

Государственный научно-исследовательский институт
озерного и речного рыбного хозяйства
(ГосНИОРХ)

на правах рукописи

Ляшенко
Оксана Александровна

**СТРУКТУРА И ПИГМЕНТНЫЕ
ХАРАКТЕРИСТИКИ ФИТОПЛАНКТОНА
МЕЛКОВОДНОГО ОЗЕРА
(НА ПРИМЕРЕ ОЗ.НЕРО)**

03.00.18 - гидробиология

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата биологических наук

Санкт-Петербург, 1995 .

Работа выполнена в Институте биологии внутренних вод
им. И.Д. Папанина РАН

Научный руководитель- доктор биологических наук,
профессор Г.М.Лаврентьева

Официальные оппоненты: доктор биологических наук
И.С.Трифорова
доктор биологических наук
В.В.Бульон

Ведущая организация - Ботанический институт РАН

Защита диссертации состоится "19" декабря 1995г. в 13 часов на заседании диссертационного совета К 117.03.01 при Государственном научно-исследовательском институте озерного и речного рыбного хозяйства по адресу:

199053, Санкт-Петербург, В-53, наб. Макарова, 26.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ГосНИОРХ

Автореферат разослан 18 ноября 1995г.

Ученый секретарь специализированного совета
кандидат биологических наук,
старший научный сотрудник М.А.Дементьева

Актуальность исследования. Озеро Неро - уникальный природный водоем, находящийся на поздней стадии олиготрофно-эвтрофной сукцессии. В прошлом озеро отличалось высокой рыбопродуктивностью, в настоящее время актуальна проблема ее восстановления. Водоем имеет также богатые запасы сапропеля, промышленная добыча которого может существенно повлиять на состояние его экосистемы. В большинстве внутренних водоемов именно фитопланктон является основным создателем первичной продукции, поэтому изучение его структуры, количественного развития, пространственного распределения, пигментных характеристик позволяет получить представление об особенностях функционирования в водоеме главной составляющей первого звена трофической цепи, в значительной степени определяющей структуру и функционирование его экосистемы в целом. Ранее фитопланктон озера изучался фрагментарно и определялся только его видовой состав. Наши исследования фитопланктона озера проводились в 1987-1991гг. в составе комплексной экспедиции ИБВВ АН СССР, задачей которой являлась оценка современного состояния экосистемы водоема.

Цель и задачи исследования. Целью данной работы была оценка особенностей структуры и пигментных характеристик фитопланктона мелководного озера (на примере оз.Неро). Для достижения указанной цели необходимо было решить следующие задачи:

1. Выявить флористический состав фитопланктона, проследить его пространственно-временные изменения, оценить таксономическую индивидуальность фитопланктона озера Неро в сравнении с другими озерами.
2. Рассмотреть особенности вегетации массовых видов фитопланктона в озере, их количественные показатели и сезонную динамику.
3. Изучить сезонную динамику структурных и количественных показателей фитопланктона, их пространственное распределение, влияние на них некоторых экологических факторов.
4. Оценить содержание, пространственное распределение и сезонные изменения фотосинтетических пигментов фитопланктона.
5. Определить соотношение биомассы фитопланктона и содержания пигментов и оценить влияние некоторых экологических факторов на удельное содержание пигментов в биомассе.

Научная новизна. Впервые для озера Неро составлен подробный таксономический список водорослей планктона, включающий их эколого-географические характеристики, 328 таксонов водорослей отмечено в озере впервые. Описана сезонная сукцессия фитопланктона, его пространственное распределение, межгодовые изменения количественных показателей, что позволило сделать репрезентативный вывод о сущности специфических условий обитания фитопланктона в озере. Впервые в оз. Неро определено содержание фотосинтетических пигментов и прослежены его сезонные и межгодовые изменения, рассмотрено соотношение содержания пигментов и биомассы фитопланктона. По количественным показателям фитопланктона и содержанию хлорофилла *a* произведена оценка трофического статуса озера.

Практическое значение. Полученные данные могут быть использованы для оценки современного состояния экосистемы водоема и для прогноза ее изменения при возможных гидротехнических и рыбохозяйственных мероприятиях, а также при увеличении масштабов добычи сапропеля. Результаты работы вошли в отчеты по темам "Экология и продуктивность планктонных и бентосных альгоценозов" и "Разработка научных основ реконструкции деградированных озерных экосистем", а также в отчет по ГНТП "Биологическое разнообразие".

Апробация работы. Материалы диссертации докладывались на всесоюзном совещании "Антропогенные изменения экосистем малых озер" (Санкт-Петербург, 1990г.), на международной конференции "Экологические проблемы бассейнов крупных рек" (Тольятти, 1993), на международной конференции "Symposium of monitoring of water pollution" (Борок, 1994), на заседании Российского ботанического общества (Санкт-Петербург, 1995), на Четвертой всероссийской конференции по водным растениям (Борок, 1995), на международной конференции "Современные проблемы гидроэкологии" (Санкт-Петербург, 1995).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 8 работ.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, восьми глав, выводов, списка литературы и приложения. Работа изложена на 246 страницах, включает 40 таблиц и 34 рисунка. Список литературы содержит 281 работу, из них 128 - иностранных авторов.

Содержание работы

1. Материалы и методика исследований.

Для сбора проб фитопланктона по всей акватории озера была установлена сеть стандартных станций. Пробы отбирались в течение безледных периодов 1987-1991гг. и подо льдом в марте 1988г. В 1987-1989гг. параллельно собирался материал для определения фотосинтетических пигментов. Пробы фитопланктона концентрировались методом фильтрации с применением мембранных фильтров, фиксировались уксусно-йодо-формалиновым фиксатором (Методика изучения..., 1975). Выбор оптимального режима фильтрования был проведен на основании литературных данных и собственных исследований. Для определения диатомовых изготавливались постоянные препараты и использовалась электронная микроскопия. При составлении флористического списка за основу взята классификация водорослей Паркера (Саут, Уиттик, 1990). Эколого-географические характеристики водорослей взяты из систематических сводок и специальных работ (Прошкина-Лавренко, 1953; Давыдова, 1985). Для оценки сапробности использовались списки видов-индикаторов (Sladeczek, 1973; Wegl, 1983). Таксономическое сходство оценивалось с использованием коэффициента Серенсена (Шмидт, 1980). Подсчет водорослей использовался в камере типа "Учинская" объемом 0.01мм³. Для статистически достоверного подсчета организмов фитопланктона использовались рекомендации Г.В. Кузьмина (Методика изучения..., 1975) с некоторыми дополнениями. Биомасса определялась

счетно-объемным методом, 1мг сырой биомассы водорослей приравнивался к 10⁹мкм³ и к 1 ккал. Структурное разнообразие фитопланктона оценивалось при помощи индекса Шеннона (Magurran, 1988). При определении показателя фотосинтетической активности единицы биомассы фитопланктона (Р/В-коэффициент) использовались данные по первичной продукции Л.Е. Сигаревой (Сигарева, 1991). При расчетах использовался оксикалорийный коэффициент, равный 3.38. Содержание пигментов определялось спектрофотометрически на спектрофотометре СФ-26. Содержание хлорофиллов *a*, *b* и *c* рассчитывалось по уравнениям Джеффри и Хамфри (Jeffrey, Humphrey, 1975) феопигментов - по формулам Лоренцена (Lorenzen, 1967). Для расчета содержания каротиноидов использовалась пигментная модель, в основу которой были положены отличия коротковолновой области спектров поглощения ацетоновой вытяжки из фитопланктона разного состава (Сигарева, 1993а). Всего обработано 210 количественных проб фитопланктона, проведено 276 определений содержания пигментов. Усредненные для озера показатели рассчитывались как среднеарифметические, так как в гидрологическом отношении водоем не дифференцирован. Показатели, средние для вегетационного периода, рассчитывались как средневзвешенные с учетом временных промежутков между датами отбора проб. За границы между различными сезонами безледного периода принимались календарные сроки.

