

ПОТЕНЦИАЛЬНАЯ ТОКСИЧНОСТЬ ЦИАНОБАКТЕРИАЛЬНЫХ «ЦВЕТЕНИЙ» В ВОДОЕМАХ ВИЛЕЙСКО-МИНСКОЙ ВОДНОЙ СИСТЕМЫ

М. А. Мыслейко

*Белорусский государственный университет, пр. Независимости, 4,
220030, г. Минск, Беларусь, myslejko@bsu.by
Научный руководитель — Б.В. Адамович, кандидат биологических наук, доцент*

Способность цианобактерий вызывать массовые цветения водоемов, а также синтезировать соединения опасные для здоровья человека, представляет серьезную экологическую проблему по всему миру. В рамках данного исследования проводились работы по изучению сезонной динамики содержания хлорофилла-а в трех водоемах Вилейско-Минской водной системы, а также путем ПЦР-анализа осуществлялось выявление потенциально токсичных цветений в объектах Вилейско-Минской водной системы.

Ключевые слова: цианобактерии; цианотоскины; токсичные цветения; хлорофилл; микроцистин; ПЦР-анализ.

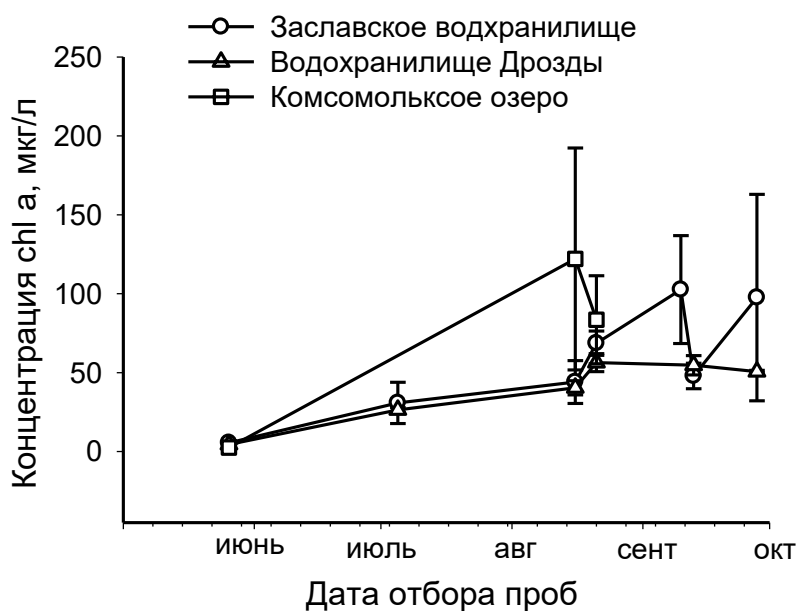
Благодаря своей широкой экологической пластичности цианобактерии способны быстро увеличивать объем биомассы, вызывая так называемые «цветения», которые приводят к появлению неприятного запаха и снижению концентрации растворенного кислорода, в конечном итоге приводя к изменению видового состава водной экосистемы. Помимо этого, многие виды цианобактерий обладают способностью к синтезу токсинов различной химической природы и различного токсического эффекта [1]. Токсичные цветения были зарегистрированы практически в каждой стране мира на всех континентах, включая Антарктиду [1]. Причиной повышения интенсивности цветений являются глобальное потепление, а также высокая трофическая нагрузка на водоемы, вызванная активным использованием минеральных удобрений, гербицидов и водной эрозией почв [2, 3]. Такие токсичные цветения способны наносить серьезный урон здоровью человека, а также вызывать замор рыбы и приводить к снижению качества воды [1, 2]. Целью данной работы является изучение сезонной динамики содержания хлорофилла-а и выявление потенциальных токсичных цветений в водоемах Вилейско-Минской водной системы. Пробы для определения концентрации хлорофилла-а отбирали с мая по октябрь 2023 года на трех водохранилищах: заславское водохранилище, в. Дрозды и комсомольское озеро. Воду для определения хлорофилла-а отбирали с поверхностного горизонта в трех точках водоема в пелагиали. Концентрацию хлорофилла-а определяли спектроскопическим

методом [4]. Для экстракции хлорофилла использовался 90% ацетон. Концентрацию хлорофилла измеряли сразу после экстракции на спектрофотометре Cary 50 (приложение scan) при длине волны 665 нм.

