

УДК 58

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРЕДЕЛЬНО ВОЗМОЖНЫХ НАГРУЗОК ВЕЩЕСТВ, ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ БИОСИСТЕМУ С ВЫСШИМИ ВОДНЫМИ РАСТЕНИЯМИ

Раимбеков К.Т.

*Ошский гуманитарно-педагогический институт имени А.С. Мырсабекова, Ош,
e-mail: raimbekov-K@mail.ru*

Фиторемедиация сточных вод разной природы с помощью водных растений считается перспективным направлением науки. Одним из препятствий в применении биологической очистки является недостаточная изученность экологической специфики водных макрофитов, нужных для гарантии соответствия проектных значений рабочим показателям. В данной статье подведены опытным путем аргументированные итоги исследований по раскрытию влияния единовременных дополнений поверхностно-активных веществ (ПАВ) – додецилсульфата натрия и ПАВ – содержащего смесового препарата «Аист» на исследованные виды высших водных растений. В результате проделанной работы на основании современных методов были изучены допустимые нагрузки додецилсульфата натрия и смесового препарата «Аист» на водные макрофиты в условиях периодического действия. Также были изучены допустимые итоговые нагрузки синтетических поверхностно-активных веществ на 1 г сырой биомассы изученных видов водных макрофитов. Приведенные в данной статье количественные характеристики стабильности высших водных растений к ПАВ додецилсульфату натрия и ПАВ – содержащему смесовому препарату «Аист» имеют большое значение для работы по повышению продуктивности применения высших водных растений в восстановлении водных объектов. Результаты, полученные в ходе эксперимента с высшими водными растениями, можно будет использовать в том числе в планировании, разработке, внедрении и применении в практике очистки и доочистки объектов водных ресурсов и систем.

Ключевые слова: высшее водное растение, поверхностно-активные вещества, додецилсульфат натрия, биомасса, суммарные дозы

IDENTIFICATION OF ACCEPTABLE LOADS OF POLLUTANTS ON THE BIOSYSTEM WITH HIGHER WATER PLANTS

Raimbekov K.T.

*Osh Pedagogical Institute of Humanities named after A.S. Myrsabekov, Osh,
e-mail: raimbekov-K@mail.ru*

There are quantitative data on the concentrations of pollutants that can accumulate certain types of higher aquatic plants. The potential field of applicability of biological treatment using higher aquatic plants is very wide. One of the obstacles to its use is the lack of scientific data on the ecological features of higher aquatic plants necessary to ensure compliance of operational indicators with the calculated design values. This article presents the experimental results of studies to identify the impact of single additives of surfactants (surfactants)- sodium dodecyl sulfate and surfactant-containing mixture preparation «AIST» on the studied species of higher aquatic plants. As a result of the research on the basis of modern methods, the permissible loads of sodium dodecyl sulfate surfactant and surfactant-containing mixed preparation «AIST» on higher aquatic plants under conditions of periodically repeated additives were studied. The total loads of sodium dodecyl sulfate surfactant and surfactant-containing mixture preparation «AIST» per 1 g of the crude mass of higher aquatic plants were also studied in the incubation mode. The quantitative indicators of resistance of higher aquatic plants to sodium dodecyl sulfate surfactant and the surfactant-containing mixed preparation «AIST» given in this article contribute to the information for more reasonable use of higher aquatic plants for the restoration of water bodies. Also, the results can be used in the development, planning, implementation and practical use of purification and post-treatment of water bodies and systems using higher aquatic plants.

Keywords: higher aquatic plants, surfactants, sodium dodecyl sulfate, biomass, total doses

В настоящее время некоторые аспекты воздействия загрязнителей разной категории на высшие водные растения (ВВР) мало исследованы [1, 2]. Способы очищения загрязненных вод под воздействием ВВР изучаются активно, и имеются научные данные о количественном содержании некоторых загрязняющих веществ в разных тканях растений [3, 4]. Вопрос о предельном количестве выделений химических веществ активно разрабатывается. Информации о предельно возможных концентрациях загрязняющих веществ на ВВР недостаточно [5–7].