Для расчета биомассы фитопланктона и содержания пигментов использовались программы, разработанные на ВЦ ИБВВ РАН инженером-программистом Т.Л. Сметаниной. Последующая статистическая обработка данных проводилась на компьютере РС-АТ-386 с применением программных пакетов QUATTRO-PRO, STATGRAPH, PARADOX. Достоверными считали коэффициенты корреляции при уровне значимости не менее 0.01.

2. Природные условия района исследований.

Озеро Неро занимает южную часть Ростовской приозерной котловины, и существует около 1 млн. лет. Климат района умеренно-континентальный. Продолжительность безледного периода в среднем равна 186 дням. Величина площади озера изменяется в зависимости от водности года, в среднем составляет - 51.7 км²; максимальная глубина - 4.7 м, средняя - 1м, годовой коэффициент водообмена - 2.19. Южная часть озера имеет сложное очертание, обособляются юго-западный (Левский залив) и юго-восточный плесы. Многие исследователи считают озеро умирающим, однако за последние 180 лет его глубины и площадь изменились незначительно (Новский, 1970).

В безледный период водная толща перемешивается даже при ветрах средней силы. Озеро гомотермно, разность температур на отдельных участках акватории не превышает 2°C. Для зимних месяцев типична обратная термическая стратификация.

Погодные условия существенно отличались в разные годы исследований озера. Для 1987г. было характерно позднее вскрытие озера от льда

после предшествующей исключительно холодной зимы и преобладание в безледный период ветреной и дождливой погоды; в 1988 и 1989 гг. были зарегистрированы самые ранние из известных сроки вскрытия озера, а в безледные периоды преобладал антициклональный тип погоды. Наиболее высокими летние температуры были в 1989г. (Ривьер, 1991).

Прозрачность воды в течение безледного периода за время исследований изменялась от 0.35 до 1.8 м. По химическому составу воды оз.Неро заметно выделяется среди других озер северной части Русской равнины высоким содержанием хлоридов. Жесткость воды колеблется от 2.43 до 4.4 мг экв/л. Реакция воды в течение большей части года нейтральная (рН 7-7.2). Содержание общего азота в озере в 1987-1989гг. изменялось от 0.52 до 2.74 мг/л, фосфора - от 0.016 до 0.42 мг/л.

3. Таксономический состав и эколого-флористический анализ фитопланктона

Первые сведения о флористическом составе фитопланктона озера относятся к 1902 году (Болохонцев, 1903). Данные о составе и обилии планктонных водорослей содержатся также в работах Вислоуха (1921), Грезе (1929, 1930), Гуновой (1975), Ильинского (1970). Палеолимнологические исследования позволяют проследить эволюцию состава фитопланктона озера в течение всего периода его существования (Гунова, 1975; Гунова, Лефлат, 1983; Кордэ, 1956, 1956а, 1959, 1960).

За время выполнения работы с 1987 по 1991гг. в планктоне озера обнаружено 451 таксон водорослей рангом ниже рода, 328 отмечены для озера впервые. У таксонов с известным географическим распространением наибольшую долю (86%) составляли космополиты. Большинство видов (67%) с известной приуроченностью к определенному местообитанию были типичными планктонами. Все таксоны с известным отношением к солености воды принадлежали к пресноводным формам, из них 80% были виды-индифференты. Отношение к рН среды известно только для 136 таксонов, из которых 79- индифференты и 57- алкалифилы. Большинство видов-индикаторов сапробности - β -мезосапробы (47%) и α - β мезосапробы (22%).

Максимальное количество таксонов было отмечено у зеленых водорослей, далее следовали диатомовые и синезеленые (табл.1).

Таблица 1 Структура таксономического состава фитопланктона оз.Неро

Класс	Родов	Видов	Количество Внутривид. таксонов	Идентиф. до рода	Всего таксонов
Cyanophyceae	16	51	10	4	65
Chrysophyceae	6	12	2	4	18
Xanthophyceae	7	14	1	0	15
Bacillariophyceae	27	101	7	5	113
Dinophyceae	3	4	0	3	7
Cryptophyceae	3	9	1	1	11
Euglenophyceae	4	36	13	13	52
Chlorophyceae	55	140	21	9	170
всего	121	367	55	19	451

Наибольшей таксономической насыщенностью выделялись роды: Scenedesmus (39 таксонов), Navicula, Nitzschia (по 21), Trachelomonas (20), Phacus (17), Fragilaria (16), Euglena (13), Oscillatoria и Anabaena (по 12), Microcystis и Pediastrum (по 9). В видовом составе фитопланктона наблюдались сезонные изменения. Подо льдом наиболее часто встречались зеленые водоросли родов Chlamydomonas, Chlorogonium, криптомонадовые и динофитовые (родов Cryptomonas, Gymnodinium). Преобладание в этот период видов - миксотрофов свидетельствовало о неблагоприятных условиях для фотосинтеза и значительной роли гетеротрофии в зимнем метаболизме водорослей озера. Некоторые представители родов Chlamydomonas, Gymnodinium и все виды р.Chlorogonium отмечались только подо льдом.

В безледный период основу таксономического разнообразия фитопланктона составляли синезеленые, диатомовые и зеленые водоросли. В сезонном аспекте анализировалось флористическое сходство за трехлетний период. Наибольшее разнообразие фитопланктона отмечалось летом (239 таксонов). Флористическое сходство было максимальным у летней и осенней альгофлор (коэффициент Серенсена равнялся 0.75) и минимальным у весенней и осенней (0.69). В межгодовом аспекте коэффициент Серенсена был достаточно высок и варьировал от 0.67 для 1987-1989гг. до 0.72 для 1988-1989гг., что отражало сходство погодных условий в течение безледного периода этих лет. Наибольшее количество таксонов водорослей - 222 отмечено в южной части озера (Левский залив), что, вероятно, обуславливалось эффектом экотона. Коэффициент Серенсена для фитопланктона разных станций варьировал от 0.61 до 0.73. Принимая за границу флористического сходства величину коэффициента 0.5 (Вайнштейн, 1976), можно говорить о таксономическом единстве планктонной альгофлоры безледного периода в пространственно-временном отношении. Флористический состав фитопланктона устьевых участков двух наиболее крупных притоков озера - рек Сары и Ишни был значительно беднее озерного (соответственно 92 и 93 таксона), а их влияние на таксономический состав фитопланктона озера незначительным.

