

УДК 547.587:581.526.3 (58.072:581.55)

О. М. Усенко, И. Н. Коновец, О. С. Таращук,  
З. Н. Горбунова

**ФЕНОЛКАРБОНОВЫЕ КИСЛОТЫ ПОГРУЖЕННЫХ  
ВОДНЫХ РАСТЕНИЙ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА  
СТРУКТУРУ ФИТОЭПИФИТОНА<sup>1</sup>**

Исследовали количественный состав фенолкарбоновых кислот в фитомассе погруженных высших водных растений *Ceratophyllum demersum* L., *Potamogeton perfoliatus* L. и *Myriophyllum spicatum* L. Анализ RDA позволил выявить три группы фенолкарбоновых кислот по их влиянию на развитие фитоэпифитона исследуемых макрофитов. Установлено, что среди эпифитных водорослей наиболее выраженной связью с содержанием фенолкарбоновых кислот характеризуются *Melosira varians* Agardh, *Cocconeis placentula* Ehrenb., *Oedogonium* sp. st. и *Cymbella tumida* (Bréb. ex Kütz.) Grun.

**Ключевые слова:** высшие водные растения, фенолкарбоновые кислоты, фитоэпифитон, HPLC, RDA-анализ.

Известно, что в процессе жизнедеятельности водных растений в воду выделяются разнообразные соединения, в том числе такие, которые характеризуются биологической активностью. Они способны стимулировать или ингибировать физиологические процессы гидробионтов и тем самым, наряду с другими факторами, влиять на формирование биоценозов [5].

Большинство исследований биологически активных соединений касаются их содержания в биомассе растений. Однако для выяснения механизмов аллелопатических взаимодействий макрофитов с микроводорослями важно знать закономерности формирования пула этих веществ в водной среде. Сведения о соотношении концентраций и динамике накопления метаболитов высших водных растений являются очень важными с точки зрения аллелопатии, поскольку соединения, характеризующиеся фитотоксичными свойствами, отличаются спецификой выделения во внешнюю среду [22].

Существует точка зрения, что состав экзогенных метаболитов водных растений в основном отвечает их внутриклеточному содержанию [6]. Тем не

<sup>1</sup> Работа выполнена за счет бюджетной программы «Поддержка развития приоритетных направлений научных исследований» (КПКВК 6541230).

менее, относительно высших водных растений этот факт нуждается в экспериментальном подтверждении. Кроме того, следует учитывать, что выделенные метаболиты могут подвергаться химической (за счет компонентов растворенного органического вещества) или биологической (при участии микроорганизмов и других растений) трансформации.

В гидробиологии одной из основных задач является исследование аллелопатического взаимодействия высших водных растений и водорослей. Известно, что интенсивное развитие макрофитов может существенно ограничивать вегетацию видов — возбудителей «цветения» воды [28, 29], а также других планктонных водорослей [19, 24, 25]. Показано, что высшие водные растения могут оказывать негативное влияние на микроперифитон [11] и эпифитные водоросли [13, 23]. Установлено, что в ценозах макрофитов происходит снижение видового богатства и степени развития эпифитона с увеличением густоты зарослей макрофитов. Это четко проявляется на изолированных мелководьях со слабым водообменом [1, 12, 27].

Среди аллелопатически активных веществ, которые влияют на формирование фитоценозов, одно из важных мест принадлежит фенольным соединениям. Наибольшее их количество выявлено у высших водных растений, причем их содержание на порядок выше, чем у водорослей [8]. Известно также, что количество и состав фенольных соединений в значительной мере зависят от сезона и стадии развития растительных организмов [7]. В связи с этим представляют интерес дальнейшие исследования особенностей формирования состава и количественных характеристик фенольных соединений — важного аллелопатического потенциала макрофитов.

Целью исследований было определение содержания фенолкарбоновых кислот (ФКК) в фитомассе погруженных высших водных растений, а также установление связи между составом этих веществ и развитием эпифитных водорослей.

