

УДК 582.272:632.4.01/.08:57.022:543.9

МИКОТОКСИНЫ В МАКРОВОДОРОСЛЯХ КАНДАЛАКШСКОГО ЗАЛИВА БЕЛОГО МОРЯ ПРИ ЕСТЕСТВЕННОМ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОМ ОТЧУЖДЕНИИ С СУБСТРАТА

© 2023 г. А. А. Буркин¹ (ORCID: 0000-0002-5674-2818), Г. П. Кононенко^{1, *} (ORCID: 0000-0002-9144-615X)

¹Всероссийский научно-исследовательский институт экспериментальной ветеринарии
им. К.И. Скрябина и Я.Р. Коваленко, Москва, 123022 Россия

*e-mail: kononenkogrp@mail.ru

Поступила в редакцию 08.07.2022 г.

После доработки 09.03.2023 г.

Принята к публикации 30.03.2023 г.

В одном из экотопов Кандалакшского залива Белого моря методом непрямого конкурентного иммуноферментного анализа проведена оценка содержания низкомолекулярных метаболитов микроорганизмов (микотоксинов) в водорослях-макрофитах, отобранных с субстратов, из штормовых выбросов и после длительного выдерживания в почве. У *Fucus distichus*, *F. serratus*, *F. vesiculosus* и *Ascophyllum nodosum* из выбросов концентрации всех анализируемых токсичных веществ были единообразно снижены по сравнению с таковыми в живых талломах. Для *Laminaria digitata*, *Saccharina latissima* и *Ahnfeltia plicata*, в живых особях которых микотоксины не встречались или были крайне редкими, в выбросах выявлены случаи контаминации цитринином, микофеноловой кислотой, эмодином и стеригматоцистином. После 12 мес. выдерживания в почве в образцах *F. distichus* удалось определить лишь 9 компонентов из 16 анализируемых. У *F. serratus*, *F. vesiculosus*, *A. nodosum* и *Pelvetia canaliculata* выявлены только эмодин, микофеноловая кислота, альтерналиол и эргоалкалоиды.

Ключевые слова: морские водоросли, штормовые выбросы, микотоксины, почвенная деструкция, иммуноферментный анализ

DOI: 10.31857/S0134347523050054, EDN: EOMHDR

Беломорские водоросли, как часть общей экосистемы севера России, активно участвуют в круговороте питательных веществ и структурировании окружающей среды (Возжинская, 1967; Максимова, Мюге, 2007; Човган, Малавенда, 2017). В последние десятилетия на одном из участков побережья Кандалакшского залива они стали приоритетными объектами экологических и биологических исследований. В водорослях обнаружено более 300 видов грибов и грибоподобных организмов (Бубнова и др., 2014). Для типичных представителей семейств Fucaceae и Laminariaceae подробно описан состав микобиоты (Бубнова, Киреев, 2009; Коновалова, Бубнова, 2011). В живых талломах фукоидов найдены метаболиты, свойственные токсигенным микромицетам родов *Fusarium* Link, *Alternaria* Nees, *Penicillium* Link, *Aspergillus* P. Micheli ex Haller, *Myrothecium* Tode, *Cladosporium* Link, и показано отсутствие этих микотоксинов у ламинариевых водорослей (Буркин и др., 2020, 2021).

У верхней границы приливно-отливной зоны участка побережья можно наблюдать протяжен-

ные многослойные слежавшиеся валы из водорослей, вынесенных из воды на осушную полосу. Специфические биоценозы, формируемые штормовыми выбросами при круглогодичных резких колебаниях внешних факторов, становятся доступным субстратом для многообразных аэрофильных и микроаэрофильных микроорганизмов. Для свободноживущих бактерий и грибов давно известна способность трансформировать микотоксины в контаминированных растительных объектах (Bakutis et al., 2005; Hathout, Aly, 2014; Ji et al., 2016; Taheur et al., 2019). Успех в поиске таких организмов чаще достигается при сканировании штаммов из почвенной микобиоты (He et al., 2008; Wilson et al., 2017). В связи с этим представляла интерес микотоксикологическая оценка водорослей после продолжительного контакта с сообществами подобных микроорганизмов.

