

УДК 632.154:579.68:582.263

Н.С. КУЗЬМИНОВА

Ин-т биологии южных морей НАН Украины,
Украина, 99011 Севастополь, пр. Нахимова, 2**ИССЛЕДОВАНИЯ ТОКСИЧЕСКОГО ДЕЙСТВИЯ ФУНГИЦИДА
КУПРОКСАТА НА *PLATYMONAS VIRIDIS* ROUCH.
(*CHLOROPHYTA*)**

Установлено токсическое действие фунгицида купроксата на культуру черноморской водоросли *Platymonas viridis* Rouch. (*Chlorophyta*). Добавление в среду 0,625; 1,25 и 2,5 мг/л пестицида сопровождалось увеличением численности клеток в период начальных этапов их развития (с 3-х по 12-е сутки). С добавлением пестицида уменьшалась оптическая плотность культуры в результате снижения численности клеток и повышалась ее теплопродукция в начале и в конце эксперимента по сравнению с контролем. рН среды изменялся незначительно.

Ключевые слова: пестициды, купроксат, численность, теплопродукция, рН, оптическая плотность, *Platymonas viridis*.

Введение

Загрязнение акваторий пестицидами в настоящее время – актуальная проблема, изучение которой необходимо для оценки экологического риска при попадании в среду ксенобиотиков. В сельском хозяйстве многих Европейских стран широко используют медьсодержащие пестициды. Из фунгицидов официально разрешены к применению фундазол, купроксат, медный купорос, топаз, сера коллоидная, бордоская смесь и некоторые другие препараты. Несмотря на то, что наиболее действенными считают фундазол и медный купорос, купроксат, благодаря своим преимуществам в приготовлении и безопасности для растений и живых организмов, находит все более широкое применение.

По данным ФАО (организация ООН по вопросам продовольствия и сельского хозяйства), при использовании купроксата на 1 га почвы приходится от 1 до 1,2 кг меди, что почти в 2 раза меньше, чем при использовании медного купороса и хлорокиси меди. Поскольку в некоторых Европейских странах нормативы содержания меди на 1 га земли занижены, купроксат удовлетворяет требованиям этих стандартов. Он не требует сложного приготовления, в отличие от бордоской жидкости. Купроксат – фунгицид контактного действия, срок его воздействия 15-20 дней. Вместе с тем, пестициды, как и другие ксенобиотики, способны трансформироваться по пищевым цепям и накапливаться в отдельных звеньях с эффектом усиления (Брагинский, 1972). Это позволяет предположить, что на промежуточных и конечных этапах действия фунгицида концентрация купроксата может достигать достаточно высоких биологически опасных значений.

Имеются данные об альгицидном действии сельскохозяйственных ядохимикатов (Балезина, 1972; Круглов, 1972; Васильева, 1988; Аль-Сальман, 1989).

© Н.С. Кузьмина, 2004

Несмотря на это, вопросы влияния фунгицидов (попадающих в Мировой океан в результате смыва с сельскохозяйственных угодий) на морские организмы, а также их трансформации по пищевым цепям остаются малоизученными. Микроскопические водоросли как базовый компонент экосистем, участвующий в процессах самоочищения водоемов, широко используются для исследований в экотоксикологии (Артюхова и др., 1997). Из гидробиологических показателей, характеризующих состояние водных сообществ в районах загрязнения, наиболее информативными являются численность и биомасса гидробионтов, их систематический состав и видовое разнообразие (Вейдеман, 1982). В настоящее время проводятся исследования метаболических процессов различных биологических объектов (Микрокалориметрические ..., 2002), которые в сочетании с другими параметрами исследований могут дать полное представление о воздействии тех или иных ксенобиотиков на живые организмы.

Негативные процессы, протекающие в условиях антропогенного воздействия, можно оценить по таким биологическим показателям, как летальность, чувствительность фотосинтетического аппарата, снижение продолжительности роста водорослей, изменение pH среды и др. Так, например, при действии на *Chlorella* и *Scenedesmus* производных мочевины, триазинов и некоторых других гербицидов в концентрации 0,1 мг/л у водорослей возникают нарушения процессов метаболизма (фотосинтеза, дыхания, ферментативной активности, углеводного и азотистого обмена и др.) (Мережко, Богданова, 1965).