Сравнение состава планктонной альгофлоры в 1987-1991гг. с данными предыдущих исследований (Ильинский, 1970) позволило сделать вывод о не-

значительном изменении флористического состава фитопланктона за последние тридцать лет.

Среди средних по размерам озер Восточно-Европейской равнины оз. Неро выделялось небольшим разнообразием бентосных диатомей (27 таксонов) при аналогичном составе планктонных форм. Таксономическое разнообразие зеленых водорослей в озере было обусловлено в основном хлорококковыми, а разнообразие десмидиевых было значительно меньше, чем в других озерах (11 таксонов). В то же время насыщенность таксонами класса *Xanthophyceae* (табл.1) оказалась заметно выше, чем в других озерах. Разнообразие эвгленовых, как и в большинстве озер, определялось преимущественно представителями родов *Phacus*, *Euglena*, *Trachelomonas*, однако, таксономическая насыщенность этих родов в оз. Неро была исключительно велика. Флористическое сходство фитопланктона оз. Неро с фитопланктоном наиболее близкого географически озера Плещеево (Экосистема озера Плещеево, 1989) невелика (коэффициент Серенсена - 0.37), что, вероятно, связано с различными генезисом, морфометрией и трофическим статусом этих водоемов.

4. Особенности развития в оз. Неро массовых видов фитопланктона.

Oscillatoria limnetica - основной доминант фитопланктона озера, ее максимальные численность и биомасса, как правило, отмечаются во второй половине лета и осенью. В 1988 и 1989 гг. плотность популяции этого вида увеличивалась с мая по октябрь, достигая максимальных показателей (до 3 миллиардов кл/л) осенью, что, вероятно, связано с эвритермностью и олигофотностью, свойственными многим представителям этого рода. (Meifert, 1989). *O. limnetica* не относится к числу наиболее распространенных доминантов фитопланктона (Шкундина, 1983). В оз. Неро ее массовому развитию, очевидно, благоприятствуют исключительная мелководность водоема и постоянное ветровое перемешивание, не дающие конкурентных преимуществ видам с газовыми вакуолями.

Aphanizomenon gracile. Наибольшая биомасса этого вида наблюдалась в первой половине лета (до 10.6 мг/л в июле 1987 г.). Развитию *Aphanizomenon gracile* в озере, в противоположность *Oscillatoria limnetica*, вероятно, способствовало преобладание в безледный период циклонального типа погоды.

Anabaena macrospora f. gracile. Массовое развитие этого вида в озере наблюдалось однократно - в июле 1988 г. Его численность достигала 10 млн. кл/л, биомасса - 10 мг/л, а в среднем для озера биомасса *Anabaena macrospora f. gracile* составила 20% биомассы фитопланктона.

Aulacoseira ambigua постоянно присутствовала в планктоне озера с мая по октябрь. В наибольших количествах отмечалась летом и в первой половине осени. Максимальная численность - до 7.6 млн. кл/л была в начале сентября 1988 г., при этом биомасса вида в среднем составляла 66% общей биомассы диатомовых. Динамика *Aulacoseira ambigua* в озере в целом была аналогична таковой в других эвтрофных озерах (Трифенова, 1994), однако,

в 1989 г. ее максимальная биомасса наблюдалась в конце октября, что противоречит представлениям об этом виде как предпочитающем условия повышенной освещенности и температуры (Shear et al., 1976).

Scenedesmus communis - наиболее многочисленный вид среди зеленых водорослей. В планктоне озера часто образует конгломераты из нескольких ценобиев. Встречается с мая по октябрь, максимальная численность (19.6 млн. кл/л) отмечена в октябре 1989 г. Каких-либо закономерностей в сезонных изменениях биомассы этой водоросли не выявлено.

Golenkinia radiata заметна в комплексе зеленых водорослей преимущественно в летний период. Максимальная численность (9.6 млн кл/л) отмечалась в июле 1991 г., при биомассе 13.6 мг/л, что составляло 72% от общей биомассы зеленых водорослей.

Dinobryon bavaricum var. *medium*. Массовое развитие этого вида - до 6.5 млн. кл./л наблюдалось в мае 1987 г. В озерах развитие представителей р. *Dinobryon*, наблюдается преимущественно весной, сразу после вскрытия водоема от льда (Spodniewska, 1983; Hecky et al., 1986 и др.). Вероятно, "цветение" озера *Dinobryon bavaricum* var. *medium* в 1987 г. удалось зарегистрировать благодаря поздним срокам вскрытия озера от льда.

В главе рассмотрены также некоторые особенности вегетации в озере *Lyngbya limnetica*, *Oscillatoria limnetica* f. *brevis*, *Anabaena lemmermannii*, *Aulacoseira granulata*, *Stephanodiscus hantzshii*, *Fragilaria construens* var. *binodis*, *Nitzschia acicularis*, водорослей рода *Synedra* (*S. tenera*, *S. berolinensis*, *S. acus*) и рода *Cryptomonas* (*C. marssonii*, *C. ovata*, *C. gracilis*, *C. borealis*).

В целом, развитие массовых видов в фитопланктоне оз. Неро было аналогично другим водоемам. Особенностью являлись высокая численность и полное преобладание в планктоне *Oscillatoria limnetica*. а также случаи массовой вегетации *Anabaena macrospora f. gracile* и *Golenkinia radiata*.

5. Сезонная сукцессия и пространственное распределение фитопланктона

В фитопланктоне в течение всего периода наблюдений численно преобладали синезеленые водоросли, а основу общей биомассы составляли синезеленые, диатомовые и зеленые водоросли. Численность и биомасса фитопланктона от весны к лету увеличивались (рис.1,2). Изменение этих показателей в летне-осенний период зависело от гидрометеорологических условий года. Преобладание в безледный период циклонального типа погоды обуславливало существенное уменьшение численности и биомассы фитопланктона осенью, а доминирование погоды антициклонального типа способствовало сохранению количества фитопланктона осенью на летнем уровне. В 1989 г. именно осенью отмечались максимальные величины биомассы фитопланктона (рис.2). Летне-осенний максимум в годы с антициклональным типом погоды свойственен и другим эвтрофным водоемам (Ястремский, 1980; Трифенова, 1990). Сезонной динамики фитопланктона в южной части акватории озера не наблюдалось: структура и показатели обилия фитопланктона здесь обуславливались либо физико-химическими условиями

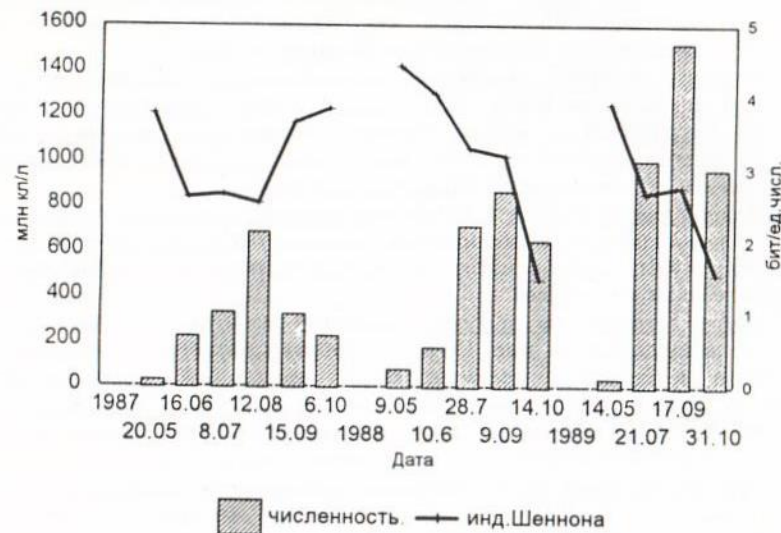


Рис. 1 Динамика численности фитопланктона оз.Неро (млн.кл./л) и индекса Шеннона по численности (бит/ед. числ.)

