществ водорослей фитопланктона («цветение» водоема).

В пруду Донецкого ботанического сада №4 отмечен факт превышения дополнительного пигмента (каротиноидов) над концентрацией основного пигмента (хлорофилла *a*). Средняя концентрация хлорофилла *a*, составляющая $9,49 \pm 4,81$ мг/дм³, была в 1,6 раза ниже, чем концентрация каротиноидов, составляющая $15,03 \pm 7,51$ мг/дм³. Известно [53, 57, 63], что при неблагоприятных условиях среды обитания в клетках водорослей возрастает концентрация каротиноидов, т.е. исследования показали влияние антропогенной нагрузки на физиологическое состояние водорослей планктона.

Пруд Донецкого ботанического сада №5 характеризовался высоким пигментным индексом $9,53 \pm 5,43$ мг/дм³ по отношению к основному фотосинтетическому пигменту (хлорофиллу *a*), составляющему $6,52 \pm 4,12$ мг/дм³, что указывало на низкую фотосинтетическую активность фитопланктона.

В пруду Донецкого ботанического сада №6 средняя концентрация хлорофилла *a* ($12,43 \pm 3,63$ мг/дм³) была ниже, чем средняя концентрация каротиноидов ($60,25 \pm 40,58$ мг/дм³). Соотношение концентраций основного и дополнительного пигмента в среднем составило 2,7. Также наблюдали высокую концентрацию дополнительного фотосинтетического пигмента хлорофилла $c_1 + c_2$, равного $34,11 \pm 29,70$ мкг/дм³, что указывало на доминирование представителей отделов пиррофитовые и бурые в альгофлоре исследуемого водоёма. Превышение концентрации каротиноидов над концентрацией хлорофилла *a* свидетельствовало об ухудшении физиологического состояния водорослей.

Следовательно, был установлен состав фотосинтетических пигментов, в исследуемых прудах, по концентрации хлорофилла *a* были выделены периоды «цветения» фитопланктона, отмечено, что в пик «цветения» водорослей количество продуктов разрушения хлорофилла *a* – феофитина обычно снижено. Например: в пруду Донецкого ботанического сада № 3 в августе при отсутствии «цветения» соотношение хлорофилла *a* и феофитина составляло 1:1, тогда как в сентябре при пике «цветения» продукты разрушения хлорофилла *a* практически не наблюдались (его было в 37 раз меньше).

В период после «цветения» отмечается повышение концентрации фотосинтетических пигментов феофитина, что вполне пояснимо процессами массового отмирания большого количества органической массы водорослей возбудителей «цветения».

Таким образом, по динамике концентрации фотосинтетических пигментов, возможно выделение периодов «цветения» фитопланктона. Причем по соотношению хлорофилла *a* и феофитина можно судить о фазе «цветения», его начале, максимальном развитии, и отмирании фитопланктона, окончании «цветения».

Заключение

1. В результате проведенных исследований периодов «цветения» в прудах г. Донецка, была определена систематическая структура популяции фитопланктона, включающая 155 видов, из которых по количеству видов доминирует отдел *Chlorophyta* семейство *Scenedesmaceae*, а субдоминантам выступает отдел *Bacillariophyta* семейство *Naviculaceae*. Представленные отделы суммарно формируют ядро альгофлоры – диатомово-протококковый комплекс.

2. С помощью спектрофотометрического анализа были установлены периоды максимальной концентрации фотосинтетических пигментов. Полученные данные указывают на количество биомассы фитопланктона и его численность. Пруд Донецкого ботанического сада №3 является водоёмом с наивысшей концентрацией фотосинтетических пигментов, следовательно, там наблюдаются повышенные продукционные процессы.