**Материал и методика исследований.** Объектами исследований служили погруженные высшие водные растения: роголистник погруженный (*Ceratophyllum demersum* L.), рдест пронзеннолистный (*Potamogeton perfoliatus* L.) и уруть колосистая (*Myriophyllum spicatum* L.). Пробы отбирали в июле 2012 г. в Каневском водохранилище (заливы Собачье Гирло и Верблюд). Сбор и обработку проб фитоэпифитона проводили с использованием методов, принятых в гидробиологической практике [2]. Численность водорослей определяли на счетной пластинке в капле объемом 0,1 см<sup>3</sup>, отобранной при помощи штемпель-пипетки. При расчете биомассы использовали метод геометрического подобия. К числу доминантов относили виды, вклад которых в общую биомассу фитоэпифитона в пробе составлял  $\geq 25\%$ , а субдоминантов — от 10 до  $\geq 24\%$ . Частоту встречаемости вида определяли, как отношение числа проб, в которых данный вид присутствовал, к общему количеству проб. Названия и объем таксонов приведены согласно системе, приведенной в [4, 10].

Для анализов использовали 3 г сухой массы макрофитов. Экстракцию ФКК из их фитомассы проводили 90%-м метанолом. Затем экстракт пропускали через ионообменные смолы КУ-2 та ЭДЭ-10П [3, 36].

Определение состава ФКК и их содержания проводили с помощью метода высокоэффективной жидкостной хроматографии-масс-спектрометрии в Центре коллективного пользования приборами Института гидробиологии НАН Украины. При этом использовали прибор Agilent 1200/Quadrupole 6130 (США) (условия хроматографического анализа: колонка Zorbax Eclipse XDB-C18 Narrow-Bore 2,1×150 мм; система растворителей: вода — ацетонитрил с добавлением муравьиной кислоты до 0,1 об. %; скорость потока — 1 см<sup>3</sup>/мин, инъекция — 100 мм<sup>3</sup>; источник ионизации — ESI(+)). Для установления состава и количества фенолкарбоновых кислот использовали стандарты фирмы Sigma-Aldrich (Германия). Статистическую обработку результатов проводили с помощью программы Statistica 6.0 и XLSTAT.

### *Результаты исследований и их обсуждение*

Хроматографический анализ содержания фенолкарбоновых кислот, выделенных из фитомассы погруженных высших водных растений, показал, что их состав характеризуется как общими признаками, так и существенными отличиями (табл. 1). Так, общее содержание ФКК у *C. demersum* было в среднем в 5 раз меньше, чем у *M. spicatum* и *P. perfoliatus*. Обнаружена группа ФКК, содержание которых достигает высоких значений на обоих станциях отбора макрофитов. В ее состав входили: бензойная, *n*-оксибензойная, салициловая, ванилиновая и галловая кислоты. Количество коричной, протокатеховой,  $\alpha$ - и  $\beta$ -резорциловой, кофейной, феруловой и синаповой кислот намного ниже. Содержание протокатеховой и галловой кислот у *P. perfoliatus* было соответственно в 5 и 10 раз выше, чем у *M. spicatum* и *C. demersum*. Концентрация сиреневой кислоты оказалась наибольшей у *M. spicatum*, а ванилиновой и салициловой — у *M. spicatum* и *P. perfoliatus*. Анализ количественных показателей ФКК свидетельствует о специфичности их состава у исследованных макрофитов.

Видоспецифичность фенольных соединений была установлена и у наземных растений, что объясняется отличиями ферментативных систем, которые принимают участие в их биосинтезе [14].

Следует также отметить более высокие значения общего содержания ФКК в биомассе изучаемых высших водных растений в заливе Верблюд по сравнению с зал. Собачье Гирло. Так, например, у *M. spicatum* оно было выше на 198,6 мкг/г, у *P. perfoliatus* — на 217,2 и у *C. demersum* — на 60,8 мкг/г.

Установлено, что содержание *n*-оксибензойной кислоты в фитомассе *C. demersum*, отобранного в зал. Верблюд, было в 2 раза больше, чем в зал. Собачье Гирло. Кофейная кислота отсутствовала в фитомассе *M. spicatum* из зал. Собачье Гирло, в то время как в зал. Верблюд ее концентрация составляла 3,2 мкг/г. Синаповая кислота в фитомассе *C. demersum* и *P. perfoliatus* из зал. Собачье Гирло не выявлена, а у этих макрофитов из зал. Верб-