В связи с этим возникает потребность установления, научно аргументированных результатов стабильности разных видов

ВВР к загрязняющим веществам. Данных о возможностях применения ВВР при биологической очистке сточных вод в условиях Кыргызстана недостаточно.

Таким образом, актуальным становится выявление данных о стабильности высших водных растений к различным загрязняющим веществам.

Цель исследования: определить биологический результат воздействия единовременных дополнений ПАВ – содержащего смесового препарата «Аист» и ПАВ – додецилсульфата натрия на исследованные виды высших водных растений.

Исследовать в условиях периодически повторяющихся дополнений предельно воз-

можных нагрузок высших водных растений на ПАВ-содержащий смесевой препарат «Аист» и ПАВ додецилсульфат натрия.

Материалы и методы исследования

Для лабораторных экспериментов отобраны представители ВВР: *vallisneria spiralis*, *potamogeton crispus*, *elodea canadensis*, *eichhornia crassipes* и *azolla caroliniana*. Причиной данного отбора стало то, что синтетический ПАВ является потенциально опасным химическим препаратом.

Лабораторные модельные системы, содержащие высшие водные растения, применялись в проведении экспериментальных опытов. В аквариум с водопроводной водой помещали по 500 г *eichhornia crassipes*, *elodea canadensis* и *potamogeton crispus*, по 600 г *vallisneria spiralis* и *azolla caroliniana*. Только один вид ВВР был в составе одной модельной системы. ПАВ додецилсульфата натрия

и ПАВ-содержащий смесевой препарат «Аист» при концентрации 100; 150; 200; 250; 350; 450; 650; 850; 1000 мг/л были использованы в качестве воздействующих веществ. Опыты проводились в условиях естественного освещения при температуре воды в аквариумах $21^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$.

Результаты исследования и их обсуждение

Для определения стабильности использованных видов ВВР к взаимодействию с одноразовыми добавлениями загрязняющих веществ были применены одноразовые добавки смесового препарата «Аист» и додецилсульфата натрия. Эксперименты длились 10–30 суток, что связано со временем проявления воздействия загрязненных веществ (табл. 1).

Таблица 1
Биологические эффекты воздействия единовременных дополнений ПАВ додецилсульфата натрия на ВВР

ВВР	№	Биомасса (сырой вес), г	ДСН, мг/л	Количества веществ к биомассе, мг/г	Отрицательные признаки, сут.	Гибель $\geq 50\%$ растений, сут.
<i>Eihhornia crassipes</i>	1	600,3	0,0	0,0	*	*
	2	600,4	150,0	0,25	*	*
	3	600,2	200,0	0,33	*	*
	4	600,1	250,0	0,42	*	*
	5	600,5	300,0	0,50	*	*
	6	600,6	350,0	0,58	*	*
	7	600,7	450,0	0,75	*	*
	8	600,4	650,0	1,08	*	*
	9	600,3	850,0	1,42	29	*
	10	600,5	1000,0	1,66	26	29
<i>Elodea canadensis</i>	1	600,7	0,0	0,0	*	*
	2	600,2	150,0	0,25	*	*
	3	600,6	200,0	0,33	*	*
	4	600,3	250,0	0,42	*	*
	5	600,5	300,0	0,50	*	*
	6	600,4	350,0	0,58	*	*
	7	600,7	450,0	0,75	*	*
	8	600,4	650,0	1,08	27	*
	9	600,3	850,0	1,42	24	27
	10	600,3	1000,0	1,66	21	25
<i>Potamogeton crispus</i>	1	600,4	0,0	0,0	*	*
	2	600,3	150,0	0,25	*	*
	3	600,2	200,0	0,33	*	*
	4	600,3	250,0	0,42	*	*
	5	600,1	300,0	0,50	*	*
	6	600,4	350,0	0,58	*	*
	7	600,6	450,0	0,75	*	*
	8	600,2	650,0	1,08	18	29
	9	600,4	850,0	1,42	14	21
	10	600,2	1000,0	1,66	11	16

