



УДК 502/504.064+504.05:004.738.5

Иванов Александр Владимирович, к.э.н., доцент кафедры ВВЭХ ФГБОУ ВО «ННГАСУ», alexanderivanov52@yandex.ru

Гусейнова Саяд Мухтаровна, ассистент кафедры ВВЭХ ФГБОУ ВО «ННГАСУ»,

Краев Иван Михайлович, аспирант кафедры ВВЭХ ФГБОУ ВО «ННГАСУ»

Малышев Денис Максимович, аспирант кафедры ВВЭХ ФГБОУ ВО «ННГАСУ»

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет" 603950, Россия, г. Нижний Новгород, ул. Ильинская, д.65

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда, проект 15-17-20009.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЕРТИКАЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ ФИТОПЛАНКТОНА В ГОРЬКОВСКОМ ВОДОХРАНИЛИЩЕ

Ключевые слова: экологический мониторинг, экологическая безопасность, цветение, стратификация

Аннотация. Целью комплексных междисциплинарных исследований была разработка модели для оценки и прогнозирования динамики фитопланктона в зависимости от метеорологических и гидрофизических параметров, таких как стратификация, температура верхнего перемешанного слоя, солнечная радиация и биогенные вещества. На протяжении 2018-2019 гг. проводились натурные исследования в озерной части Горьковского водохранилища, которые включали измерение прозрачности с помощью диска Секки, измерение водородного показателя и профиля температуры, отбор проб и проведение последующих химических и биологических исследований. Пробы исследовались на наличие водорослей с помощью микроскопа Левенгука, оборудованного цифровой камерой и подключенного к компьютеру. Результаты идентификации водорослей и измерения их параметров проводились с помощью камеры Горяева. Подсчет клеток и определения их объема и биомассы в соответствии с методом, предложенным Радченко с соавторами для концентрированных образцов. Новым результатом является идентификация диатомовых, цианобактерий и динофитов. Были исследованы как количество клеток вида, так и концентрация биомассы каждого отдела водорослей. Исследование было сосредоточено на количественном анализе образцов, собранных из разных слоев, включая приповерхностный слой на глубине 0,5 м. Этот слой важен для моделирования ввода солнечного излучения, обеспечивающего выработку хлорофилла при приемлемых температурах. Исследована сезонная изменчивость концентрации

фитопланктона. Подавляющее большинство найденных водорослей являются представителями диатомовых водорослей. Получены количественные зависимости интенсивности цветения от температуры.

В течение 2015 - 2018 гг. проводились комплексные междисциплинарные исследования в Горьковском водохранилище на Волге. Целью проекта являлась разработка модели для оценки и прогнозирования динамики фитопланктона в зависимости от метеорологических и гидрофизических параметров. С борта исследовательского судна измерялись скорость и направление ветра, поверхностные волны, расслоение, мутность и происходил отбор проб воды для дальнейшего исследования водорослей. Ежегодно проводилось примерно 10 выходов. Каждый выход включал измерение мутности с использованием диска Секки, измерение рН и отбор проб с 5 горизонтов (0,5 м, 2 м, 4 м, 6 м, 8 м). Отбор проб осуществлялся с помощью батометра Молчанова, который также использовался для измерения температуры воды на горизонтах отбора проб. Образцы фиксировались с использованием содержащего формалин раствора для сохранения фитопланктона. Горьковское водохранилище было выбрано как объект сезонного цветения водорослей, см. рис. 1.



Рис.1. Цветение в центральной части Горьковского водохранилища в сентябре 2018 г.

Измерения прозрачности с использованием диска Секки показали высокий и умеренный уровень цветения водорослей, характеризующийся прозрачностью Секки от примерно 1 м до 1,5 м в период цветения и от 2 до 3 м – в осенний период, см. рис. 2.

Качество воды Горьковского водохранилища на Волге было идентифицировано как эвтрофный тип в разгар летнего сезона и как мезотрофный тип на весь летний сезон по классификации С.П. Китаева [1].

Проведен анализ проб воды из различных горизонтов, полученных в ходе исследовательских рейсов. Присутствие водорослей в образцах определяли с помощью

микроскопа Левенгука, оборудованного цифровой камерой и компьютером. Результаты идентификации водорослей и измерения соответствующих параметров проводились с помощью камеры Горяева. Программное обеспечение Levenhuk TourView использовалось для измерений и идентификации водорослей [2]. При анализе образцов на микроскопе использовалось 40-кратное увеличение. Это увеличение позволяет идентифицировать не только водоросли, но и мельчайшие клетки с хлорофиллом с помощью камеры Горяева. Программное обеспечение Levenhuk TourView предоставляет возможности для проведения различных измерений изображений водорослей. Количественный анализ основывался на измерении отдельных геометрических форм, наложенных на изображение водорослей. TourView использует послойную технологию для выполнения измерений. Это позволяет сохранить исходное изображение без изменений в процессе обработки.