**1. Содержание фенолкарбоновых кислот (мкг/г) в фитомассе погруженных высших водных растений**

Фенолкарбоновые кислоты	<i>Myriophyllum spicatum</i>		<i>Potamogeton perfoliatus</i>		<i>Ceratophyllum demersum</i>	
	зал. Собачье Гирло	зал. Верблюд	зал. Собачье Гирло	зал. Верблюд	зал. Собачье Гирло	зал. Верблюд
Бензойная	975,6	1120,3	824,8	910,4	192,1	204,8
<i>p</i> -Оксибензойная	165,6	178,4	232,0	250,2	34,1	60,6
Салициловая	188,0	196,6	196,8	201,4	17,8	21,2
Коричная	43,2	34,2	31,2	33,1	22,4	24,2
Протокатеховая	3,2	3,8	59,8	68,8	10,1	14,6
$\alpha$ -Резорциловая	44,8	38,2	46,8	49,0	—	0,6
$\beta$ -Резорциловая	следы	3,2	—	1,4	—	0,2
Кумаровая	12,8	16,8	20,4	22,8	6,6	7,2
Ванилиновая	308,8	324,4	257,0	264,4	14,6	18,2
Галловая	60,0	82,1	491,0	580,6	62,8	67,3
Кофейная	—	3,2	59,8	63,2	16,7	18,5
Феруловая	24,0	19,6	37,6	30,6	12,0	14,2
Сиреневая	158,8	162,2	23,0	21,1	8,0	6,2
Синаповая	9,6	10,2	—	0,4	—	0,2
Общая сумма	1994,6	2193,2	2280,2	2497,4	397,2	458,0

Примечание. «—» — ниже предела обнаружения.

люды ее содержание составляло соответственно 0,2 и 0,4 мкг/г. Также наблюдались следовые количества или отсутствие  $\beta$ -резорциловой кислоты в исследованных высших водных растениях из зал. Собачье Гирло, в то время как у макрофитов из зал. Верблюд ее содержание находилось в пределах 0,2—3,2 мкг/г. Заметным содержанием  $\alpha$ -резорциловой кислоты характеризовались только у *M. spicatum* и *P. perfoliatus*.

Следует также отметить, что макрофиты из зал. Верблюд отличались более высоким содержанием галловой, протокатеховой, бензойной, *p*-оксибензойной и кофейной кислот, характеризующихся большим аллелопатическим потенциалом.

Учитывая повышенное содержание некоторых ФКК в фитомассе макрофитов, можно ожидать существенного выделения их в водную среду и возможного влияния на водоросли, развивающиеся в обрастании высших водных растений. С целью установления связи между составом ФКК и развитием эпифитных водорослей был изучен их видовой состав на трех вышеуказанных макрофитах в заливах Собачье Гирло и Верблюд.

Всего в фитоэпифитоне изученных погруженных растений найдено 75 видов водорослей, представленных 77 внутривидовыми таксонами (ввт), включая те, которые содержат номенклатурный тип вида. Основную часть видового богатства составляли Bacillariophyta — 50 видов (52 ввт), Chlorophyta — 16 и Charophyta — 6 видов. Полученные сведения согласуются с данными других авторов [16, 18], указывающими на тот факт, что основу видового богатства фитоэпифитона придаточной сети Каневского водохранилища формируют представители диатомовых, зеленых и харофитовых водорослей.

Видовой состав эпифитных водорослей на трех видах исследованных погруженных растений из заливов Собачье Гирло и Верблюд насчитывал соответственно 53 и 62 вида. Коэффициент флористического сходства Серенсена фитоэпифитона изученных растений между двумя станциями составлял 68%.

Чаще всего в эпифитоне встречались диатомовые водоросли *Melosira varians* Agardh, *Aulacoseira granulata* (Ehrenb.) Sim., *Ctenophora pulchella* (Ralfs) Will. et Round, *Staurosira construens* Ehrenb., *Synedra ulna* (Nitzsch.) Ehrenb., *Rhoicosphenia abbreviata* (Agardh) L.-B., *Cymbella cistula* (Hemp. in Hemp. et Ehrenb.) Kirchn., *C. lanceolata* (Ehrenb.) Kirchn., *C. tumida* (Bréb. ex Kütz.) Grun., *Encyonema caespitosa* Kütz., *Gomphonema acuminatum* var. *coronatum* (Ehrenb.) Rabenh., *G. gracile* Ehrenb., *G. truncatum* Ehrenb., *Planothidium lanceolatum* (Bréb. ex Kütz.) Round et Bukht., *Cocconeis pediculus* Ehrenb., *C. placentula* Ehrenb., *Navicula cryptocephala* Kütz., *N. tripunctata* (O.F. Müll.) Bory, *N. viridula* Kütz., *Amphora ovalis* Kütz. и *A. veneta* Kütz. Среди зеленых водорослей самая высокая частота встречаемости была у *Pediastrum boryanum* (Turp.) Menegh., *Desmodesmus brasiliensis* (Bohl.) Hegew. и *Oedogonium* sp. st., а среди харофитовых — у *Closterium leibleinii* Kütz. и *Cosmarium botrytis* Menegh.