Окончание табл. 1

ВВР	№	Биомасса (сырой вес), г	ДСН, мг/л	Количества веществ к биомассе, мг/г	Отрицательные признаки, сут.	Гибель ≥ 50% растений, сут.
<i>Azolla caroliniana</i>	1	700,3	0,0	0,0	*	*
	2	700,2	150,0	0,21	*	*
	3	700,4	200,0	0,28	5	8
	4	700,5	250,0	0,36	4	6
	5	700,2	300,0	0,43	3	4
	6	700,3	350,0	0,49	1	1
	7	700,1	450,0	0,64	1	1
	8	700,6	650,0	0,92	1	1
	9	700,2	850,0	1,21	1	1
	10	700,5	1000,0	1,42	1	1
<i>Vallisneria spiralis</i>	1	700,4	0,0	0,0	*	*
	2	700,3	150,0	0,21	*	*
	3	700,4	200,0	0,28	*	*
	4	700,6	250,0	0,36	*	*
	5	700,6	300,0	0,44	23	*
	6	700,5	350,0	0,48	17	*
	7	700,3	450,0	0,63	13	17
	8	700,3	650,0	0,93	16	14
	9	700,4	850,0	1,22	5	8
	10	700,2	1000,0	1,43	3	6

Примечание. *Во время опытных работ, которые проводились в течение 30 суток, ни одно растение не погибло.

Опытным путем нами была установлена наибольшая устойчивость к действию додецилсульфата натрия проявила *eihhornia crassipes*, которая только через 29 суток погибла при концентрации 1000,0 мг/л. Сравнительно более устойчивой считается *elodea canadensis*, так как при концентрациях 850 и 1000 мг/л гибель более 50% растений была отмечена через 27 и 25 суток. Гибель *potamogeton crispus* наступала на 29 сутки при концентрациях равных 650 мг/л. Более восприимчивым к действию додецилсульфата натрия оказалось *vallisneria spiralis* и при концентрации 450,0; 650,0; 850,0 и 1000,0 мг/л гибель большей части растений была фиксирована через 17, 14, 8 и 6 суток.

Azolla caroliniana оказалась крайне восприимчивой к использованным концентрациям додецилсульфата натрия и омертвление части листовых пластинок наступала на следующий день инкубации при концентрации 350,0; 450,0; 650,0; 850,0 и 1000,0 мг/л. При концентрации 250,0 мг/л гибель более 50% *azolla caroliniana* была зафиксирована на 6 сутки.

Было проведено несколько лабораторных экспериментов по установлению биологического эффекта воздействия единов-

ременных дополнений ПАВ-содержащего смесового препарата «Аист» с целью дальнейшего применения вышеперечисленных растений для очистки различных сточных вод (табл. 2).

Итоги экспериментов показали, что за время выполнения опыта (30 суток) *eihhornia crassipes* не погибло. Если концентрация смесового препарата составляла 850 и 1000 мг/л, более 50% биомассы *potamogeton crispus* и *elodea canadensis* погибло на 17 и 20 суток. *azolla caroliniana* и *vallisneria spiralis* оказались крайне восприимчивыми к смесовому препарату, так как эти растения начинали умирать при концентрации 200,0, 250,0 и 350,0 мг/л.

В условиях время от времени повторяющихся дополнений был осуществлен второй этап лабораторного эксперимента по исследованию стабильности изучаемых видов растений к воздействию додецилсульфата натрия и характеристика опасной свойств ПАВ получена на 2 этапе лабораторного эксперимента. В определенном спектре доз добавления додецилсульфата натрия есть прямая зависимость одноразовой добавки к полному количеству загрязняющего вещества в системе. Таким

образом, растения переносят большее суммарное количество загрязняющих элементов до своей гибели, если разовая добавка увеличена. Но при разовой добавке, возрастающей от 1,9 до 8,5 мг/л, это свойство

исчезает. Оно восстанавливается при дальнейшем повышении дозы (рис. 1 и 2).