Целью настоящей работы было исследование токсического влияния пестицида купроксата на динамику численности и некоторые метаболические показатели клеток *Platymonas viridis* Rouch.

Материалы и методы

Морскую воду для экспериментов фильтровали через двойной бумажный фильтр № 6 и стерилизовали 3 раза при температуре 75 °С. Для изучения воздействия фунгицида в конические колбы объемом 250 мл добавляли 150 мл подготовленной морской воды и однократно вносили пестицид в концентрациях 0,625, 1,25 и 2,5 мг/л, после чего растворы интенсивно перемешивали. Выбор данных концентраций купроксата обусловлен тем, что концентрация 2,5 мг/л является рабочей (в нашем случае – максимальной), а снижение ее в 2 и 4 раза может выявить адаптивные эффекты организма. Затем в колбы добавляли альгологически чистую культуру *P. viridis* с начальной ее плотностью 49260-61730 кл/мл. Среднесуточная температура воды в опыте составляла +19 °С, среднесуточная освещенность в течение светового периода – 3000 лк, продолжительность экспозиции – 15 сут. Число клеток подсчитывали на 0, 1-, 3-, 6-, 9-, 12- и 15-е сутки под микроскопом в камере Горяева, pH определяли с помощью универсального иономера ЭВ-74, теплопродукцию микроводорослей – на Мониторе биологической активности ТАМ 2277 (ЛКВ, Швеция) в течение 50 ч при температуре 20 °С. Для этого в ампулы вносили 2 мл культуры *P. viridis* и добавляли соответствующие концентрации пестицида. Таким образом, исследовали теплопродукцию культуры в первые и последние сутки воздействия фунгицида. Контролем служила стерилизованная морская вода с токсикантом.

Теплопродукцию рассчитывали в мкВт/кл. В каждом случае проводили не менее трех параллельных измерений.

Динамику оптической плотности культуры водорослей в течение 50 ч исследовали с помощью автоматического анализатора «Биоскрин-С» с программой BioRTN.

Эксперименты проводили в трех повторностях, а их результаты обрабатывали статистически, используя *t*-критерий Стьюдента в сравнении параметров при уровне значимости $p \leq 0,05$ (Лакин, 1973).

Результаты

Установлено, что при действии всех исследуемых концентраций пестицида в культуре водорослей не происходит каких-либо изменений в движении клеток, их цвет и размер также не изменяются. В таблице представлена динамика численности клеток микроводорослей в исследуемый период при добавлении купроксата в различных концентрациях. Отмечена общая тенденция роста численности *P. viridis* во всех вариантах в 15-дневный период. Число клеток *Platymonas viridis* в контроле незначительно колебалось в начале эксперимента до 3 суток, после чего наблюдалось увеличение этого параметра до 226300 кл/мл на 15-е сутки экспозиции. В течение всего периода каждое последующее значение прироста клеток было достоверно по отношению к предыдущему.

Таблица. Изменение численности клеток *Platymonas viridis* Rouch. при воздействии купроксата

Время, сут	Концентрация купроксата, мг/л			
	0 (контроль)	0,625	1,25	2,5
0	<u>5,07±0,46</u>	<u>5,56±0,85</u>	<u>6,17±0,70</u>	<u>4,93±0,42</u>
	100±9,07	109,7±16,8	121,7±13,8	97,2±8,3
1	<u>7,27±0,78</u>	<u>4,55±0,52*</u>	<u>4,63±0,49*</u>	<u>3,53±0,51*</u>
	100±10,7	62,6±7,1	63,7±6,7	48,5±7,0
3	<u>3,67±0,33</u>	<u>2,37±1,24*</u>	<u>14,34±1,54*</u>	<u>8,65±1,12*</u>
	100±8,99	255,3±33,8	390±41,9	235,7±30,5
6	<u>15,68±2,74</u>	<u>25,41±3,44*</u>	<u>17,75±2,24</u>	<u>22,71±2,66</u>
	100±17,5	162,0±21,9	113,2±14,3	144,8±17,0
9	<u>22,65±1,86</u>	<u>55,0±5,68*</u>	<u>43,09±5,31*</u>	<u>47,28±7,84*</u>
	100±8,2	242,8±25,1	190,2±23,4	208,7±34,6
12	<u>68,58±7,76</u>	<u>115,7±16,2*</u>	<u>86,86±14,58</u>	<u>65,12±9,4</u>
	100±11,3	168,8±23,6	126,6±21,2	94,9±13,7
15	<u>226,3±13,37</u>	<u>171,7±14,01*</u>	<u>117,03±16,72*</u>	<u>165,1±23,0*</u>
	100±5,9	75,9±6,2	51,7±7,4	72,9±10,1