Образцы концентрировали для подсчета клеток и определения объема и биомассы в соответствии с методом, предложенным И.Г. Радченко и др. [3]

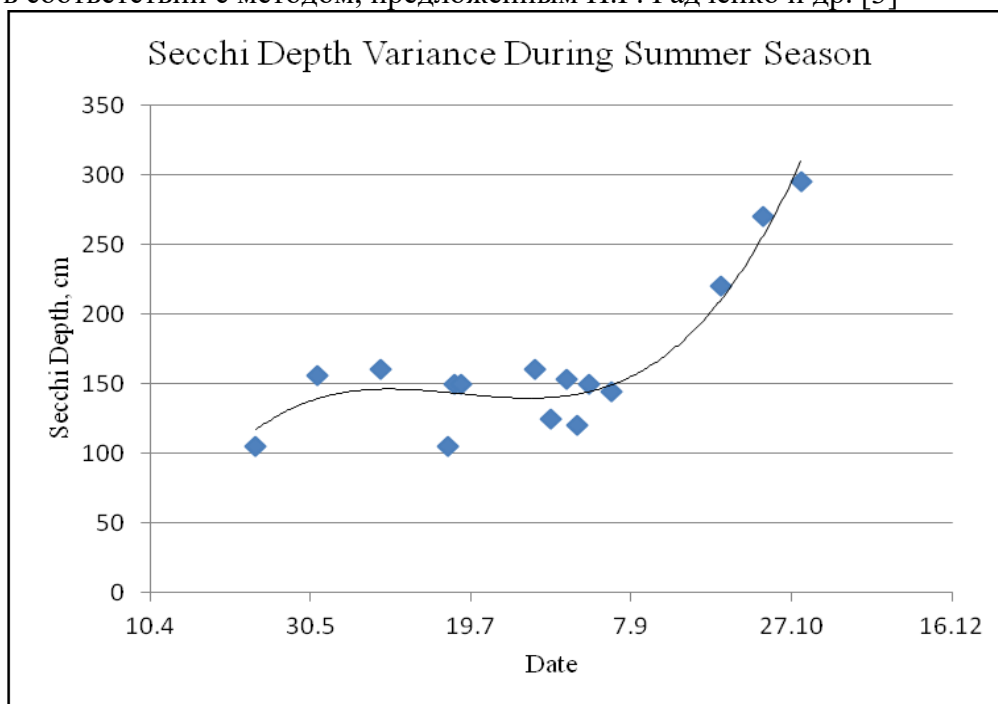


Рис.2. Пример онлайн расчета концентрации оксидов азота для автомобильной пробки в районе пересечения пр. Гагарина и ул. Бекетова

Анализ проб включает как качественные, так и количественные методы. Идентификация водорослей была основана на сравнении изображений водорослей с подробным идентификатором вида.

Метод оценки биомассы фитопланктона основывался на измерениях объема клеток. Объем рассчитывали по линейным размерам клеток, измеренным под микроскопом. Для измерения биологического объема была определена геометрическая форма, соответствующая водоросли или цианобактерии. Затем измеренные линейные размеры ячейки были использованы для расчета объема и биомассы. Процесс калибровки показан на рисунке 3.

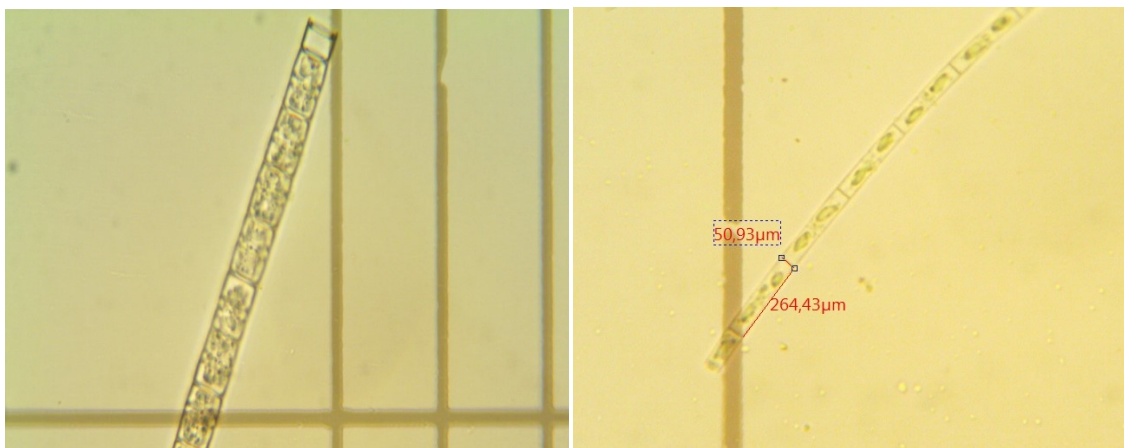


Рис.3.Идентификация(слева) и измерение (справа) с помощью микроскопа Левенгук

Количественные результаты были размещены в базе формируемых данных. Это стандартные записи, пример которых представлен в таблице 1.