Время инкубации данных растений длится от 1 до 29 суток, при одноразовой добавке 50 до 100 мг/л.

Таблица 2

Биологические эффект действия одноразовых добавок
смесового препарата «Аист» на ВВР

ВВР	№	Сырая биомасса, г	ДСН, мг/л	Количество к биомассе растений, мг/г	Первые отрицательные признаки, сут.	Гибель ≥ 50% растений, сут
<i>Eihhornia crassipes</i>	1	600,3	–	–	*	*
	2	600,6	150,0	0,25	*	*
	3	600,3	200,0	0,33	*	*
	4	600,5	250,0	0,41	*	*
	5	600,3	300,0	0,49	*	*
	6	600,5	350,0	0,58	15	*
	7	600,6	450,0	0,75	13	*
	8	600,7	650,0	1,08	12	*
	9	600,3	850,0	1,41	11	*
	10	600,4	1000,0	1,66	11	
<i>Elodea canadensis</i>	1	600,6	0,0	0,0	*	*
	2	600,1	150,0	0,25	*	*
	3	600,3	200,0	0,33		*
	4	600,5	250,0	0,42		*
	5	600,6	300,0	0,49	17	*
	6	600,2	350,0	0,58	14	*
	7	600,3	450,0	0,75	14	*
	8	600,6	650,0	1,08	12	*
	9	600,6	850,0	1,41	11	20
	10	600,4	1000,0	1,66	10	20
<i>Potamogeton crispus</i>	1	600,5	0,0	0,0	*	*
	2	600,4	150,0	0,25	*	*
	3	600,5	200,0	0,33	*	*
	4	600,3	250,0	0,42	18	*
	5	600,3	300,0	0,49	15	*
	6	600,6	350,0	0,58	15	*
	7	600,4	450,0	0,75	12	*
	8	600,4	650,0	1,08	10	
	9	600,5	850,0	1,41	8	17
	10	600,5	1000,0	1,66	7	17
<i>Azolla caroliniana</i>	1	700,3	0,0	0,0	*	*
	2	700,5	150,0	0,21	*	*
	3	700,4	200,0	0,28	14	18
	4	700,2	250,0	0,35	12	16
	5	700,6	300,0	0,43	10	14
	6	700,5	350,0	0,49	9	12
	7	700,4	450,0	0,64	8	11
	8	700,5	650,0	0,93	6	11
	9	700,3	850,0	1,21	6	19
	10	700,2	1000,0	1,43	6	19

Окончание табл. 2

ВВР	№	Сырая биомасса, г	ДСН, мг/л	Количество к биомассе растений, мг/г	Первые отрицательные признаки, сут.	Гибель ≥ 50% растений, сут
<i>Vallisneria spiralis</i>	1	700,4	0,0	0,0	*	*
	2	700,5	150,0	0,21	*	*
	3	700,2	200,0	0,28	*	*
	4	700,4	250,0	0,35	*	*
	5	700,6	300,0	0,44	17	*
	6	700,2	350,0	0,48	13	16
	7	700,5	450,0	0,63	10	13
	8	700,3	650,0	0,92	7	12
	9	700,4	850,0	1,22	5	8
	10	700,6	1000,0	1,44	1	1

Примечание. *В течение 30 суток не погибло ни одно подопытное растение; ДСН – додецилсульфат натрия.