Численность фитоэпифитона в обоих заливах колебалась от 2,050 до 30,938 млн. кл/г сухой массы растения, а биомасса находилась в пределах 4,227—67,996 мг/г сухой массы (табл. 2). В зал. Собачье Гирло показатели численности и биомассы были меньшими, чем в зал. Верблюд. Самые низкие значения численности и биомассы эпифитных водорослей в обоих заливах отмечены на *P. perfoliatus* (2,050 и 10,562 млн. кл/г и 4,227 и 33,568 мг/г), а самые высокие — на *C. demersum* (17,686 и 30,938 млн. кл/г и 22,282 и 67,996 мг/г). В фитоэпифитоне по численности и биомассе доминировали диатомовые и зеленые водоросли.

Изменения вклада доминантов и субдоминантов, а также видов, которые часто встречались в обрастании исследованных макрофитов представлены в таблице 3.

Известно, что формирование структуры фитоэпифитона зависит от ряда факторов, в частности от особенностей морфологического строения макрофитов [34], принадлежности высших водных растений к определенной экологической группе [17, 18], типа субстрата [31, 35, 37], прочности прикрепле-

**2. Численность и биомасса фитозэпифитона погруженных водных растений в заливах речного участка Каневского водохранилища**

Отделы	Зал. Собачье Гирло			Зал. Верблюд		
	<i>P. perfoliatus</i>	<i>M. spicatum</i>	<i>C. demersum</i>	<i>P. perfoliatus</i>	<i>M. spicatum</i>	<i>C. demersum</i>
Цианопрокaryota	—	—	—	<u>1,051</u> 0,053	+	<u>0,448</u> 0,024
Bacillariophyta	<u>1,991</u> 3,756	<u>2,676</u> 5,410	<u>17,422</u> 19,034	<u>8,595</u> 18,751	<u>14,932</u> 30,850	<u>29,845</u> 59,507
Chlorophyta	<u>0,055</u> 0,260	<u>0,249</u> 2,154	<u>0,248</u> 2,953	<u>0,913</u> 14,563	<u>0,953</u> 11,234	<u>0,590</u> 7,154
Charophyta	<u>0,002</u> 0,183	—	<u>0,016</u> 0,295	<u>0,003</u> 0,201	<u>0,006</u> 0,126	<u>0,015</u> 1,311
Dinophyta	<u>0,002</u> 0,028	—	—	—	—	—
Всего	<u>2,050</u> 4,227	<u>2,925</u> 7,564	<u>17,686</u> 22,282	<u>10,562</u> 33,568	<u>18,891</u> 42,210	<u>30,938</u> 67,996

П р и м е ч а н и е. Над чертой — численность, млн. кл/г, под чертой — биомасса, мг/г сухой массы растения-субстрата, + — численность и биомасса  $\leq 0,001$ , — представители отдела не выявлены.

ния к нему водорослей [26], химического состава воды [32], интенсивности освещения [9, 20], динамики водных масс [33] и типа водоема [15].

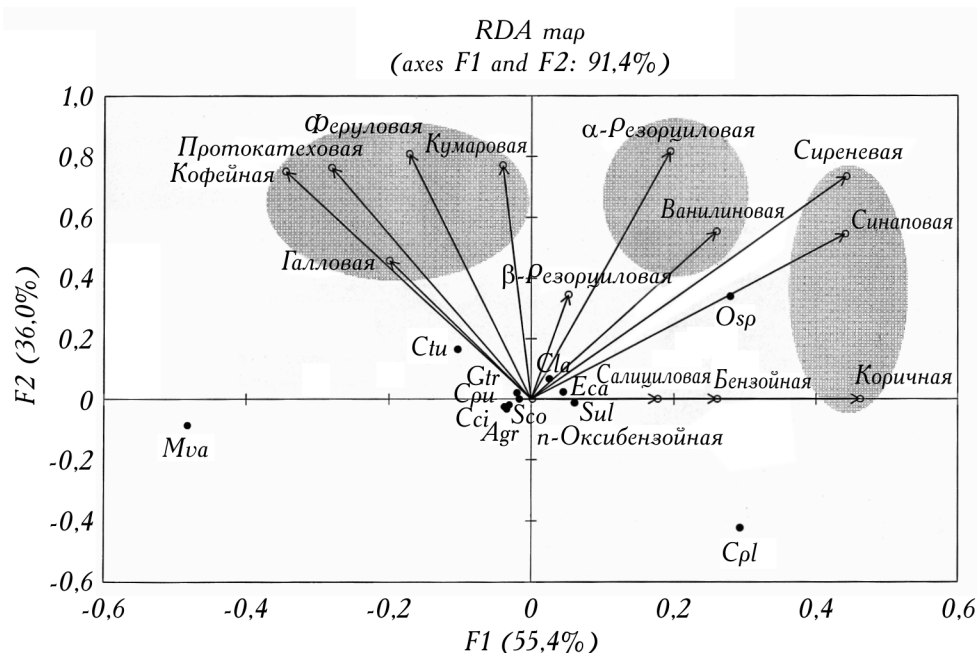
На наш взгляд, нельзя исключать из перечня факторов и такой, как метаболиты высших водных растений, в частности фенолкарбоновые кислоты, воздействие которых было продемонстрировано на примере планктонных водорослей [30].