Примечание. В числителе – число клеток (х на 10⁴) в мл, в знаменателе – то же по отношению к численности в контроле, принято за 100 %. Звездочкой обозначены значения численности клеток, достоверно отличающиеся от аналогичных значений в контрольных культурах ($p \leq 0,005$).

При концентрации купроксата 0,625 мг/л в первые сутки происходит достоверное относительно контроля снижение численности микроводорослей.

Затем отмечен их прирост с 3-х по 15-е сутки, когда значение численности *P. viridis* составляло 75,9 % контроля.

Воздействие пестицида в концентрации 1,25 мг/л привело к снижению числа клеток в первые сутки. Увеличение численности водорослей наблюдали с 3-х по 15-е сутки (см. таблицу). На 15-й день инкубации количество микроводорослей в варианте с концентрацией купроксата 1,25 мг/л составляло 51,7 %, что на 48,3 % меньше контроля.

При воздействии концентрации фунгицида 2,5 мг/л в первый день происходило также сокращение числа клеток относительно контроля, затем наблюдалось постепенное увеличение численности клеток *P. viridis* с 86540 (3-и сутки) до 1650620 кл/мл (15-е сутки). Как видно из таблицы, при концентрации пестицида 2,5 мг/л значения численности клеток, выраженные в абсолютных единицах, возросли до конца опыта, в то время как значения количества микроводорослей, указанные относительно контроля, на 12-е и 15-е сутки были снижены.

Таким образом, можно отметить общую тенденцию сокращения численности клеток микроводорослей, подвергнутых действию фунгицида в 1-е сутки, по сравнению с контролем. С 3-х по 12-е сутки отмечено увеличение этого показателя по отношению к контролю и последующее уменьшение на 15-е сутки. При концентрации 2,5 мг/л снижение числа клеток *P. viridis* относительно контроля наблюдалось уже на 12-е сутки.

Величина pH среды незначительно увеличилась к концу опыта во всех вариантах (рис. 1). Все показания pH опытных групп достоверны относительно контроля.

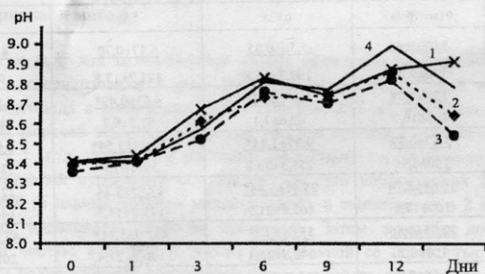


Рис. 1. Изменения pH среды культуры *Platymonas viridis* Rouch. под действием различных концентраций купроксата: 1 — 2,5; 2 — 1,25; 3 — 0,625 мг/л, 4 — контроль.

На рис. 2 представлены типичные графики изменения оптической плотности культуры *P. viridis* под действием различных концентраций купроксата и в контроле. Незначительные флуктуации культуры в первые 50 ч инкубации были сходными в контроле и в опытах.

На рис. 3 представлены значения теплопродукции *P. viridis* в 1-й день воздействия купроксата и после 15-суточной инкубации с ним. В культуре, только что подвергнутой действию фунгицида, показания теплопродукции ниже, чем у водорослей, которые 15 дней выращивали в среде с добавлением различных концентраций токсиканта. В обоих случаях данный показатель ниже в контроле, чем в опытных вариантах. Все значения теплопродукции не показали достоверных различий с контролем.