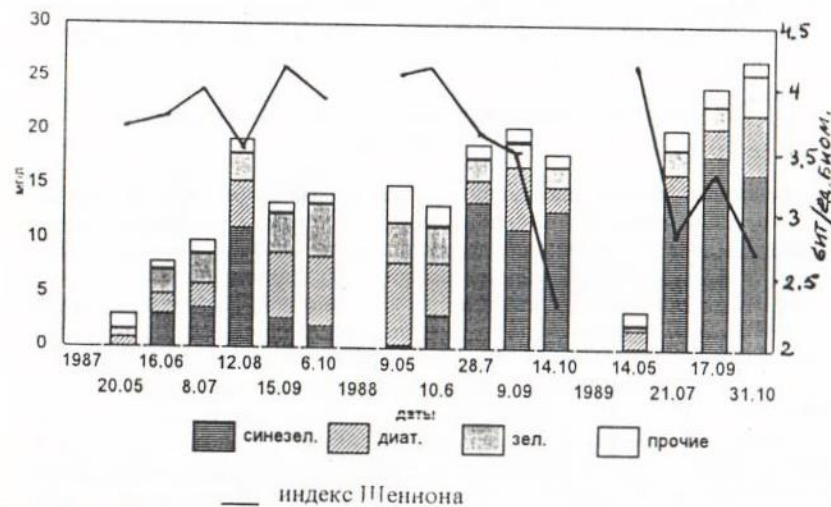


Рис. 2 Динамика биомассы фитопланктона оз.Неро (мг/л) и индекса Шеннона по биомассе (бит/ед. биом.)

этого участка озера, либо периодическим поступлением богатых фитопланктоном вод из центральной части акватории озера. Численность фитопланктона за весь период наблюдений изменялась от 0.4 до 3496 млн. кл./л. В среднем 47% численности весеннего фитопланктона составляли синезеленые, 28% - зеленые и 16% - диатомеи. Общая численность фитопланктона весной изменялась от 6.9 до 114.7 млн.кл./л с максимальными показателями в 1988г. (рис.1). В летнем фитопланктоне озера постоянно численно преобладали синезеленые (в среднем 94%), Общая численность летнего фитопланктона варьировала от 6.3 до 1881.5, чаще всего отмечались величины до 350 млн. кл./л, а максимальные значения были в 1989г. (рис1). В среднем 93 % численности осеннего фитопланктона составляли синезеленые водоросли. Осенью численность планктонных водорослей изменялась от 8.3 до 3526.7, с преобладанием показателей до 400 млн.кл./л. В целом максимальные показатели численности отмечались летом и осенью, минимальные - весной (рис.1). Северная и центральная части озера характеризовались наиболее высокими показателями численности (в среднем до 719.4 млн.кл./л), а южная - наименьшими (в среднем до 117 млн.кл./л).

Биомасса фитопланктона безледного периода варьировала от 1 до 67 мг/л. В весеннем фитопланктоне по биомассе преобладали диатомеи (45%), при этом зеленые водоросли составляли 23%. В мае 1987г. в общую биомассу значительным был также вклад золотистых, а в мае 1988г.- криптонад. Показатели биомассы весной изменялись от 1.4 до 22.7 мг/л с наибольшими значениями в 1988г (рис.2). Основу биомассы летнего фитопланктона составляли синезеленые (53%), зеленые (20%) и диатомовые водоросли (18%). Биомасса планктонных водорослей летом изменялась от 2.3 до 52.6 мг/л. Максимальная биомасса в среднем по озеру отмечалась в 1990г. Осенью биомасса фитопланктона изменялась от 1 до 67 мг/л, максимальные показатели отмечались в 1989г. (рис.2). В среднем 55% биомассы составляли синезеленые, 24% диатомовые и 15%- зеленые водоросли и по структуре биомассы фитопланктон озера можно было охарактеризовать как синезелено-диатомово-зеленый. По биомассе и преобладающим систематическим группам на озере можно было выделить два района: северный и центральный участки с наибольшими величинами биомассы (в среднем за весь период наблюдений до 20.2 мг/л) и наибольшей долей синезеленых водорослей (до 53%), и южный - с невысокими биомассами (в среднем до 6.3 мг/л. и смешанным составом фитопланктона (27% диатомовых и 23% зеленых водорослей). Если принять предположение о разделении озер в процессе эволюции по двум типам функционирования (Покровская, 1978), то можно сказать, что северная и центральная части акватории озера относятся к "фитопланктонному", а южная часть - к "макрофитному" типу.

Средние показатели численности фитопланктона от 1987 к 1989г. увеличивались более чем в 3 раза, а биомассы - более чем в 1.7 раз (табл.2). Максимальные средние численность и биомасса диатомовых и зеленых водорослей отмечались в 1987г., при минимальной общей биомассе фитопланктона.

Таблица 2

Средние за три года численность (млн.кл./л, числитель), биомасса (мг/л, знаменатель) фитопланктона, индекс Шеннона (бит/ед. числ. - числитель, бит/ед. биом. - знаменатель), содержание хлорофилла *a* (мкг/л, числитель) и каротиноидов (мкг/л, знаменатель), процентное содержание в сырой биомассе фитопланктона хлорофилла *a* (числитель) и каротиноидов (знаменатель) в оз. Неро.