3. В периоды «цветения» концентрация фотосинтетических пигментов варьирует в зависимости от фазы. В начале «цветения» резко возрастает количество хлорофилла *a*, увеличивается продукция фитопланктона, и его фотосинтетическая активность. Затем на пике «цветения» в пробах были обнаружены в небольших концентрациях каротиноиды и феофитин (продукты распада хлорофилла *a*). После чего концентрация феофитина и каротиноидов растёт в геометрической прогрессии, что указывает о конечной фазе «цветения». Следовательно, по динамике концентрации фотопигментов возможно выделение периодов «цветения» фитопланктона, а по соотношению хлорофилла *a* и феофитина можно судить о фазе «цветения», его начале, максимальном развитии и отмирании фитопланктона, при окончании «цветения».

Литература

1. Авакян А.Б, Водохранилища мира / А.Б. Авакян., В.А. Шарапов, В.П. Сатланкин и др / М. : Наука. – 1987. – 325 с.
2. Сиренко Л.А. Физиологические основы массового размножения сине-зеленых водорослей в водохранилищах / Л.А. Сиренко – К.: Наук. думка, 1972. – 2014 с.
3. Бульон В.В. Первичная продукция планктона внутренних водоёмов. / В.В. Бульон - Л. : Наука, 1983 – 150 с.
4. Гусева К.А. "Цветение" воды, его причины, прогноз и меры борьбы с ним / А. К. Гусева // Тр. Всесоюз. гидробиол. общества.-1952. – Т. 4. 3 – 92 с.
5. Алексеевский Е.Е. Водные ресурсы СССР. Проблема их эффективного использования и охраны / Е.Е. Алексеевский. – Водные ресурсы – 1972. – 7 – 24. с.
6. Сиренко Л.А. Физиологические основы массового размножения сине-зеленых водорослей в водохранилищах / Л.А. Сиренко – К.: Наук. думка, 1972. – 62 с.
7. Вассер С.П. Водоросли: Справочник / С.П. Вассер Н. В. Кондратьева, Н.П. Масюк и др. – К.: Наук, думка. 1989. – 608 с.
8. Саут Р. Основы Альгологии / Р. Саут., А. Уиттик – М.: Мир, 1990 – 597 с.
9. Лялюк Н.М. Особливості створення та впровадження системи біомоніторингу техногенно трансформованих водних об'єктів (на прикладі водойм Донецької області) / Н.М. Лялюк // Матер. конф. «Від заповідання до сбалансованого природокористування» (20-22 березня 2013р., м. Донецьк). – Донецьк: Изд-во Донецького національного у-та, 2013. – 200 с.
11. Лялюк Н.М. Альгофлора прудов Буденновського району міста Донецька / Н.М. Лялюк // Охорона навколишнього середовища та раціональне використання природних ресурсів: тези доп. і виступів II Міжнарод. наук. конференції. студ. і аспірантів– Донецьк, 2003. – 223-225 с.
12. Лялюк Н.М. Альгофлора прудов Кировського району міста Донецька / Н.М. Лялюк // Охорона навколишнього середовища та раціональне використання природних ресурсів: тези доп. і виступів V Міжнарод. наук. конференції. студ. і аспірантів– Донецьк, 2006. – 211-213 с.
13. Лялюк Н.М. Биоиндикация загрязнений канала Северский-Донец-Донбасс / Н.М. Лялюк // Промислова ботаніка: стан та перспективи розвитку: тези доп. і виступів V Всеукр. наук. конференції. студ. аспірантів і молодих учених(24-26 вересня 2007 року.) – Донецьк, 2007. – 274-275 с.
14. Лялюк Н.М. Особенности формирования сообществ фитопланктона канала Северский-Донец-Донбасс / Н.М. Лялюк // Охорона навколишнього середовища та раціональне використання природних ресурсів: тези доп. і виступів V Міжнарод. наук. конференції. студ. і аспірантів– Донецьк, 2006. – 211-213 с.
15. Лялюк Н. М. Особенности формирования фитопланктона Волынцевского водохранилища г. Енакиево / Н.М. Лялюк, А.Н. Истомин // Международный экологический форум “Довкілля для України”: тези доп. і виступів екологія промислового регіона – Донецьк 2011. – 211-213 с.
16. Шаларь В.М. Евтрофирование малых рек Молдавии и его влияние на альгофлору. / В.М. Шаларь, С.Е Брызгу, А.А. Обух, Л.Т. Боля. – К.: Наук, думка, 1975.- 149-150 с.
17. Криштофорович А.Н. Диатомовый анализ / Под ред А.Н. Криштофоровича: В 3 кн. - М.: Госгеоиздат, 1950 – 123-130 с.
18. Земля тривоги нашої. За матеріалами доповіді про стан навколишнього природного середовища в Донецькій області у 2008 році / Під ред. С.В.Третьякова. - Донецьк: Новый мир. - 2009. – 158 с.