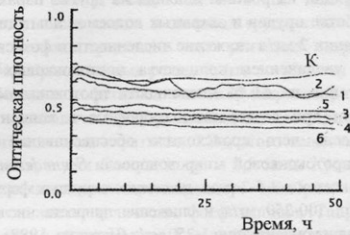


Рис. 2. Изменение оптической плотности культуры *Platyomonas viridis* Rouch. под действием различных концентраций купроксата: К — контроль, 1 — 0,625 мг/л, 1-й день; 2 — 1,25 мг/л, 1-й день; 3 — 2,5 мг/л, 1-й день; 4 — 0,625 мг/л, 15-й день; 5 — 1,25 мг/л, 15-й день; 6 — 2,5 мг/л, 15-й день.



Рис. 3. Изменение теплопродукции *Platyomonas viridis* Rouch. под действием различных концентраций купроксата.

Обсуждение

Результаты исследований показали, что купроксат оказывает определенное токсическое действие на *P. viridis*. Несмотря на то, что рост водорослей продолжался в течение всего исследуемого периода, число клеток в

контроле в 1-й, 12-й (2,5 мг/л) и 15-й день было выше, чем в среде с добавлением агрохимиката (см. таблицу).

Поскольку показания численности клеток, выраженных относительно интактной группы, на 15-е сутки в вариантах с добавлением 0,625 и 1,25 мг/л купроксата ниже, чем в контроле, а при воздействии 2,5 мг/л фунгицида ингибирование численности в относительных единицах происходило уже с 12-го дня, можно говорить о токсичности купроксата для *P. viridis*.

Известно, что влияние пестицидов на водоросли проявляется в виде угнетения или стимуляции их роста и влияния на другие параметры (Вертебная, 1965). Так, при обработке прудов и закрытых водоемов альгицидами миураном и диуроном в концентрации 2 мг/л снижение численности и фотосинтеза *Cyanophyta* шло параллельно с увеличением количества протококковых и вольвоксовых (Гринь, 1965). Угнетение на 41 % численности протококковых и синезеленых водорослей наблюдали при воздействии хлорофоса в концентрации 1 мг/л в течение 2 суток, после чего происходило обесцвечивание и лизис клеток (Аксенова, 1970). У протококковой микроводоросли *Scenedesmus* было отмечено уменьшение размеров клеток в 1,5-2 раза, появление округлых форм при воздействии фурана в концентрации 100-250 мг/л и снижение прироста численности клеток в течение всего периода при концентрации 1-250 мг/л (Чуркина, 1988).

Токсичное действие медьсодержащих соединений проявляется в угнетении роста культуры, снижении содержания хлорофилла и относительном увеличении феофитина в клетках водорослей; при этом резко возрастает морфологическая гетерогенность культуры (Хоботьев, 1975). Уменьшения или укрупнения клеток в нашем эксперименте не наблюдалось, а рост численности отмечен на протяжении почти всей экспозиции, что можно объяснить повышенным количеством сульфатов, входящих в состав купроксата, так как при большем уровне этих веществ удлиняется экспоненциальная фаза роста культуры (Шнюкова, 1997). Несмотря на то, что зеленые водоросли более устойчивы к воздействию медьсодержащих соединений, чем синезеленые (Хоботьев, 1975), влияние различных соединений меди в концентрациях, не превышающих или близких к ПДК_{Св}, вызывает снижение скорости их роста (Барашков, 1976). Известно, что уже при концентрации меди более 1 мг/л снижается количество клеток у *Chlorella vulgaris* Beijer. (Усенко, 1991). В то же время внесение низких концентраций гербицидов изопротурона (фенилмочевина) и тербутрина (триазин) у *C. vulgaris* вызывало увеличение плотности культуры, сухого веса и содержания пигментов и протеина. Численность клеток уменьшалась на 50 % за 96 ч при концентрациях тербутрина 0,097 мкМ и изопротурона 0,199 мкМ (Rioboo, 2002).