Цель работы — оценка содержания микотоксинов в бурых и красных водорослях, отобранных с субстратов, из зоны естественного отчуждения и в талломах фукусовых водорослей после длительного выдерживания в почве.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА

Объектами исследования стали бурые водоросли семейства Fucaceae: *Fucus distichus* Linnaeus, *F. serratus* Linnaeus, *F. vesiculosus* Linnaeus, *Ascophyllum nodosum* (Linnaeus) Le Jolis, *Pelvetia canaliculata* (Linnaeus) Decaisne & Thuret; семейства Laminariaceae: *Laminaria digitata* (Hudson) J.V. Lamouroux, *Saccharina latissima* (Linnaeus) C.E. Lane, C. Mayes, Druehl & G.W. Saunders; красные водоросли: *Ahnfeltia plicata* (Hudson) E.M. Fries (семейство Ahnfeltiaceae) и *Palmaria palmata* (Linnaeus) F. Weber & D. Mohr (Palmariaceae). Образцы взяты с участка прибрежной зоны пролива Великая Салма Кандалакшского залива Белого моря (66°31' N 33°11' E). Отбор материала проводили во второй половине августа—первой половине сентября 2020 и 2021 гг. Живые особи снимали с субстрата при отливе (группа I). Талломы без повреждений структуры и внешних признаков гниения отбирали из штормовых выбросов у верхней границы литорали (группа II). Для моделирования процессов, происходящих с водорослями при контакте с почвой, использовали метод изоляции в сетчатых мешочках (Verhoet, 1995). Свежесобранные особи *F. distichus*, *F. serratus*, *F. vesiculosus*, *A. nodosum*, *P. canaliculata* закладывали в мешочки из тонкой хлопчатобумажной ткани, помещали под слой лесной почвы у основания валуна на глубину около 10 см и извлекали для анализа через 12 мес. (группа III).

Пробоподготовка и выполнение анализа не отличались от описанных ранее (Кононенко и др., 2022). Образцы в полевых условиях высушивали на воздухе при 15–20°C, транспортировали и измельчали в лабораторной мельнице. Для экстракции применяли смесь ацетонитрила и воды в объемном соотношении 84 : 16 при расходе 10 мл на 1 г навески. Экстракты после 10-кратного разбавления буферным раствором анализировали с помощью аттестованных коммерческих и исследовательских иммуноферментных тест-систем (Россия). Нижние пределы количественных измерений в условиях непрямого конкурентного иммуноферментного анализа соответствовали 85%-ному уровню связывания антител. Среди определяемых микотоксинов были Т-2 токсин (Т-2), диацетоксисцирпенон (ДАС), дезоксиниваленон (ДОН), зеараленон (ЗЕН), фумонизины группы В (ФУМ), альтернариол (АОЛ), охратоксин А (ОА), цитринин (ЦИТ), стеригматоцистин (СТЕ), афлатоксин В₁ (АВ₁), циклопиазоновая кислота (ЦПК), микофеноловая кислота (МФК), эргоалкалоиды (ЭА), эмодин (ЭМО), PR-токсин (PR) и роридин А (РОА). Данные обсчитывали в программе Microsoft Office Excel и представляли в виде средних арифметических значений.

РЕЗУЛЬТАТЫ

В талломах фукоидов *Fucus distichus*, *F. serratus*, *F. vesiculosus*, *Ascophyllum nodosum* и *Pelvetia canaliculata*, отобранных с субстрата (группа I), регулярно, хотя и с разной частотой, обнаруживали все анализируемые микотоксины (табл. 1, 2). В образцах из выбросов (группа II) профиль микотоксинов претерпел значительные изменения — содержание всех анализированных веществ и частота их выявления были снижены. У *F. serratus* и *A. nodosum* многие микотоксины были обнаружены лишь у нижних пределов метода или их вообще не удалось определить (например, ЦПК, PR и РОА). Даже в тех случаях, когда во всех исследованных образцах микотоксины были выявлены (например, у *F. vesiculosus*), всегда имело место значительное снижение их содержания.

Живые особи *Laminaria digitata* (9 образцов) и *Saccharina latissima* (5 образцов) были свободны от микотоксинов. Однако в выбросах у *L. digitata* в одном из 12 анализированных экземпляров был определен ЭМО в количестве 51 нг/г, а в более объемной выборке *S. latissima* девять образцов содержали ЭМО и шесть — МФК со средними значениями 25 и 66 нг/г соответственно (табл. 2).

У *Palmaria palmata*, взятых как с живого субстрата (6 образцов), так и из выбросов (8 образцов), микотоксины не были найдены. Практически нулевой фон имели живые водоросли *Ahnfeltia plicata* с единственным случаем выявления ЭМО, а в выбросах в почти половине образцов наблюдалась контаминация ЦИТ и в немногих случаях — ЭМО и СТЕ (табл. 2).