Для изучения влияния ФКК на структуру эпифитона была осуществлена процедура канонической ординации, известная как анализ избыточности (redundancy analysis, RDA) [21]. Результаты данного анализа позволяют выделить три группы ФКК, оказывающих возможное влияние на фитозэпифитон. Вклад в первую главную компоненту (55,4%, ось абсцисс) вносят, в первую очередь, сиреневая, синаповая и коричневая кислоты (группа 1), расположенные в положительной области диаграммы с наибольшими величинами факториальной нагрузки по этой оси (рисунок). Вторая главная компонента (36,0%, ось ординат) представлена восемью кислотами, которые можно разделить на две группы по их отношению к первой компоненте: в отрицательной области находятся кофейная, протокатеховая, феруловая, кумаровая и галловая (группа 2); в положительной —  $\alpha$ -резорциловая и ванилиновая (группа 3).

3. Вклад (%) доминирующих и наиболее часто встречающихся видов в общую биомассу эпифитных водорослей исследованных макрофитов

Виды водорослей	<i>P. perfoliatus</i>		<i>C. demersum</i>		<i>M. spicatum</i>	
	Зал. Собачье гишло	Зал. Верблюда	Зал. Собачье гишло	Зал. Верблюда	Зал. Собачье гишло	Зал. Верблюда
<i>Melosira varians</i>	30,00 (A)	8,00	11,00 (CA)	38,00 (A)	0	17,00 (CA)
<i>Symbella lanceolata</i>	14,00 (CA)	10,00 (CA)	6,00	4,00	13,00 (CA)	11,00 (CA)
<i>Symbella tumida</i>	25,00 (A)	25,00 (A)	10,00 (CA)	16,00 (CA)	12,00 (CA)	17,00 (CA)
<i>Cocconeis placentula</i>	0,60	0,02	34,00 (A)	2,35	18,00 (CA)	0,45
<i>Oedogonium</i> sp. st.	6,00	37,00 (A)	13,00 (CA)	10,00 (CA)	28,00 (A)	27,00 (A)
<i>Staurosira construens</i>	8,40	4,64	7,01	5,47	2,97	4,71
<i>Aulacoseira granulata</i>	1,96	0,42	2,73	4,43	0,28	3,69
<i>Symbella cistula</i>	4,80	0,60	2,06	5,21	4,92	3,25
<i>Gomphonema truncatum</i>	1,06	4,85	2,10	5,31	1,15	1,73
<i>Eucyonema caespitosa</i>	0,66	0,17	0,94	0,14	6,15	6,47
<i>Synedra ulna</i>	1,28	1,63	2,77	1,99	7,92	2,60
<i>Stenophora pulchella</i>	0,71	0,04	0,39	1,03	0,26	0,45

Примечание. A — доминант, CA — субдоминант.



Биplot анализа избыточности (RDA) для ординации видовой структуры эпифитонных водорослей (*Melosira varians* — *Mva*, *Cymbella lanceolata* — *Cla*, *C. tumida* — *Ctu*, *Cocconeis placentula* — *Cpl*, *Oedogonium* sp. — *Osp*, *Stausirosira construens* — *Sco*, *Aulacoseira granulata* — *Agr*, *Cymbella cistula* — *Cci*, *Gomphonema truncatum* — *Gtr*, *Encyonema caespitosa* — *Eca*, *Synedra ulna* — *Sul*, *Ctenophora pulchella* — *Cpu*) по содержанию фенолкарбоновых кислот в биомассе трех видов погруженных высших водных растений (*Ceratophyllum demersum*, *Myriophyllum spicatum* и *Potamogeton perfoliatus*).