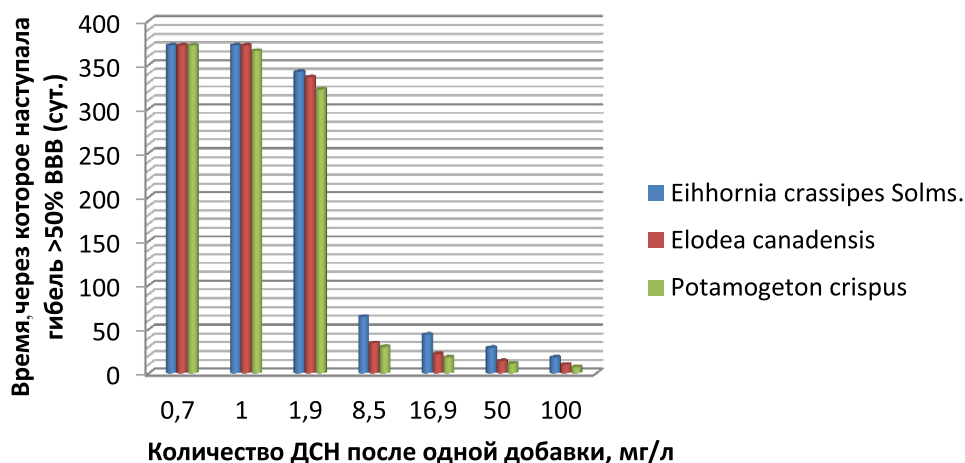


Рис. 1. Кинетика изменения показателей суммарного количества ПАВ додецилсульфата натрия, добавление которого приводило к гибели >50% растений

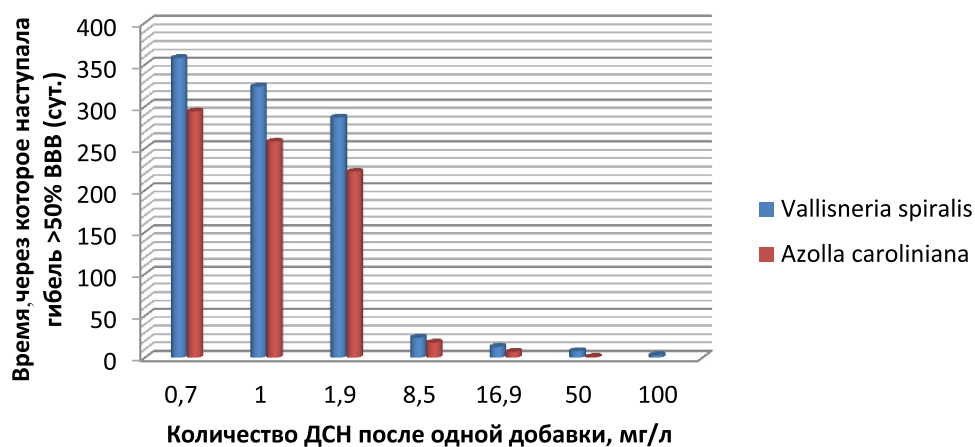


Рис. 2. Кинетика изменения показателей суммарного количества ПАВ додецилсульфата натрия, добавление которого приводило к гибели >50% растений

Eihhornia crassipes, *elodea canadensis* и *potamogeton crispus*, у которых инкубация длилась от 322 до 372 дней, когда одноразовые добавки составили 0,7–1,9 мг/л концентрации додецилсульфата натрия. Сравнительно короткое время инкубации (222–358 суток) у *vallisneria spiralis* и *azolla caroliniana*. Время инкубации подопытных растений можно значительно сократить, если концентрация одноразовых добавок составляет 8,5–16,9 мг/л: 7–24 суток для *vallisneria spiralis* и *azolla caroliniana*; 18–64 суток для *elodea canadensis*, *eihhornia crassipes*, и *potamogeton crispus*. 1–29 суток – это продолжительность инкубационного периода при концентрации с одноразовыми добавками 50–100 мг/л для перечисленных растений.

Таким образом, опытным путем нам удалось установить, что додецилсульфат натрия имеет относительную безопасность при одноразовой добавке 0,7–1,9 мг/л, если это производить систематически. Когда концентрация одноразовых добавок была относительно высока (от 50 мг/л и выше), время инкубации было коротким (1–4 недели) и суммарные дозы перешли границы спектра стабильности. До 30 дней увеличивается продолжительность инкубационного периода, если одноразовая доза составляет 1,9–8,3 мг/л. Происходит уменьшение общей дозы, если в одноразовой добавке увеличить количество додецилсульфата натрия. Из этого можно сделать вывод, что

уровень стабильности подопытных растений уменьшился.