После годичной экспозиции в почве фукусковые водоросли (группа III) сохранили морфологические особенности и могли быть надежно идентифицированы, хотя и выглядели заметно потемневшими. При анализе у всех пяти видов контаминация была значительно снижена. В образцах *F. distichus* удалось определить лишь 9 компонентов из 16 анализированных, у *F. serratus* и *F. vesiculosus* — только ЭМО с единичными случаями АОЛ и ЭА, у *A. nodosum* — МФК, у *P. canaliculata* — МФК и ЭМО (табл. 1, 2).

ОБСУЖДЕНИЕ

Для живых особей видов семейства Fucaceae — *Fucus distichus*, *F. serratus*, *F. vesiculosus*, *Ascophyllum nodosum*, *Pelvetia canaliculata* — в целом наблюдалось соответствие с полученными ранее данными (Буркин и др., 2021; Кононенко и др., 2022). После естественного отчуждения этих организмов эффект снижения концентрации микотоксинов наблюдался как общая тенденция. Однако совершенно очевидно, что в сборы неизбежно попадали как недавно выброшенные водоросли, так и после неопределенно длительного пребывания

Таблица 1. Встречаемость и содержание (мин.—макс., **средн.**, нг/г) микотоксинов в талломах водорослей рода *Fucus* — живых (I), из штормовых выбросов (II) и после длительного выдерживания в почве (III)

Микотоксин	<i>F. distichus</i>			<i>F. serratus</i>			<i>F. vesiculosus</i>		
	I <i>n</i> = 9	II <i>n</i> = 19	III <i>n</i> = 6	I <i>n</i> = 8	II <i>n</i> = 15	III <i>n</i> = 5	I <i>n</i> = 7	II <i>n</i> = 18	III <i>n</i> = 4
Т-2	9* 540–3670 1550	7* 40–1000 365	—	8* 445–6310 2980	3* 6–26 14	—	7* 1550–5890 3620	18* 24–1670 640	—
ДАС	9* 24 500–39 800 33 500	9* 160–38 000 19 000	2* 220, 225	8* 25 100–39 800 32 700	6* 210–1550 525	—	7* 27 500–38 000 32 500	18* 5070–36 300 18 700	—
ДОН	9* 15 800–26 300 20 800	7* 1200–17 800 9840	—	8* 13 000–32 700 23 000	1* 200	—	7* 10 000–28 200 19 400	18* 760–20 900 7200	—
ЗЕН	9* 830–3800 2140	7* 66–1260 615	—	8* 1480–4370 2960	2* 12, 135	—	7* 2660–4120 3440	18* 315–3980 1580	—
ФУМ	9* 1880–12 600 5380	7* 225–3160 1470	—	8* 3160–15 500 8270	5* 25–195 87	—	7* 3390–10 500 7480	18* 100–7760 2630	—
АОЛ	9* 3350–10 000 5570	7* 240–4900 1690	4* 16–30 22	8* 5620–11 600 8960	6* 11–525 155	1* 16	7* 6530–12 000 9040	18* 79–10 900 2500	1* 40
ОА	9* 160–1000 360	7* 40–415 220	—	8* 215–1290 750	5* 8–16 11	—	7* 670–1120 900	18* 14–400 125	—
ЦИТ	9* 7670–38 000 20 000	7* 4070–15 800 10 600	2* 35, 55	8* 10 000–61 700 34 700	2* 155, 210	—	7* 12 600–48 400 23 600	18* 190–11 200 4230	—
СТЕ	9* 1120–4630 2480	7* 400–3240 1960	2* 12, 20	8* 1300–7080 4220	6* 17–105 64	—	7* 3310–6610 4700	18* 200–5310 1960	—
AB _I	9* 79–465 200	7* 32–250 130	3* 2–4 3	8* 70–600 410	3* 1–23 9	—	7* 325–500 385	18* 39–445 210	—
ЦПК	9* 6760–18 200 13 100	7* 1200–12 300 6170	2* 150, 320	8* 12 300–25 100 19 400	—	—	7* 16 600–25 100 21 400	18* 1260–24 000 10 100	—
МФК	9* 6170–25 100 11 200	8* 15–10 000 5090	3* 32–160 88	8* 12 000–38 500 24 300	5* 12–50 22	—	7* 8320–30 900 18 800	18* 615–14 100 5760	—
ЭА	9* 20 400–46 200 29 300	7* 7940–41 700 27 400	2* 4, 5	8* 30 500–66 100 51 200	8* 5–250 51	1* 5	7* 30 200–66 000 49 000	18* 1620–51 900 23 000	—
ЭМО	9* 4840–12 600 7340	7* 2510–9330 6390	3* 40–62 47	8* 6100–14 100 10 700	6* 35–280 135	4* 34–42 39	7* 6170–12 000 8520	18* 710–10 000 3800	4* 51–250 150
PR	9* 24 500–33 100 28 900	7* 20 000–31 600 28 300	—	8* 26 300–32 400 29 600	2* 1000, 2000	—	7* 25 100–32 700 29 700	18* 6310–29 500 20 100	—
РОА	9* 2500–10 000 4800	7* 775–3630 2240	—	8* 1260–12 600 6310	2* 32, 32	—	7* 1200–9620 5110	18* 140–6030 1475	—