Таблица 1

Типичные записи измерений концентрации, относящиеся к исследовательским выходам 18.08.2016 и 02.08.2018.

Date	Secchi depth, cm	Глубина отбора проб,м	Dinophyta concentration mg/l	Diatoma & cyanobacteria concentration mg/l	Total measured biomass concentration mg/l
18.08.2016	153	0.5	0,012	0,01065	0.02261
18.08.2016	153	2	0,0010	0,002760	0.00379
18.08.2016	153	5	0,0012	0,000160	0.00137
18.08.2016	153	8	0,00043	0,000085	0,00051
02.08.2018	247	0.5	0,00025	0,0104	0.01068
02.08.2018	247	2	0,00063	0,0017	0.00229
02.08.2018	247	5	0,00006	0,0019	0.00194
02.08.2018	247	8	0,00014	0,0041	0.00428

Исследования показали присутствие диатомовых, зеленых, рафидофитов, динофлагеллят и цианобактерий в течение 2015-2018 годов. Подавляющее большинство в общей численности водорослей и в биомассе фитопланктона составляют диатомовые и динофитовые водоросли. В случае массового развития они обычно вызывают красное или коричневое «цветение» воды. Однако таких ситуаций в исследуемом водоеме не наблюдалось, Возрастающая роль динофлагеллят воспринята авторами как новая тенденция последних лет, см. рисунок 4.

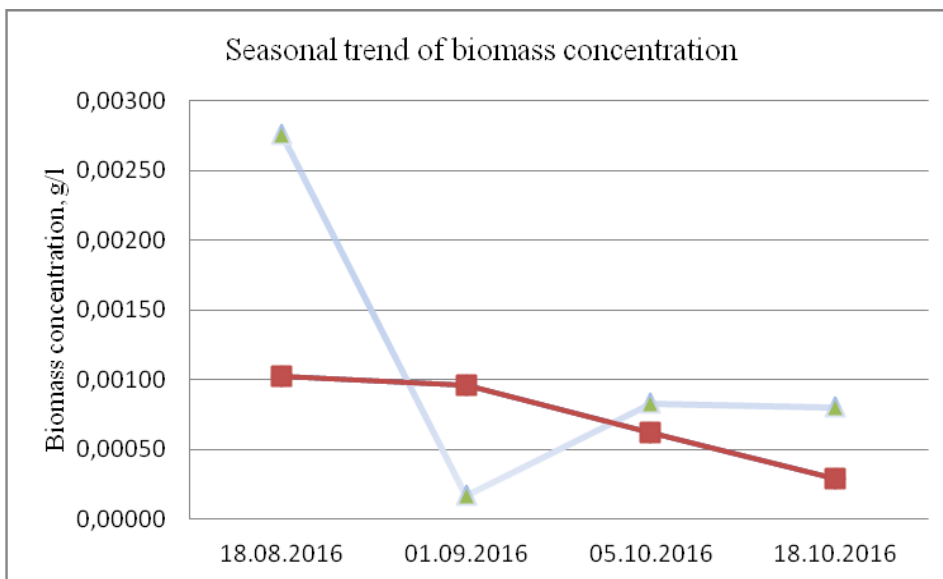


Рис. 4. Сезонный тренд концентрации динофлагеллят (голубой цвет) по сравнению с суммарной концентрацией диатомовых и синезеленых (красный цвет) для проб, отобранных на глубине 2 м.

Важнейшим результатом выполненных исследований является полученная на основе измерений зависимость концентрации водорослей различных отделов от глубины в условиях устойчивого плотностного расслоения в летне-осенний период, см. рис. 5.