19. Государственный комитет по экологической политике и природным ресурсам при Главе Донецкой Народной Республики – Электронный ресурс [https://gkesopoldnr.ru/news_040817_4/] дата обращения 20.11.2020
20. Стёпкин В.П. Решение водного вопроса / Стёпкин В.П. // Иллюстрированная история Юзовки-Сталино-Донецка. – Донецк: Апекс, 2007. – 60 с.
21. Стёпкин В.П. Полная история Донецка (1779 – 1991).: Донецк. Апекс – 2008. – 552 с.
22. Кипренко Ю.А. О механизме действия токсинов синезеленых водорослей – возбудителей "цветения" воды на микробную флору / Ю.А. Карпенко и др. – К.: Наук. думка, 1975. – 115 – 116 с.
23. Топачевский А.В. Пресноводные водоросли Украинской ССР. / А.В. Топачевский, Н.П. Масюк К.: – Наук. думка – 1984 – 26 – 32 с.
24. Кульский Л.А., Справочник по свойствам, методам анализа и очистке воды / Л.А. Кульский, И.Т. Гороновский, А.М. Когановский, М.А. Шевченко: Под ред. И.Т. Гороновский. – К.: Наук. думка, 1980. – 680 с.
25. Костоусова М.Н. Особенности очистки воды от фитопланктона // М.Н. Костоусова // Водные ресурсы. – 1974. – Том № 3 – 397 с.
26. Царенко П.М. Краткий определитель хлорококковых водорослей Украинской ССР / П.М. Царенко. – К.: Наук. думка, 1990. – 208 с.
27. Царенко П.М. Дополнение к разнообразию водорослей Украины / П.М. Царенко, О.А. Петлеванный. – К.: Ин-т ботаники им. Н.Г. Холодного НАНУ, 2001. – 130 с.
28. Рябушко Л.И. Атлас токсичных микроводорослей Черного и Азовского морей / Л.И. Рябушко // – Севастополь: ЭКОСИ – Гидрофизика, 2003. – 7-8 с.
29. Топачевський О.В. Визначник прісноводних водоростей Української СРСР. XI. Діатомові водорості – *Bacillariophyta* / О.В.Топачевський, О.П.Оксіюк – К.: Вид-во АН УРСР, 1960. – 412 с.
30. Методика спектрофотометрического определения хлорофилла *a*. ГОСТ 17.1.04.02-90. – М.: Изд-во стандартов, 1990. – 1-13 с.
30. Cyanoprocarvota, Euglenophyta, Chrysophyta, Xanthophyta, Raphidophyta, Phaeophyta, Dinophyta, Cryptophyta, Glaucocystophyta and Rhodophyta / Eds.: P.M. Tsarenko, S.P. Vasser & Eviatar Nevo. – Ruggell: A.R.G. Gantner Verlag, 2006. – 713 p.
31. Algae of Ukraine: diversity, nomenclature, taxonomy, ecology and geography. Vol. 2. Bacillariophyta / Eds.: P.M. Tsarenko, S.P. Vasser & Eviatar Nevo. – Ruggell: A.R.G. Gantner Verlag, 2009. – 413 p.