Среди выявленных в эпифитоне водорослей наиболее выраженной связью с содержанием ФКК в биомассе ВВР характеризуются такие виды, как *Melosira varians*, *Cocconeis placentula*, *Oedogonium* sp. st. и *C. tumida*, являющиеся доминантами и субдоминантами в обрастании исследованных макрофитов. Расположение точек этих видов в разных четвертях диаграммы свидетельствует об их разнонаправленной реакции на изменение состава ФКК. Повышенное содержание кислот первой группы в биомассе ВВР способствует развитию *Oedogonium* sp. st., однако оказывает существенное противоположное влияние на *Melosira varians*. Увеличение содержания ФКК второй группы отрицательно связано с биомассой *C. placentula* и положительно — с биомассой *C. tumida*. Что касается третьей группы ФКК, то их влияние на структуру эпифитона выражено слабее. Еще менее значимым влиянием характеризовалась *n*-оксибензойная,  $\beta$ -резорциловая, салициловая и бензойная кислоты.

Показатели биомассы других видов эпифитных водорослей, проекция которых находится в центре диаграммы, указывают на слабую зависимость их развития от содержания ФКК в биомассе высших водных растений.

Из вышеизложенного следует, что состав доминирующего комплекса эпифитных водорослей погруженных водных растений формируется под



влиянием главным образом фенолкарбоновых кислот первой и второй групп.

### Заключение

Исследованные погруженные высшие водные растения содержат широкий спектр ФКК, количество и соотношение которых является видоспецифической чертой. В зал. Собачье Гирло и зал. Верблюд общее содержание фенолкарбоновых кислот в фитомассе *Ceratophyllum demersum* составляло 397,2 и 458,0 мкг/г, у *Potamogeton perfoliatus* — 2280,2 и 2497,4, а у *Myriophyllum spicatum* — 1994,6 и 2193,2 мкг/г.

Наиболее высоким содержанием в фитомассе погруженных высших водных растений характеризуются бензойная, *p*-оксибензойная, салициловая, ванилиновая и галловая кислоты, что свидетельствует о преобладании оксибензойных кислот. Доля их участия у *Ceratophyllum demersum* составляет около 85%. Установлено большее содержание галловой и кофейной кислот у *Potamogeton perfoliatus* и сиреневой — у *Myriophyllum spicatum*.

Анализ RDA позволил выявить три группы ФКК в фитомассе ВВР, оказывающих возможное влияние на структуру фитоэпифитона. В первую группу вошли сиреневая, синаповая и коричная кислоты, во вторую — кофейная, протокатеховая, феруловая, кумаровая и галловая кислоты, а в третью —  $\alpha$ -резорциловая и ванилиновая кислоты. Влияние других идентифицированных ФКК на развитие фитоэпифитона было менее значимым.

Установлено также, что среди эпифитных водорослей наиболее выраженной связью с содержанием фенолкарбоновых кислот характеризуются *Melosira varians*, *Cocconeis placentula*, *Oedogonium* sp. st. и *Cymbella tumida*.

\*\*

Досліджено кількісний склад фенолкарбонових кислот у фітомасі занурених вищих водних рослин *Ceratophyllum demersum* L., *Potamogeton perfoliatus* L. і *Myriophyllum spicatum* L. Аналіз RDA дозволив виявити три групи фенолкарбонових кислот по їхньому впливу на розвиток фітоепіфітону досліджуваних макрофітів. Встановлено, що серед епіфітних водоростей найбільш вираженим зв'язком з вмістом фенолкарбонових кислот характеризуються *Melosira varians* Agardh, *Cocconeis placentula* Ehrenb., *Oedogonium* sp.st. і *Cymbella tumida* (Bréb. ex Kütz.) Grun.

\*\*

Quantitative composition of phenolcarbonic acids in phytomass of immersed aquatic plants *Ceratophyllum demersum* L., *Potamogeton perfoliatus* L. and *Myriophyllum spicatum* L. was studied. Redundancy analysis revealed three groups of phenolcarbonic acids according to its effect on phyto-epiphyton development. Among epiphytic algae registered the most apparent relation with phenolcarbonic acids content demonstrated *Melosira varians* Agardh, *Cocconeis placentula* Ehrenb., *Oedogonium* sp.st. and *Cymbella tumida* (Bréb. ex Kütz.) Grun.