Наши эксперименты позволили установить, что наибольшие нагрузки происходят, когда в относительно продолжительный отрезок времени не было значительных изменений в состоянии ВВР, которые формируются под воздействием добавок, производимых в определенные отрезки времени (табл. 3).

Допустимая суммарная нагрузка додецилсульфата натрия в условиях лабораторных опытов равна: для *elodea canadensis* – 11,8 мг/л на 1 г биомассы при сроке инкубации 336 суток; для *eihhornia crassipes* – 11,9 мг/л на 1 г биомассы при сроке инкубации 342 суток; для *vallisneria spiralis* – 10,1 мг/л на 1 г биомассы при сроке инкубации 287 суток; для *potamogeton crispus* – 11,3 мг/л на 1 г биомассы при сроке инкубации 322 суток; для *azolla caroliniana* – 16,4 мг/л на 1 г биомассы, когда длительность инкубации составляет 223 дня.

Эксперименты по использованию время от времени повторяющихся дополнительных смесевых препаратов «Аист» позволили определить предельную стабильность к этому препарату подопытных видов ВВР.

Табл. 4 отражает максимально возможные нагрузки, когда не происходят заметные изменения в модельных системах с ВВР под воздействием время от времени повторяющихся добавлений смесевых препаратов «Аист».

Таблица 3

Допустимые в использованном режиме инкубации итоговые нагрузки ПАВ додецилсульфата натрия на 1 г сырой массы высших водных растений

№ п/п	ВВР	Длительность инкубации, сут.	Количество СМС на 1 г сырой биомассы, мг/г	Количество в одной добавке, мг/л
1	<i>Eihhornia crassipes</i>	342	11,9	1,9
2	<i>Elodea canadensis</i>	336	11,8	1,9
3	<i>Potamogeton crispus</i>	322	11,3	1,9
4	<i>Vallisneria spiralis</i>	287	10,1	1,9
5	<i>Azolla caroliniana</i>	223	16,4	1,9

Таблица 4

Границы устойчивости ВВР в модельных системах

№ п/п	ВВР	Предел устойчивости, мг/л	СМС в одной добавке, мг/л	Количество добавок	Изменение в организме растений, сутки
1	<i>Eihhornia crassipes</i>	275,0	12,5	22	52
2	<i>Elodea canadensis</i>	137,5	12,5	11	27
3	<i>Potamogeton crispus</i>	125,0	12,5	10	24
4	<i>Vallisneria spiralis</i>	112,5	12,5	9	18
5	<i>Azolla caroliniana</i>	50,0	12,5	4	10

Примечание: ВВР – высшие водные растения; СМС – смазочно-моющие средства.

Таблица 5

Предельные нагрузки смешанного препарата «Аист» на 1 г биомассы

№ п/п	ВВР	Длительность инкубации, сут.	Количество СМС на 1 г биомассы, мг/г	В одной добавке, мг/л
1	<i>Eihhornia crassipes</i>	51	17,3	12,5
2	<i>Elodea canadensis</i>	28	9,7	12,5
3	<i>Potamogeton crispus</i>	24	8,2	12,5
4	<i>Vallisneria spiralis</i>	18	6,6	12,5
5	<i>Azolla caroliniana</i>	11	3,1	12,5

Нами доказано, что максимальная общая нагрузка смешанного препарата «Аист» при 12,5 мг/л вещества на одну добавку составляет: 1) 275,0 мг/л для *eihhornia crassipes*; 2) 112,5 мг/л для *vallisneria spiralis*; 3) 137,5 мг/л для *elodea canadensis*; 4) 50 мг/л для *azolla caroliniana*; 5) 125 мг/л для *potamogeton crispus*.

По результатам экспериментов была определена максимальная общая нагрузка смешанного препарата «Аист» на 1 г биомассы в системе с ВВР (табл. 5).