Год	Синез	Диат.	Зелен.	Общая	Пч НБ	хл <i>a</i> кар	%хл <i>a</i> % кар
1987	340.6	9.04	25.96	376	3.14	62.87	0.6
	5.03	4.34	3.04	13.39	3.89	30.92	0.32
1988	599.27	6.76	21.22	620.3	3.25	74.75	0.51
	10.71	3.64	2.32	18.01	3.53	34.51	0.24
1989	1144.3	7.31	16.29	1169.1	2.72	96.54	0.51
	16.23	3.09	2.48	23.43	3.27	49.94	0.3
1987-1989	705.72	7.7	21.16	721.8	3.07	78.05	0.55
	10.65	3.69	2.61	18.27	3.62	38.46	0.29

Увеличение количества фитопланктона в 1988 и 1989гг. произошло исключительно за счет роста численности и биомассы синезеленых (от 1987 к 1989гг. - более чем в три раза), что отмечается при антициклональных условиях и малой водности и в других эвтрофных водоемах (Авинская, 1983; Ястремский, 1986; Трифонова, 1994). До 98 % средней численности фитопланктона составили синезеленые водоросли. В биомассе фитопланктона доля синезеленых от 1987 к 1989гг. возросла от 37 до 69%, а диатомовых и зеленых уменьшилась соответственно от 32 до 13% и от 23 до 10%. Средние показатели биомассы фитопланктона оз.Неро сопоставимы с максимальными величинами в озерах разных природных зон (Михеева, 1975). Состав доминирующего комплекса фитопланктона существенно отличается от соседних водоемов. Из озер Европейской части России оз.Неро по биомассе фитопланктона и характеру ее сезонной динамики наиболее сходно с озером Псковским (Ястремский, 1980) и Вишневским (Трифопова, 1990). В соответствии с известными шкалами трофности оз.Неро по средним показателям биомассы можно отнести либо к эвтрофным (Винберг, 1960; Бульон, 1983), либо гипертрофным водоемам (Китаев, 1986; Трифонова, 1994; Vollenweider, 1989). Если под гипертрофным понимать водоем с нестабильной экосистемой (Трифопова, 1990), то озеро Неро, несмотря на высокую биомассу фитопланктона, не соответствует этому определению. Разница в толковании трофического статуса водоема с таким уровнем биомассы, видимо, связана с его морфометрическими особенностями, так как мелководные полимиктические озера могут иметь большую биомассу фитопланктона при значительно меньшей концентрации биогенов в толще воды, чем димиктические.

Состав доминантов по биомассе основных систематических групп водорослей и фитопланктона в целом изменялся в сезонном аспекте. Весной синезеленые были представлены преимущественно *Microcystis pulverea*, *Aphanothece clathrata f. brevis* и *Lyngbya limnetica*. Только в 1989гг. преобладала *Oscillatoria limnetica*, а в 1991гг. - *Microcystis wesenbergii*. Доминантами синезеленых летом были: *Oscillatoria limnetica*, *Aphanizomenon gracile*, *Anabaena macrospora f. gracilis*. В осеннем комплексе синезеленых господствовала *Oscillatoria limnetica*. Структура диатомового комплекса на протяжении вегетационного периода оставалась стабильной, межсезонные различия имели, в основном, количественный характер. Весной преобладали: центрическая *Aulacoseira ambigua* и пеннатные родов *Synedra*, *Fragilaria*, *Nitzschia*. Летом доминировали *Aulacoseira ambigua* и *A. granulata*. Осенью вновь возрастала роль пеннатных видов при преобладании *Aulacoseira ambigua* и *Stephanodiscus hantzshii*. Комплекс зеленых был стабилен как в структурном, так и в количественном отношении: в течение всех сезонов и всех лет наблюдений основу его составляли хлорококковые водоросли, среди которых преобладала *Scenedesmus communis*. Наряду с ней основу комплекса зеленых составляли: *Golenkinia radiata*, *Scenedesmus acuminatus*, *Pediastrum boryanum*, *P. duplex*, *Tetrastrum staurogeniaeforme*, *Tetraedron caudatum var. longispina*, *Monoraphidium contortum* и др. Наиболее типичными доминантами фитопланктона в целом являлись: весной - *Aulacoseira ambigua*, *Synedra tenera*, *Scenedesmus communis*, водоросли рода *Cryptomonas*; летом - *Oscillatoria limnetica*, *Aphanizomenon gracile*, *Aulacoseira ambigua*; осенью - *Oscillatoria limnetica*, *Aulacoseira ambigua*, *Stephanodiscus hantzshii*. По составу доминирующего комплекса озеро Неро можно отнести к "осцилляториевому" типу, свойственному эвтрофным озерам. В водоеме, представляющем почти целиком литоральную зону, можно было бы ожидать развития прудового комплекса доминантов с преобладанием зеленых водорослей. Вероятно, сохранению типично озерного комплекса доминантов способствует высокая минерализация вод озера.

Численность и биомасса фитопланктона тесно коррелировали между собой ($r=0.87$), что отражало постоянство доминантных форм планктонных водорослей. Отношение численности и биомассы фитопланктона изменялось от 1 до $96 \cdot 10^6$, а среднее значение - $27 \cdot 10^6$ кл/мг было близким к аналогичным показателям в эвтрофных озерах.

Средний объем клеток фитопланктона за весь период наблюдений варьировал от 10.38 до 992.9, преобладали величины среднеклеточного объема до 100 мкм³. За три года величина среднеклеточного объема составила 79.32 мкм³. Максимальные средние объемы клеток фитопланктона отмечались весной, когда преобладали диатомовые водоросли, а минимальные - летом, за счет большого обилия мелкоклеточных синезеленых. Между средним объемом клеток и численностью фитопланктона отмечалась отрицательная зависимость ($r=-0.87$), имеющая степенной характер.

Анализ влияния некоторых абиотических факторов на количественное развитие фитопланктона показал, что между прозрачностью воды и биомассой планктонных водорослей в озере существует отрицательная зави-

симость ($r=-0.69$). Отсутствие зависимости между изменениями температуры и количества фитопланктона свидетельствует об эвритермности основных его доминантов. Отмечена положительная достоверная, хотя и слабая связь между концентрациями общего азота и фосфора и биомассой фитопланктона ($r=0.6$ и $r=0.44$). Это, вероятно, связано с дополнительным обеспечением водорослей биогенами за счет их поступления из донных отложений и высокой скоростью "оборачиваемости" биогенов в толще воды.

Анализ соотношения отдельных звеньев пищевой цепи показал отсутствие достоверной зависимости между количественными показателями фитопланктона и зоопланктона. Косвенные данные о влиянии растительноядного зоопланктона на фитопланктон получены при изучении пигментных характеристик зоопланктона. Установлено, что эффект выедания водорослей прослеживался только весной, в период преобладания по биомассе диатомовых и зеленых водорослей, и практически не отмечался при массовом развитии синезеленых, что подтверждало представление о слабом потреблении этих водорослей зоопланктоном (Крючкова, 1989; Сигарева, Ляшенко, 1991).

Величины суточных Р/В коэффициентов в слое максимального фотосинтеза в озере варьировали от 0.78 до 8.09 и значительно превышали аналогичные показатели в других озерах. (Михеева, 1977; Трифонова, 1990; Оглы, 1993). Значения Р/В коэффициентов водорослей планктона, рассчитанные за период наблюдений одного года, в течение трех лет изменялись незначительно (от 285 до 290). Эти величины - одни из наибольших для озер данной природной зоны, свидетельствующие об исключительно высокой скорости оборачиваемости биомассы фитопланктона, чему способствуют: мелководность озера (практически вся толща воды представляет собой эвфотную зону) и ветровое перемешивание, обеспечивающее водорослям постоянный приток биогенов.

6. Структурное разнообразие фитопланктона и его динамика.