Таким образом, данные о некотором снижении числа клеток в начале нашего эксперимента и последующей стимуляции роста плотности культуры *P. viridis* при воздействии купроксата согласуются с литературными.

Токсичность исследуемого фунгицида подтверждают и показания оптической плотности культуры, установленные с помощью "Биоскрин". Так, если в начале эксперимента (1-е сутки) значения оптической плотности культуры в контроле и в вариантах с концентрациями токсиканта 0,625 и 1,25 мг/л близки, то при добавлении 2,5 мг/л купроксата (на 1-й и 15-й день), а также при воздействии 0,625 и 1,25 мг/л на 15-е сутки этот показатель был ниже контрольного почти в 2 раза. Однако сопоставлять эти значения со значениями численности в

совпадающие периоды времени *P. viridis*, инкубированной в колбах, нельзя, поскольку на микроводоросли, находящиеся 50 ч в приборе, влияли световой фактор и суточный режим флоры.

Исследования теплопродукции дополнили картину влияния пестицида на водоросли. Оказалось, что значения этого показателя выше в культуре, растущей с добавлением фунгицида, чем в контроле, что, вероятно, свидетельствует о метаболических нарушениях и напряженном функционировании клеток, направленном на детоксикацию купроксата. На первом этапе действия купроксата теплопродукция *P. viridis* ниже, чем в конце эксперимента (см. рис. 2). Значительный рост числа клеток в опытных группах на 15-е сутки и увеличение теплопродукции можно трактовать как усиление энергетического обмена и активацию свободнорадикальных реакций, что в конечном счете может привести к процессам деградаци и фотолита клеток (Микрокалориметрические ..., 2002). Так, например, метаболические нарушения отмечены при воздействии на морские микроводоросли пестицида паратиона. LD₅₀ этого вещества за 72 ч для *P. viridis* составляет 4,3 мг/л, а для *Dunaliella* sp. – 8,3 мг/л. Кроме ингибирования роста этих культур увеличивается проницаемость мембран, содержание свободных жирных кислот, снижается количество фосфолипидов (Танг, 1999).

Ионы меди в концентрации 1 мг/л угнетают образование белка в клетках *Dunaliella viridis* Teod. и *D. salina* Teod., замедляют скорость распада РНК и, как следствие, ее накопление в клетках, но такая же концентрация не влияет на содержание ДНК (Ляшенко, 1991). Биохимические изменения в клетках *Gonyaulax polyedra* Stein происходили при воздействии меди в концентрации 0,1 мкг/л. Активность супероксиддисмутазы в первый день инкубации увеличилась на 139 % относительно контроля (Okamoto, 1998), что может свидетельствовать об активизации защитных механизмов клеток динофлагелляты по отношению к металлу.

Показания pH подтвердили предположение о том, что тестируемый пестицид не оказывает острого токсичного действия на *P. viridis*. Фаза роста численности клеток совпадает до 12-х суток с увеличением pH, после чего и pH, и количество микроводорослей, выраженное в процентах относительно контроля, снижается (хотя численность клеток, выраженная в абсолютных единицах, продолжает увеличиваться). Этот факт, по-видимому, свидетельствует о том, что к 15-м суткам количество карбонатных соединений в среде уменьшается.

Литературные сведения (Хоботьев, Король, 1971; Кузьмина, 2002), а также полученные нами данные свидетельствуют о том, что pH среды является показательным параметром и может быть использован в экотоксикологии.

Таким образом, внесение пестицида в культуру клеток *P. viridis* вызывает стресс в начале эксперимента, который выражается в снижении числа клеток и увеличении их теплопродукции по отношению к контролю. Затем следует период адаптации к наличию токсиканта в среде, сопровождающийся усилением темпов размножения водорослей и повышением уровня их теплопродукции. К 15-м суткам, по-видимому, происходит истощение защитных механизмов, что приводит к сокращению темпов прироста и, вероятно, большая часть энергетических ресурсов расходуется на детоксикацию.