\*\*

1. Костикова Л.Е. Особенности состава и развития перифитона высших растений днепровских водохранилищ // Гидробиол. журн. — 1980. — Т. 16, № 5. — С. 127—129.
2. *Методи гідроекологічних досліджень поверхневих вод* / За ред. В. Д. Романенка. — К.: Логос, 2006. — 408 с.
3. Патент №103091 МПК51 B01D 15/30, B01D 15/32, G01N 33/18, Україна. Спосіб визначення якісного складу фенолкарбонових кислот у біомасі вищих водяних рослин за допомогою хромато-мас-спектрофотометра / Усенко О.М., Коновець І.М., заявник та патентовласник Інститут гідробіології НАН України; опубл. 10.09.2013, Бюл. № 17.
4. *Разнообразие водорослей Украины* // Альгология. — 2000. — Т. 10, № 4. — 309 с.
5. Сакевич О.Й., Усенко О.М. Алелопатія в гідроекосистемах. — К.: Логос, 2008. — 342 с.
6. Сиренко Л.А., Козицкая В.Н. Биологически активные вещества водорослей и качество воды. — Киев: Наук. думка, 1988. — 254 с.
7. Усенко О.М., Кірпенко Н.І., Коновець І.М. Сезонна динаміка фенолкарбонових кислот у заростях *Phragmites communis* Trin. // Современные проблемы гидроэкологии. Перспективы, пути и методы решений: Материалы III между. науч. конф. — Херсон, 2012. — С. 128—131.
8. Усенко О.М., Сакевич А.И., Паламарчук В.Д. Влияние фенольных кислот гидрофитов на развитие планктонных водорослей // Альгология. — 2003. — Т. 13, № 1. — С. 26—33.
9. Bourassa N., Cattaneo A. Responses of a lake outlet community to light and nutrient manipulation: effects on periphyton and invertebrate biomass and composition // Freshwater Biol. — 2000. — Vol. 44. — P. 629—639.
10. Bukhtiyarova L.M. Diatoms of Ukraine. Inland waters. — Kyiv, 1999. — 133 p.
11. Bykova S.N., Garin E.V. Influence of *Stratiotes aloides* L. on the microperiphyton communities in model ecosystems // Hydrobiol. J. — 2018. — Vol. 54, N 3. — P. 36—45.
12. Cairns J.J. Biological monitoring — concept and scope / Environ. Biomonit., Asses., Predict., and Manag. — Certain Case Stud. And Relat. Quant. Assues. — Fairland, Md. — 1979. — P. 3—20.
13. Erhard D., Gross E.M. Allelopathic activity of *Elodea canadensis* and *Elodea nuttallii* against epiphytes and phytoplankton // Aquatic Bot. — 2006. — Vol. 85, N 3. — P. 203—211.
14. Kirpenko N.I., Usenko O.M. Influence of higher aquatic plants on microalgae (a review) // J. Hydrobiological. — 2013. — Vol. 49, N 2. — P. 57—74.
15. Kharchenko G. V., Shevchenko T. F., Klochenko P. D. Comparative characteristics of phytoepiphyton of water bodies of Kiev // Hydrobiol. J. — 2009. — Vol. 45, N 5. — P. 15—23.
16. Klochenko P. D., Shevchenko T.F. Phytoepiphyton of macrophytes of various ecological groups of the Kiev Reservoir // Ibid. — 2016. — Vol. 52, N 6. — P. 3—16.
17. Klochenko P., Shevchenko T. Distribution of epiphytic algae on macrophytes of various ecological groups (the case study of water bodies in the Dnieper