За весь период наблюдений значения индекса Шеннона по численности водорослей изменялись от 0.92 до 5 бит/ед.числ., а по биомассе - от 1 до 4.95 бит/ед.биом. В 1987г. значения индекса уменьшались от весны к лету и возрастали осенью. В 1988 - 1989 гг. отмечалось уменьшение значений индекса от весны к осени, что отражало увеличение монодоминантности сообществ планктонных водорослей в течение безледных периодов этих лет, за счет интенсивной вегетации *Oscillatoria limnetica* (рис.1,2). Уменьшение значений индекса Шеннона при массовом развитии одного или нескольких видов наблюдается и в других водоемах (Лаврентьева, 1986; Mihnea, 1986 и др.). В озере Неро, как и в ряде мелководных эвтрофных озер (Трифопова, 1990; Voros, Nemeth, 1980 и др.), большие величины средних показателей индекса Шеннона отмечались при высоких средних показателях количественного развития фитопланктона (табл.2), что противоречит распространенным представлениям о снижении видового разнообразия на определенном этапе повышения продуктивности сообществ (Бигон и

др., 1989; Tilman, 1982). Основным фактором, поддерживающим высокое структурное разнообразие фитопланктона, очевидно, является ветровое перемешивание и обуславливаемая им гетерогенность среды. Необходимо отметить, что достаточно большие величины индекса Шеннона - от 0.76 до 3.8 бит/ед.числ. и от 1.4 до 4. бит/ед.биом. отмечались и при стабильности водных масс подо льдом. По-видимому, естественный характер олиготрофно-эвтрофной сукцессии озера способствует сохранению в нем большого числа видов планктонных водорослей.

7. Динамика и пространственное распределение пигментов фитопланктона.

В течение трех лет концентрация хлорофилла *a* изменялась от 13 до 138 мкг/л, при этом наибольшие концентрации обычно отмечались весной, наименьшие - летом (рис.3).

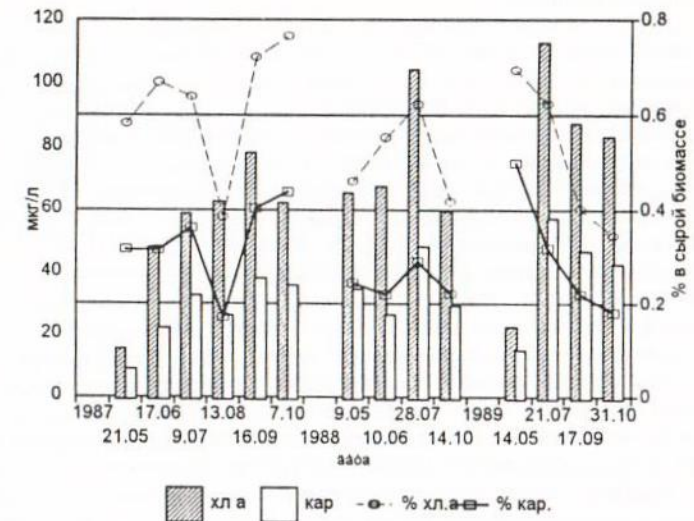


Рис.3 Динамика содержания хлорофилла *a* и каротиноидов (мкг/л) и процентного содержания хлорофилла *a* и каротиноидов в биомассе фитопланктона оз.Неро

Максимальные концентрации хлорофилла в годы с антициклональным типом погоды (1988-89гг.) значительно превышали максимум 1987г. с холодной, ветреной погодой (рис.3). В среднем для трех лет наибольшие концентрации хлорофилла *a* (до 82) были сосредоточены в северной и центральной частях акватории, наименьшие (до 36 мкг/л) - в южной. Содержание хлорофилла *a* в течение трех лет изменялось от 0 до 7.94, хлорофилла *c* - от

1.2 до 15 мкг/л. Хлорофилл *a* составлял основную часть пигментного фонда фитопланктона. Наибольшее его содержание (до 99%) в сумме всех хлорофиллов отмечалось при интенсивном развитии синезеленых водорослей, которые не содержат хлорофиллов *b* и *c*. Относительное содержание феофигментов в их сумме с чистым хлорофиллом *a* в течение трех лет варьировало от 0.05 до 0.1%. Сезонная динамика этого показателя характеризовалась весенним максимумом (до 44.5% в мае 1987г.) и летним минимумом (до 14.1% в июле 1989г.). Наличие весеннего максимума согласовалось с выводами о наиболее интенсивном выедании водорослей зоопланктоном весной (Сигарева, Ляшенко 1991). Среднее содержание феофигментов в водной толще озера относительно других мелководных водоемов было невелико: от 18% в 1989г. до 26% в 1987г., что, в первую очередь, было связано с ограниченным поступлением донных осадков в водную толщу. На содержание феофигментов также оказывало влияние явление фотодеструкции (Ведерников, 1973; Бульон, 1983), поэтому минимальное содержание феофигментов в 1989г., вероятно, было связано с наибольшей энергией солнечной радиации.

Концентрация каротиноидов в течение безледных периодов 1987-1989гг. изменялась от 8 до 64 мкг/л. Между содержанием каротиноидов и хлорофилла *a* существовала тесная связь с коэффициентом корреляции в целом за три года 0.96. Сезонная динамика содержания каротиноидов характеризовалась летним максимумом за исключением небольшого понижения их концентрации в июне 1988г. и увеличения в сентябре 1987г. (рис.3). В среднем за три года наибольшие концентрации каротиноидов (до 39.5) отмечались на станциях севера и центра озера, наименьшие - на станциях в южной части (до 19.2 мкг/л).

Соотношение общих каротиноидов и хлорофилла *a* (C_k/C_{chl}) в озере изменялось от 0.33 до 0.81. Наибольшие средние по озеру показатели наблюдались весной, при преобладании в фитопланктоне диатомовых, зеленых, золотистых водорослей, а наименьшие - летом, при доминировании синезеленых. В целом в озере величины C_k/C_{chl} относились к наиболее часто отмечаемым в пресноводных водоемах и были значительно меньше, чем в большинстве мелководных озер, где происходит ресуспензирование каротиноидов из донных отложений (Бульон, 1974, 1994). Значения пигментного индекса D_{480}/D_{664} , также характеризующего соотношение каротиноидов и хлорофилла *a*, изменялись от 0.8 до 1.49. Максимальные показатели отмечались при наиболее интенсивной солнечной радиации в 1989г., что согласовалось с представлениями о защитной роли желтых пигментов при повышении интенсивности освещения (Paerl et al., 1983).