*Число образцов, содержащих микотоксин.

Примечание. Расшифровка сокращенных названий метаболитов приведена в разделе “Материал и методика”; здесь и в табл. 2: *n* — общее число образцов, * — число образцов, содержавших микотоксин, “—” — микотоксин не обнаружен.

Таблица 2. Встречаемость и содержание (мин.—макс., **средн.**, нг/г) микотоксинов в талломах бурых водорослей и *Ahnfeltia plicata* — живых (I), из штормовых выбросов (II) и после длительного выдерживания в почве (III)

Микотоксин	<i>Ascophyllum nodosum</i>			<i>Pelvetia canaliculata</i>		<i>Saccharina latissima</i>		<i>Ahnfeltia plicata</i>	
	I n = 6	II n = 8	III n = 5	I n = 6	III n = 5	I n = 5	II n = 21	I n = 8	II n = 26
Т-2	6* 10–21 14	1* 12	—	2* 20, 38	—	—	—	—	—
ДАС	6* 7940–25000 13900	2* 500, 2000	—	3* 315–17800 8870	—	—	—	—	—
ДОН	6* 1000–1880 1390	2* 75, 250	—	3* 125–1290 735	—	—	—	—	—
ЗЕН	6* 115–220 150	2* 13, 48	—	4* 13–160 74	—	—	—	—	—
ФУМ	6* 265–560 460	1* 120	—	2* 210, 315	—	—	—	—	—
АОЛ	6* 300–760 495	2* 21, 81	—	4* 15–600 235	—	—	—	—	—
ОА	6* 36–63 46	2* 13, 17	—	4* 6–12 10	—	—	—	—	—
ЦИТ	6* 630–2570 1480	2* 135, 200	—	4* 31–42 35	—	—	—	—	10* 11–67 23
СТЕ	6* 100–1000 295	2* 40, 56	—	3* 14–30 24	—	—	—	—	1* 50
АВ ₁	6* 8–16 11	2* 3, 8	—	5* 2–5 3	—	—	—	—	—
ЦПК	6* 335–1180 775	1* 130	—	1* 89	—	—	—	—	—
МФК	6* 210–1000 600	2* 33, 160	3* 16–25 22	2* 56, 78	5* 23–37 30	—	6* 23–205 66	—	—
ЭА	6* 125–4680 1530	3* 5–6 5	—	2* 1, 3	—	—	—	—	—
ЭМО	6* 210–2000 900	2* 24, 25	—	2* 12, 25	3* 32–40 35	—	9* 11–52 25	1* 36	3* 32–77 56
PR	6* 3800–21900 10700	—	—	5* 300–5010 1400	—	—	—	—	—
РОА	6* 29–100 64	—	—	3* 25–71 42	—	—	—	—	—

вне водной среды. Именно этим можно объяснить как отсутствие отдельных метаболитов и расширение диапазона выявленных количеств, так и слабовыраженные отличия от живых талломов.

Снижение содержания микотоксинов в водорослях из выбросов могло быть следствием как перестройки внутренних биохимических процессов из-за стрессового влияния смены внешних условий, так и участия бактерий и грибов, способных разрушать эндогенный комплекс микотоксинов (Буркин, Кононенко, 2021). Дальнейшее изучение сообществ бактерий и грибов, активно влияющих на метаболический статус морских организмов, может иметь важное значение для понимания общих механизмов их ответных реакций на воздействие биотических и абиотических факторов.