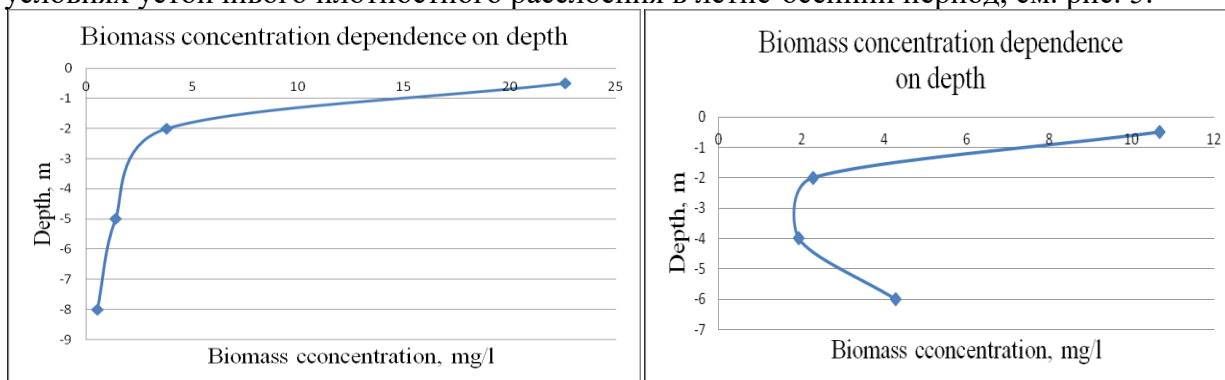


Рис. 5. Концентрация биомассы фитопланктона, измеренная в пробах от 18 августа 2016. Глубина Секки равна 153 см, устойчивая температурная стратификация (диаграмма слева) Концентрация биомассы фитопланктона в пробах от 02 августа 2018. Прозрачность по диску Секки равна 247 см, устойчивая температурная стратификация (правая диаграмма)

Новым результатом данной работы по сравнению с ранее представленным [4] является повышение роли динофлагеллят и диатомовых водорослей в последние годы, в то время как доля цианобактерий снижается. Динофлагелляты способны производить большую биомассу за довольно короткий период времени, что также подтверждается данными количественного анализа. При меньшем количестве клеток динофлагелляты способны накапливать наибольшую биомассу, что связано с большим размером клеток группы. В образцах фитопланктона динофлагелляты в основном представлены видами *Seratium* и *Peridinium*. Некоторые представители динофлагеллят, способны продуцировать опасные биотоксины. Тем не менее, среди идентифицированных динофлагеллятов не было обнаружено токсичных форм.

Важным новым результатом является выявление вертикального распределения концентрации видов в стратифицированных средах. Это поможет в будущем построить модель динамики планктона в стабильно стратифицированном водоеме.

Другим новым результатом является выявление необходимости корректировки модели концентрации фитопланктона для верхнего слоя Брэдфорда-Майеро [5].

Список литературы:

- [1] Kitayev S.P. Экологические основы биопродуктивности озер разных природных зон. М., 1984. 207 с.
- [2] Levenhuk ToupView software. Электронный ресурс https://www.levenhuk.com/products/materials/0/ToupView_Win.rar.
- [3] И.Г. Радченко, В.И. Капков, В.Д. Федоров. Практическое руководство по сбору и анализу проб морского фитопланктона: учебно-методическое пособие для студентов биологических специальностей университетов./ М.: Мордвинцев, 2010. – 60 с.: илл.
- [4] Ivanov A.V., Guseinova S.M., Krayev I.M., Malyshev D.M. Quantitative analysis of the plankton of the Gorky Reservoir on the Volga river. International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM. 2018. Т. 18. № 3.1. pp. 595-600.
- [5] Bradford, H.L., Maiero, D.J., Lake processes applied to reservoir management Procs. ASCE., J. Env. Eng. Div., 104(EE5), 1978, pp. 981-996.

IMPROVEMENT OF ECOLOGICAL ONLINE MONITORING EFFICIENCY ON THE BASIS OF MICRO-SITE STUDY OF WIND SPEED AND ATMOSPHERIC AIR POLLUTION

Alexander V. Ivanov, Sayad M. Guseinova, Ivan M. Krayev, Denis M. Malyshev

Key words: environmental monitoring, internet of things, environmental safety.

The goal of the interdisciplinary research was to develop a model for assessing and forecasting the dynamics of phytoplankton depending on meteorological and hydrophysical parameters, such as stratification, temperature of the upper mixed layer, solar radiation and nutrients. Field studies were conducted in the lake part of the Gorky reservoir, which included measuring transparency using the Secchi disk, measuring the hydrogen index and temperature profile, taking samples and conducting subsequent chemical and biological studies throughout 2018-2019. Samples were examined for the presence of algae using a Levenhuk microscope equipped with a digital camera and connected to a computer. The results of the identification of algae and measurements of their parameters were carried out using a Goryaev camera. Counting cells and determining their volume and biomass in accordance with the method proposed by Radchenko et al. for concentrated samples. A new result is the identification of diatoms, cyanobacteria and dinophytes. Both the number of cells of the species and the concentration of biomass of each department of algae were investigated. The study focused on the quantitative analysis of samples collected from different layers, including the surface layer at a depth of 0.5 m. This layer is important for modeling the input of solar radiation, which ensures the production of chlorophyll at acceptable temperatures. The seasonal variability of phytoplankton concentration was studied. The vast majority of algae found are representatives of diatoms. Quantitative dependences of flowering intensity on temperature are obtained.