Между содержанием хлорофилла *a* (Ch_a) и прозрачностью воды (Z) отмечалась степенная зависимость ($r = -0.77$). В логарифмической форме зависимость выражалась уравнением: $\lg Z = (2.5 \pm 0.84) - (0.41 \pm 0.03) \lg Ch_a$. Многие исследователи отмечают тесную связь содержания хлорофилла *a* с содержанием общего фосфора (Бульон, 1983, 1994; Dillon, Rigler, 1974; Riley, Perras, 1985 и др.). В озере Неро коэффициент корреляции между этими параметрами был невысок ($r = 0.49$), хотя и достоверен. Более тесной была

связь между хлорофиллом *a* с общим азотом ($r = 0.67$). Между содержанием хлорофилла *a* (Ch_a) и концентрацией взвешенного органического вещества (C_{org}) отмечалась линейная зависимость с высоким коэффициентом корреляции ($r = 0.82$), что подтверждало преобладание фитопланктона во взвешенном органическом веществе озера. Зависимость выражалась уравнением: $C_{org} = (0.76 \pm 0.46) + (0.07 \pm 0.005) Ch_a$. С увеличением концентрации хлорофилла *a* от 10 до 100 мкг/л его удельное содержание в взвешенном органическом веществе увеличивалось от 0.45 до 1.2%, что практически совпадало с аналогичными величинами, полученными для других водоемов и соответствовало представлениям о повышении доли фитопланктона в sestone с увеличением продуктивности водоема (Бульон, 1994).

Средние за период наблюдений содержания хлорофилла *a* и каротиноидов возросли от 1987 до 1989г. более чем в 1.5 раза (табл.2). По содержанию хлорофилла *a* и характеру его сезонных изменений озеро в наибольшей степени соответствовало статусу эвтрофного водоема (Винберг, 1960; Бульон, 1983).

8. Соотношение содержания пигментов и биомассы фитопланктона

Содержания хлорофилла *a* и каротиноидов, а также биомасса фитопланктона в озере изменялись почти синхронно, хотя максимумы их не всегда совпадали (рис.2,3). Тесную связь между пигментами и биомассой подтверждали высокие коэффициенты корреляции (в целом за весь период наблюдений - 0.81 для хлорофилла и 0.77 для каротиноидов). Связь хлорофилла *a* (Ch_a) и каротиноидов ($C_{кар}$) с биомассой (B) имела степенной характер, а в логарифмической форме выражалась уравнениями:

$$\lg Ch_a = (1.03 \pm 0.04) + (0.67 \pm 0.04) \lg B \text{ и } \lg C_{кар} = (0.84 \pm 0.04) + (0.58 \pm 0.03) \lg B.$$

Для оценки влияния уровня биомассы фитопланктона на характер зависимости между пигментами и биомассой данные были разделены на две группы. У группы данных с биомассой менее или равной 20 мг/л между хлорофиллом *a* и каротиноидами и биомассой фитопланктона получена линейная зависимость, описываемая уравнением $Ch_a = (14.2 \pm 3.84) + (4 \pm 0.33) B$ ($r = 0.76$) и $C_{кар} = (9.73 \pm 2.02) + (1.79 \pm 0.17) B$ ($r = 0.72$). У группы данных с биомассой более 20 мг/л достоверная связь между этими показателями отсутствовала.

Процентное содержание хлорофилла *a* и каротиноидов в биомассе фитопланктона озера варьировало в широких пределах - от 0.05 до 1.7% и от 0.03 до 1.08% соответственно. Сезонная динамика этих показателей в течение трех лет наблюдений существенно различалась (рис.3). Значительное, более чем на порядок, варьирование величин процентного содержания пигментов, а также отсутствие закономерностей в их сезонной динамике подтверждало, что содержание пигментов может использоваться для оценки биомассы фитопланктона лишь ориентировочно. Наибольшие удельные содержания хлорофилла *a* и каротиноидов в среднем за год отмечались в 1987г. (табл.2). Показатели удельного содержания хлорофилла были близки к наибольшим величинам, отмечаемым в водоемах верхневолжского бассейна и европейских озер. Между удельным содержанием хлорофилла *a* и удель-

ным содержанием каротиноидов в течение всего периода наблюдений отмечалась тесная линейная зависимость ($r=0.93$).

Не установлено достоверной зависимости между прозрачностью воды, общими фосфором и азотом и удельным содержанием хлорофилла *a*, а связь этих показателей с каротиноидами была слабой, хотя и достоверной. Связь удельного содержания хлорофилла *a* в биомассе фитопланктона с процентным содержанием в ней синезеленых водорослей была отрицательной с невысоким, но достоверным коэффициентом корреляции ($r=-0.39$). С процентным содержанием диатомовых связь была недостоверной, а между удельным содержанием хлорофилла и процентным содержанием зеленых отмечалась достоверная положительная связь ($r=0.47$). Аналогичный характер зависимости отмечался и для удельного содержания каротиноидов. Зависимость между процентным содержанием хлорофилла ($Ch_a\%$) и биомассой фитопланктона, а также между каротиноидами ($C_{кар}\%$) и биомассой имела отрицательный характер: $r=-0.68$ для хлорофилла и $r=-0.61$ для каротиноидов. В логарифмической форме она выражалась уравнениями:

$$\lg Ch_a\% = (1.04 + 0.04) - (0.33 + 0.04) \lg V \text{ и } \lg C_{кар}\% = (0.84 + 0.04) - (0.42 + 0.04) \lg B.$$

Достоверная отрицательная связь между удельным содержанием пигментов и биомассой фитопланктона наблюдалась как при биомассе менее 20 мг/л, так и при биомассе более 20 мг/л.

Выводы

1. Основными лимническими факторами, определяющими структуру, количественные показатели и пространственное распределение фитопланктона являются мелководность озера, высокая гидродинамическая активность его водных масс, физические свойства покрывающего дно первичного сапропеля, а также богатство биогенами донных отложений.

2. Таксономический состав фитопланктона озера достаточно разнообразен и, в целом, типичен для пресноводных внутренних водоемов. В планктоне озера обнаружен 451 таксон водорослей рангом ниже рода, из них 328 отмечено для озера впервые. Наибольшим таксономическим разнообразием отличаются зеленые (170), диатомовые (113) и синезеленые водоросли (65). Преобладают типичные планктеры, пресноводные виды - индифференты, по отношению к рН среды - индифференты и алкалофилы, большинство видов-индикаторов сапробности - β -мезосапробы и α - β мезосапробы. Таксономическое разнообразие максимально в летний период. Наибольшее число таксонов отмечается в южной части акватории. Планктонная альгофлора озера однородна в пространственно-временном отношении. Влияние притоков на таксономический состав фитопланктона незначительно. Флористический состав планктона, сложившийся к шестидесятым годам, в несколько трансформированном виде сохранился до настоящего времени. В ряду озер средних размеров Восточно-Европейской равнины оз. Неро выделяется высокой степенью таксономической индивидуальности фитопланктона, которая выражается в небольшом разнообразии донных диатомовых и

десмидиевых водорослей, значительном количестве таксонов желтозеленых и большом внутриродовом разнообразии эвгленовых.