У ламинариевых водорослей *Laminaria digitata* и *Saccharina latissima* и красных водорослей *Palmaria palmata* и *Ahnfeltia plicata*, взятых из естественной среды обитания, микотоксины практически отсутствовали, что было вполне ожидаемым, так как наблюдалось неоднократно на протяжении нескольких лет (Буркин и др., 2020, 2021; Кононенко и др., 2022). При этом ламинариевые водоросли и *A. plicata* из выбросов оказались контаминированными, хотя и в разной степени. Появление в них ЦИТ, МФК, ЭМО и СТЕ могло быть вызвано вторичным инфицированием аэрофильными продуцентами, среди которых известны представители многих родов, в частности, *Penicillium*, *Aspergillus*, *Cladosporium*, *Chaetomium* Kunze, *Trichoderma* Pers. и *Phoma* Saccardo (Xin et al., 2009; Christiansen et al., 2021). У *P. palmata* из выбросов микотоксины не были обнаружены, хотя в составе поверхностной микобиоты этой водоросли выявлено множество видов грибов-сапротрофов, в том числе имеющих наземное распространение (Коваленко и др., 2020).

Каких-либо сведений о составе микобиоты морских макрофитов, находящихся вне естественных условий, нам найти не удалось, однако уже выявлено 18 разных морфотипов грибов, в том числе новых для Белого моря видов, в перезимовавших остатках галофитов, отобранных в зоне выбросов (Бубнова, 2016).

Таким образом, у фукусовых водорослей из штормовых выбросов и после длительного контакта с почвой обнаружено значительное снижение содержания микотоксинов по сравнению с особями из естественной среды. Полученные сведения открывают путь к поиску микроорганизмов, способных эффективно трансформировать эти вещества для снижения рисков интоксикаций животных. Макрофиты, взятые с живого субстрата, как и выбросы с открытых прибойных берегов, традиционно используются местным населением для удобрения почвы сельскохозяйственных угодий,

и факт снижения их контаминации следует расценивать как положительный.

Полученные новые сведения, важные как с научной, так и с практической стороны, несомненно указывают на необходимость расширения микотоксикологических исследований, включающих все многообразие морских водорослей, типичных для данной экосистемы, а также из других местобитаний.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

СОБЛЮДЕНИЕ ЭТИЧЕСКИХ НОРМ

Настоящая статья не содержит описания каких-либо исследований с использованием людей и животных в качестве объектов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Бубнова Е.Н. Новые для Белого моря виды морских грибов // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 16. Биология. 2016. № 4. С. 41–44.
- Бубнова Е.Н., Грум-Гржимайло О.А., Коновалова О.П., Марфенина О.Е. 50 лет микологических исследований на Беломорской биостанции им. Н.А. Перцова: основные направления, итоги, перспективы // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 16. Биология. 2014. № 1. С. 29–46.
- Бубнова Е.Н., Киреев Я.В. Сообщества грибов на талломах бурых водорослей рода *Fucus* в Канда拉克шском заливе Белого моря // Микол. фитопатол. 2009. Т. 43. Вып. 5. С. 388–397.
- Буркин А.А., Кононенко Г.П. Феномен смещения профиля токсинов микромицетов в бурых водорослях из штормовых выбросов. Тезисы докладов Всероссийской конференции “Биология водных экосистем в XXI веке: факты, гипотезы, тенденции”, Борок, 22–26 ноября 2021 г. – Ярославль: Филигрань. 2021. С. 32.
- Буркин А.А., Кононенко Г.П., Георгиев А.А., Георгиева М.Л. Особенности накопления микотоксинов в макрофитах Белого моря // Современная микология в России. 2020. Т. 8. С. 100–102.
- Буркин А.А., Кононенко Г.П., Георгиев А.А., Георгиева М.Л. Токсичные метаболиты микромицетов в бурых водорослях семейств Fucaceae и Laminariaceae из Белого моря // Биол. моря. 2021. Т. 47. № 1. С. 40–44.
- Возжисинская В.Б. Изучение экологии и распределения водорослей в Канда拉克шском заливе Белого моря // Океанология. 1967. Вып. 6. С. 1108–1118.
- Коваленко М.И., Бубнова Е.Н., Георгиева М.Л. Грибы, ассоциированные с красной водорослью *Palmaria palmata* (L.) F. Weber & D. Mohr, на примере Канда拉克шского залива Белого моря // Труды VIII Международной научно-практической конференции “Морские исследования и образование