- River basin) // *Oceanol. Hydrobiol. St.* — 2017. — Vol. 46, Iss. 3. — P. 283—293.
18. *Klochenko P.D., Shevchenko T.F., Tarashchuk O.S.* Phytoepiphyton of the additional net of the Kanev Reservoir // *Hydrobiol. J.* — 2016. — Vol. 52, N 3. — P. 22—37.
19. *Kufel L., Pasztaleniec A., Czaplak G., Strzalek M.* Constitutive allelochemicals from *Stratiotes aloides* L. affect both biomass and community structure of phytoplankton // *Pol. J. Ecol.* — 2007. — Vol. 55, N 2. — P. 387—393.
20. *Liboriussen L., Jeppesen E.* Temporal dynamics in epipelagic, pelagic and epiphytic algal production in a clear and turbid shallow lake // *Freshwater Biol.* — 2003. — Vol. 48, N 3. — P. 418—431.
21. *Lipkovich I., Smith E.P.* BiPlot and singular value decomposition macros for Excel // *J. Stat. Software.* — 2002. — Vol. 7. — P. 1—15.
22. *Macías F.A., Molinillo J.M.G., Varela R.M. et al.* Allelopathy — a natural alternative for weed control // *Pest Manag. Sci.* — 2007. — Vol. 63. — P. 327—348.
23. *Mohamed Z.A., Al-Sheri A.M.* Differential responses of epiphytic and planktonic toxic cyanobacteria to allelopathic substances of the submerged macrophyte *Stratiotes aloides* // *Intern. Rev. Hydrobiol.* — 2010. — Vol. 95, N 3. — P. 224—234.
24. *Mulderij G., Mooij W.M., Smolders A.J.P., Van Donk E.* Allelopathic inhibition of phytoplankton by exudates from *Stratiotes aloides* // *Aquatic Bot.* — 2005. — Vol. 82, N 4. — P. 284—296.
25. *Mulderij G., Mau B., Smolders A.J.P., Van Donk E.* Allelopathic effect of the aquatic macrophyte *Stratiotes aloides* on natural phytoplankton // *Freshwater Biol.* — 2006. — Vol. 51, N 3. — P. 554—561.
26. *Passy S.I.* Diatom ecological guilds display distinct and predictable behavior along nutrient and disturbance gradients in running waters // *Aquat. Bot.* — 2007. — Vol. 86, N 2. — P. 171—178.
27. *Pasztaleniec A.* Phytoplankton communities in oxbow lakes with free-floating plant dominance (the middle Bug river valley, Poland) // *Актуальні проблеми ботаніки та екології: Матеріали міжнар. конф. молодих учених-ботаніків.* — К.: Фітосоціоцентр, 2007. — С. 32.
28. *Romanenko V.D., Sakevich A.I., Usenko O.M.* Metabolic mechanisms of interaction of higher aquatic plants and Cyanobacteria that cause water blooming // *Hydrobiol. J.* — 2005. — Vol. 41, N 3. — P. 45—57.
29. *Romanenko V.D., Sakevich A.I., Usenko O.M.* Higher aquatic plants as the factor limiting water bloom caused by Cyanobacteria // *Dopovidi NAN Ukrainy* — 2005. — Vol. 8. — P. 174—178.
30. *Sakevich A.I., Usenko O.M.* Exometabolites of aquatic macrophytes of phenol nature and their influence on the vital activity of plankton algae // *Hydrobiol. J.* — 2003. — Vol. 39, N 3. — P. 36—44.
31. *Shevchenko T. F.* Distribution of periphyton algae of the Dnieper reservoirs depending on the type of substratum // *Hydrobiol. J.* — 2011. — Vol. 47, N 3. — P. 3—13.

32. Shevchenko T. F., Klochenko P.D., Bilous O.P. Response of epiphytic algae to heavy pollution of water bodies // Water Environ. Res. — 2018. — Vol. 90, N 8. — P. 706—718.
33. Shevchenko T.F., Klochenko P.D., Timchenko V.M., Dubnyak S.S. Epiphyton of a cascade plain reservoir under different hydrodynamic conditions // Ecohydrol. & Hydrobiol. — 2019. — Vol. 19, Iss. 3. — P. 407—416.
34. Toporowska M., Pawlik-Skowrońska B., Wojtal A.Z. Epiphytic algae on *Stratiotes aloides* L., *Potamogeton lucens* L., *Ceratophyllum demersum* L. and *Chara* spp. in a macrophyte-dominated lake // Oceanol. Hydrobiol. St. — 2008. — Vol. 37, N 2. — P. 51—63.
35. Trbojević I., Jovanović J., Kostić D. et al. Structure and succession of periphyton in an urban reservoir: artificial substrate specificity // Oceanol. Hydrobiol. St. — 2017. — Vol. 46, N 4. — P. 379—392.
36. Usenko O.M., Konovets I.N. Analysis of phenolcarbonic acids content in phytomass of higher aquatic plants // Hydrobiol. J. — 2014. — Vol. 50, N 5. — P. 47—60.
37. Zhang N., Li H., Jeppesen E., Li W. Influence of substrate type on periphyton biomass and nutrient state at contrasting high nutrient levels in a subtropical shallow lake // Hydrobiologia. — 2013. — Vol. 710, N 1. — P. 129—141.