Пробы для определения потенциально токсичных цианобактерий отбирали в водохранилище Дрозды, оз. Комсомольское, Заславское водохранилище, Чижовское водохранилище, а также в реке Свислочь в черте г. Минска в период с июля по октябрь 2023 года. Отобранные для проведения молекулярно-генетического анализа пробы фиксировали в 96% этаноле. Для выделения ДНК из проб использовали набор Genomic DNA purification kit (Thermo Scientific, Литва), в соответствии с прилагаемой инструкцией производителя. Для проведения амплификации использовали праймеры NEPF 5'-TTTGGGGTTAACTTTTTT-GGGCATAGTC и NEPR 5'-AATTCTTGAGGCTGTAAATCGGGTTT. Амплификация осуществлялась по следующей программе: 2 мин – 92 °С, 35 циклов: 92 °С – 20 с, 52 °С – 30 с, 72 °С – 1 мин, в последнем цикле этап элонгация удлинен до 12 мин. Полученные ПЦР-продукты анализировали при помощи горизонтального электрофореза в 1,5% агарозном геле, окрашенном бромистым этидием. Содержание хлорофилла в водохранилищах Заславское, Дрозды и Комсомольском оз. в вегетационный сезон 2023 г. значительно различалось. Наименьшие значения содержания хлорофилла были характерны для мая и составили в среднем $5,47 \pm 1,47$ мкг/л для Заславского водохранилища, $4,48 \pm 0,31$ мкг/л – Дрозды, $2,49 \pm 0,51$ мкг/л – Комсомольское оз. В Заславском водохранилище показатель содержания хлорофилла достиг максимальных значений в сентябре. На отдельных станциях он превышал 150 мкг/л. В конце сентября в одной из точек отбора проб этот показатель достиг 184,14 мкг/л. Также высокое значение содержания хлорофилла наблюдалось в августе на одной из станций в Комсомольском оз. – 202,19 мкг/л. Данный показатель достиг максимума в августе-сентябре и в водохранилище Дрозды. В этот период содержание хлорофилла превышало 50 мкг/л (рисунок).

В качестве целевого гена для выявления токсинов был выбран ген микроцистинсинтазы *tcuE*. Согласно литературным данным этот ген с высокой точностью свидетельствует о наличии токсинов в цветении [5]. По результатам ПЦР-анализа ген *tcuE* был обнаружен в 5 образцах: Комсомольское озеро от 22.07, водохранилище Дрозды от 22.07, Комсомольское озеро от 23.08, Комсомольское озеро от 30.08, и р. Свислочь (в районе дворца Спорта) от 03.09. Были выявлены фрагменты размером около 500 пар оснований. Выборочное наличие токсинов в исследуемых образцах может быть объяснено различным соотношением токсиногенных и нетоксиногенных штаммов в пределах одного водоема [6]. Согласно литературным данным, это соотношение может значительно

колебаться в течение сезона и зависит от различных факторов, таких как температура, освещенность, доступность питательных элементов [3].



Динамика концентрации хлорофилла в вегетационный сезон 2023 г.
в водоемах Вилейско-Минской водной системы

Обнаружение гена *тсуЕ* в образцах цветений позволяет говорить лишь о потенциальной токсичности данного образца. Для достоверного определения токсичности цветения необходимо аналитическое выявление непосредственно самого токсина.

Таким образом в рамках данной работы была изучена сезонная динамика содержания хлорофилла-а, а также проведен поиск гена микроцистинсинтазы, свидетельствующего о вероятном присутствии токсинов в водоеме. По результатам анализа ген *тсуЕ* был выявлен в пяти пробах из водохранилища Дрозды, Комсомольского озера и р. Свислочь.

За помощь в обработке проб для определения концентрации хлорофилла выражается благодарность м.н.с. НИЛ гидроэкологии Евменчик Е.Д.

Библиографические ссылки

1. The diversity of cyanobacterial toxins on structural characterization, distribution and identification: a systematic review / X. Du [et al.] // Toxins. 2019. Vol. 11, iss. 9. P. 530-539.
2. Schindler D.W. Recent advances in the understanding and management of eutrophication // Limnol. Oceanogr. 2006. Vol. 51, iss. 1. P. 356-363.

3. Environmental conditions that influence toxin biosynthesis in cyanobacteria: Regulation of cyanobacterial toxin biosynthesis / B.A. Neilan [et al.] // *Environ. Microbiol.* 2013. Vol. 15, iss. 5. P. 1239-1253.
4. Kovalevskaya R.Z. Modification of the method of spectrophotometric determination of chlorophyll A in the suspended matter of water bodies // *J. Appl. Spectrosc.* 2020. Vol. 87, iss. 1. P. 72-78.
5. Ngwa F.F. Comparison of cyanobacterial microcystin synthetase (mcy) E gene transcript levels, mcy E gene copies, and biomass as indicators of microcystin risk under laboratory and field conditions // *MicrobiologyOpen*. 2014. Vol. 3, iss. 4. P. 411-425.
6. Phylogenetic evidence for the early evolution of microcystin synthesis / A. Rantala [et al.] // *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.* 2004. Vol. 101, iss. 2. P. 568-573.