Следовательно, максимальные общие нагрузки при 12,5 мг/л в одной добавке возможны для: *vallisneria spiralis* 6,6 мг/г; *eichhornia crassipes* – 17,3 мг/г; *azolla caroliniana* – 3,1 мг/г; *elodea canadensis* – 9,7 мг/г и *potamogeton crispus* и 8,2 мг/г.

Выводы

1. Установлено, что *elodea canadensis*, *eichhornia crassipes* и *potamogeton crispus* относятся к группе наиболее стабильной к воздействию ПАВ додецилсульфат натрия и ПАВ содержащего смешанного препарата «Аист» с единовременными добавками. *Vallisneria spiralis* относится к сравнительно более восприимчивой группе, и *azolla caroliniana* относится к весьма восприимчивой группе. Наилучшая концентрация с единовременными добавками составила от 0,7 до 1,9 мг/л.

2. Общая нагрузка додецилсульфата натрия на 1 г биомассы при многократных добавках составила для: 1) *Elodea canadensis* – 11,8 мг/л; 2) *Eichhornia crassipes* Solms. – 11,9 мг/л; 3) *Vallisneria spiralis* – 10,1 мг/л; 4) *Potamogeton crispus* – 11,3 мг/л; 5) *Azolla caroliniana* – 16,4 мг/л. Предельно возможная нагрузка смешанного препарата «Аист» при систематических повторях добавок, когда в одной добавке – 12,5 мг/л, для: 1) *Eichhornia crassipes* – 262,5 мг/л;

2) *Elodea canadensis* – 150 мг/л; 3) *Potamogeton crispus* – 125 мг/л; 4) *Vallisneria spiralis* – 100 мг/л; 5) *Azolla caroliniana* – 50 мг/л.

3. Получены доказательства того, что добавление время от времени смешанного препарата «Аист» максимальные нагрузки на 1 г биомассы растений являются для: *eichhornia crassipes* – 17,3 мг/г; *elodea canadensis* – 9,7 мг/г; *potamogeton crispus* – 8,2 мг/г; *vallisneria spiralis* – 6,6 мг/г; *azolla caroliniana* – 4,9 мг/г.

4. Эксперименты позволили установить, что эффективность применения высших водных растений зависит от показателей стабильности высших водных растений к додецилсульфату натрия и смешанному препарату «Аист».

Список литературы

1. Арефьева О.А. Воздействие магнитного поля на процессы извлечения тяжелых металлов ряской // Известия вузов. Химия и химическая технология. 2010. Т. 53. № 8. С. 77–81.
2. Зайнутдинова Э.М., Яфорова Г.Г. Очистка сточных вод от ионов тяжелых металлов с использованием водных растений // Башкирский химический журнал. 2013. Т. 20. № 3. С. 150–152.
3. Кочеткова А.И. О некоторых закономерностях накопления тяжелых металлов высшей водной растительностью на Волгоградском водохранилище // Вестник Волгоградского государственного университета. 2012. № 1. С. 305–309.
4. Токоев А.А. Биологическая очистка сточных вод городского очистительного сооружения г. Ош с использованием *eichhornia crassipes* Solms.: автореф. дис. ... канд. биол. наук. Ош, 2014. 22 с.
5. Раимбеков К.Т., Шоякубов Р.Ш. Изучение химического состава *Eichhornia crassipes* и *Pistia stratiotes*, выращенных на сточных водах // Химия природных соединений. 1998. Спец. вып. С. 52–53.
6. Раимбеков К.Т. Биоэффекты воздействия однократных добавок ПАВ додецилсульфата натрия и ПАВ содержащего смешанного препарата на высшие водные растения // Наука вчера, сегодня, завтра. 2016. № 12 (34). С. 43–48.
7. Соломонова Е.А. Выявление допустимых нагрузок загрязняющих веществ на биосистему с высшими водными растениями: автореф. дис. ... канд. биол. наук. Москва, 2009. 26 с.