- (MARESEDU–2019)”, Т. 2 (3): [сборник]. Тверь: ПолиПРЕСС. 2020. С. 440–443.
- Коновалова О.П., Бубнова Е.Н. Грибы на бурых водорослях *Ascophyllum nodosum* и *Pelvetia canaliculata* в Кандалакшском заливе Белого моря // Микол. фитопатол. 2011. Т. 45. Вып. 3. С. 240–248.
- Конonenko Г.П., Буркин А.А., Георгиев А.А., Георгиева М.Л. Микотоксины в макроводорослях из пролива Великая Салма Кандалакшского залива Белого моря // Биол. моря. 2022. Т. 48. № 1. С. 53–61.
- Максимова О.В., Мюге Н.С. Новые для Белого моря формы фукоидов (Fucales, Фаеорфусеае): морфология, экология, происхождение // Ботан. журн. 2007. Т. 92. № 7. С. 965–986.
- Човган О.В., Малавенда С.С. Роль макрофитов как субстрата в формировании литоральных эпизооценозов Белого моря // Вест. Мурман. гос. техн. ун-та. 2017. Т. 20. № 2. С. 390–400.
- Bakutis B., Baliukonienė V., Paškevičius A. Use of biological method for detoxification of mycotoxins // Botanica Lithuanica. 2005. Suppl. 7. P. 123–129.
- Christiansen J.V., Isbrandt T., Petersen C. et al. Fungal quinones: diversity, producers, and application of quinones from *Aspergillus*, *Penicillium*, *Talaromyces*, *Fusarium*, and *Arthrinium* // Appl. Microbiol. Biotechnol. 2021. V. 105. P. 8157–8193.
- Hathout A.S., Aly S.E. Biological detoxification of mycotoxins: A review // Ann. Microbiol. 2014. V. 64. № 3. P. 905–919.
- He C., Fan Y., Liu G., Zhang H. Isolation and identification of a strain of *Aspergillus tubingensis* with deoxynivalenol biotransformation capability // Int. J. Mol. Sci. 2008. № 9. P. 2366–2375.
- Ji C., Fan Y., Zhao L. Review on biological degradation of mycotoxins // Animal Nutrition. 2016. № 2. P. 127–133.
- Taheur F.B., Kouidhi B., Al Qurashi Y.M.A. et al. Review: Biotechnology of mycotoxin detoxication using microorganisms and enzymes // Toxicon. 2019. V. 160. P. 12–22.
- Verhoet H.A. Litter bag method // Methods in Applied Soil Microbiology and Biochemistry. Waltham: Academic Press. 1995. P. 485–487.
- Wilson N.M., McMaster N., Gantulga D. et al. Modification of the mycotoxin deoxynivalenol using microorganisms isolated from environmental samples // Toxins. 2017. V. 9. P. 141.
- Xin Z.-H., Wang W.-L., Zhang Y.-P. et al. Pennicitrinone D, a new citrinin dimer from the halotolerant fungus *Penicillium notatum* B-52 // J. Antibiotics. 2009. V. 62. P. 225–227.

Mycotoxins in Macroalgae from the Kandalaksha Gulf of the White Sea after Natural and Experimental Alienation from the Substrate

A. A. Burkin^a and G. P. Kononenko^a

^aSkryabin and Kovalenko All-Russian Research Institute of Experimental Veterinary Medicine Federal Scientific Center, Russian Academy of Sciences, Moscow, 123022 Russia

Samples of macrophyte algae were collected from an ecotope of Kandalaksha Gulf, the White Sea. These algae were selected from substrates, storm wracks and after long-term storage in the soil, and they were assessed by indirect competitive enzyme immunoassay for the presence of low-molecular metabolites of micromycetes (mycotoxins). In *Fucus distichus*, *F. serratus*, *F. vesiculosus*, and *Ascophyllum nodosum*, the concentrations of all analyzed toxic substances from storm wracks were uniformly reduced compared to those in living thalli. For *Laminaria digitata*, *Saccharina latissima* and *Ahnfeltia plicata*, in living individuals of which mycotoxins were not found or were extremely rare, cases of contamination with citrinin, mycophenolic acid, emodin and sterigmatocystin were found in storm wracks. After 12 months of burial in soil *F. distichus* samples had only 9 components out of 16 analyzed. In *F. serratus*, *F. vesiculosus*, *A. nodosum*, and *Pelvetia canaliculata*, only emodin, mycophenolic acid, alternariol, and ergot alkaloids were determined.

Keywords: macroalgae, storm emissions, mycotoxins, soil degradation, enzyme immunoassay