3. Основу доминирующего комплекса синезеленых составляет *Oscillatoria limnetica*. В составе доминирующего комплекса диатомовых преобладают *Aulacoseira ambigua*, *A. granulata*, *Stephanodiscus hantzshii*, водоросли родов *Synedra*, *Nitzschia*, *Fragilaria*. Зеленые представлены полидоминантным хлорококковым комплексом с преобладанием *Scenedesmus communis*. По составу доминирующего комплекса озеро можно характеризовать как водоем "осцилляториевого" типа. При исключительной мелководности озера, представляющего практически целиком литоральную зону, предполагающую развитие фитопланктона прудового типа (с преобладанием зеленых), фитопланктон озера сохраняет преимущественно озерные черты (доминируют синезеленые). Вероятно, этому способствует высокая для пресноводных водоемов минерализация вод озера. Развитие массовых видов фитопланктона в озере Неро в целом аналогично другим высокотрофным водоемам. В качестве особенностей можно отметить высокую численность и полное преобладание в комплексе синезеленых *Oscillatoria limnetica*, а также случаи обильного развития *Anabaena macrospora f. gracile* и *Golenkinia radiata*.

4. Сезонная динамика численности и биомассы фитопланктона характеризуется летним максимумом, при благоприятных погодных условиях переходящим в летне-осенний максимум. Численность в течение безледного периода изменялась от 0.4 до 3496 млн.кл/л, биомасса - от 1 до 67 мг/л. Основу численности составляют синезеленые водоросли, основу биомассы - синезеленые, диатомовые, зеленые. Межгодовые различия количественных показателей фитопланктона обуславливаются, в основном, степенью развития синезеленых водорослей. Суточные и годовые Р/В коэффициенты (соответственно 0.78-8.09 и 285-290), свидетельствуют об исключительно высокой скорости оборачиваемости биомассы фитопланктона. Северная и центральная части акватории озера, с высокими количественными показателями фитопланктона и преобладанием синезеленых водорослей, функционируют по типу "фитопланктонного" водоема, а южная, со смешанным составом фитопланктона и невысокими численностью и биомассой - по типу "макрофитного". Границы между этими участками, в силу постоянного перемещения водных масс под воздействием ветра, четко не определены. Притоки не оказывают существенного влияния на количественные показатели фитопланктона озера.

5. Структурное разнообразие фитопланктона, выражаемое индексом Шеннона, в течение всего периода наблюдений и на всей акватории водоема было достаточно высоким, в среднем величины индекса составили 3.07 бит/ед.числ. и 3.62 бит/ед.биом. Основными факторами, обуславливающими большое структурное разнообразие фитопланктона озера, являются естественный характер его олиготрофно-эвтрофной сукцессии и гетерогенность среды обитания водорослей. В свою очередь, большое структурное разнообразие фитопланктона обеспечивает устойчивость экосистемы озера.

6. Содержание хлорофилла *a* в озере изменяется от 13 до 138, каротиноидов - от 8 до 64 мг/л. Сезонная динамика содержания пигментов характеризуется летним максимумом, наибольшие величины отмечаются в годы с

антициклональным типом погоды. Наибольшие концентрации хлорофилла и каротиноидов сосредоточены в северной и центральной частях акватории. Хлорофилл *a* составляет основную часть пигментного фонда фитопланктона. Содержание феопигментов значительно меньше, чем в других мелководных водоемах (21.8%). Основными факторами, ограничивающими накопление феопигментов в толще воды, являются слабое взмучивание донных осадков и их фотодеструкция. Величины отношения концентрации каротиноидов к концентрации хлорофилла *a* (0.33-0.81) свидетельствуют о незначительном ресуспензировании каротиноидов из донных осадков.

7. Зависимость между хлорофиллом *a* и биомассой, а также каротиноидами и биомассой описывалась степенной функцией и была достоверна в как в различные сезоны безледного периода, так и в каждом из трех лет наблюдений. Процентное содержание хлорофилла *a* и каротиноидов в биомассе фитопланктона озера в наибольшей степени определялись его таксономическим составом и величинами биомассы. Содержание хлорофилла *a* и каротиноидов, отражает достаточно надежно уровень биомассы фитопланктона озера, однако, может быть использовано для ее оценки лишь ориентировочно, при этом связь хлорофилла *a* с биомассой несколько ближе, чем каротиноидов с биомассой.

8. Прозрачность воды в озере обуславливается уровнем развития фитопланктона. Температура воды не влияет на количественные показатели фитопланктона, что свидетельствует об эвритермности основных его доминантов. Содержание общего азота и фосфора очевидно, не отражает адекватным образом уровень обеспеченности ими водорослей, так как в озере исключительно высока скорость оборачиваемости биогенных элементов и происходит постоянное поступление их из донных отложений. Выведение зоопланктоном сказывается на количественных показателях и пигментных характеристиках фитопланктона в небольшой степени и только весной.

9. Показатели биомассы фитопланктона и содержания пигментов в оз. Неро являются исключительно высокими для озер Европейской части России и Западной Европы и характеризуют его как эвтрофный водоем. Аналогичным образом отражает трофический статус озера и характер сезонной динамики этих показателей, а также состав доминирующего комплекса видов и величины удельного содержания хлорофилла *a* в биомассе фитопланктона, что свидетельствует о внутренней гармоничности и устойчивости его экосистемы.

Список работ по теме диссертации.

Сигарева Л.Е., Ляшенко О.А. Продуктивность фитопланктона эвтрофного оз. Неро. // Антропог. изменен. экосист. малых озер. Материалы все-союзн. совещ. СПб., Гидрометеониздат. 1991. Кн.2. С.252-255/

Ляшенко О.А. Фитопланктон оз.Неро. // Современное состояние экосистемы оз.Неро. Рыбинск, 1991. Ч.1. С. 10-32/

Сигарева Л.Е., Ляшенко О.А. Пигментные характеристики фитопланктона озера Неро. // Современное состояние экосистемы озера Неро. Рыбинск, 1991. ч.1. С. 32-52.

Ляшенко О.А. Структура и сезонные изменения фитопланктона эвтрофного озера бассейна верхней Волги. // Экологические проблемы бассейнов крупных рек. Тез. междуна. конф. Тольятти, 1993. С.98.

Ляшенко О.А. Структура и сезонные изменения фитопланктона оз.Неро. // Биол. внутр. вод: Информ. бюл. СПб., Наука. 1994. N97. С.8-12.

Sigareva L., Lyashenko O. Structural and functional characteristics of phytoplankton in the highly eutrophic Lake Nero. // Symposium on monitoring of water pollution. Borok, 1994, p.38.

Ляшенко О.А. Планктонная альгофлора озера Неро. // Четвертая всероссийская конференция по водным растениям (тезисы докладов). Борок, 1995. С.103-104.

Ляшенко О.А. Содержание хлорофилла *a* как показатель биомассы фитопланктона в мелководном эвтрофном озере. // Соврем.пробл. гидроэкологии. Тезисы и аннотат. докл. междуна. конф. СПб., 1995. С.37-38.

Пользуясь случаем, хочу выразить искреннюю благодарность Г.М. Лаврентьевой за большую помощь, оказанную при написании этой работы; благодарю также Н.П.Кондратьеву и С.И.Генкала за консультации по определению синезеленых и диатомовых водорослей; Е.М.Бикбулатову и Э.С. Бикбулатова - за предоставленные данные гидрохимических анализов 1987-1991гг.

Работа выполнена при финансовой поддержке ГНТП "Биологическое разнообразие".

Ляшенко