Изучение комплекса параметров (физиологических, биохимических, энергетических и др.) морских микроводорослей при влиянии на них пестицидов,

позволяет получить определенную информацию об изменениях, происходящих в клетках.

При изучении влияния пестицидов на микроводоросли в качестве тест-объектов использовали: *Chlorella vulgaris* Beijer. (Круглов, 1972; Васильева, 1998), *C. pyrenoidosa* Chick, *Ankistrodesmus braunii* Brunth., *Kirchneriella obesa* Chick, *Euglena gracilis* Klebs (Круглов, 1972), *Skeletonema costatum* Grev., *Tetraselmis suecica* Kylin (Gilbert, 1992), *Hormidium* sp. и *Nostos muscorum* Ag. (Балезина, 1972). Высокочувствительны к гербицидам синезеленые водоросли родов *Aphanizomenon* и *Microcystis* (Круглов, 1972). По нашим данным, культура водоросли *P. viridis* может также использоваться как тест-объект при изучении воздействия пестицидов на морские гидробионты, а также для оценки экологического состояния среды их обитания.

Выводы

1. Фунгицид купроксат в концентрациях 0,625, 1,25 и 2,5 мг/л оказывает токсическое действие на культуру морской микроскопической водоросли *Platymonas viridis* Rouch.

2. Рост численности водорослей отмечен в течение всего исследованного периода во всех вариантах опыта. Однако на 1-, 12- и 15-е сутки при воздействии пестицида этот показатель был ниже контрольного.

3. На 1-е сутки действия фунгицида значения оптической плотности культуры в вариантах с концентрациями 0,625 и 1,25 мг/л незначительно отличались от контрольного показателя. Однако при внесении купроксата в концентрациях 2,5 мг/л (на 1-й и 15-й день), а также 0,625 и 1,25 мг/л на 15-е сутки показатель численности клеток был ниже, чем в контроле.

4. В ходе всего эксперимента значительных изменений величины pH среды не наблюдалось. Отмечено увеличение, по сравнению с контролем, теплопродукции клеток в начале и в конце эксперимента.

5. Культуру *P. viridis* можно использовать как тест-объект в экотоксикологических работах при изучении влияния пестицидов на морские микроводоросли.

Благодарности

Автор выражает благодарность ведущему инженеру ИнБИОМ Шайде В.Г. за проведение опытных работ на Мониторе биологической активности ТАМ 2277 и «Биоскрин-С», а также д.б.н. Рудневой И.И. за консультации в процессе постановки эксперимента.

N.S. Kuzmina

Institute of Biology of Southern Seas, National Academy of Sciences of Ukraine,
2, Nakhimov Prosp., 99011 Sevastopol, Ukraine

STUDY OF TOXIC EFFECTS OF CUPROXAT FUNGICIDE ON *PLATYMONAS VIRIDIS* ROUCH. (CHLOROPHYTA)

The toxic effects of cuproxat fungicide on the algal culture *Platymonas viridis* Rouch. (*Chlorophyta*) were determined. The addition of 0.625, 1.25, and 2.5 mg/L of pesticide into the medium was

accompanied by an increase in cell quantity at early growth stages (from 3 to 12 days). The optical density of the culture decreased with the addition of pesticide, as indicated by a fall of cell quantity, and its heat productivity increased at the beginning and at the end of the experiment as compared to the control. The pH of the medium changed insignificantly.

К е у о р д с : pesticides, cuproxat, quantity, heat productivity, pH, optical density, *Platymonas viridis*.

- Аксенова Е.И., Труханова З.А. Влияние нефтепродуктов и пестицидов на протококковые и синезеленые водоросли // Биологические процессы в морских и континентальных водоемах: Тез. докл. II съезда ВГБО. – Кишинев, 1970. – С. 7-8.
- Аль-Сальман И.М., Светлова Е.Н., Веселовский В.А., Плеханов С.П. Сульфат-стресс у зеленой водоросли *Scenedesmus quadricauda* Bréb. // Биол. науки. – 1989. – № 7. – С. 70-73.
- Артюхова В.И., Дмитриева А.Г., Филенко О.Ф., Иззунь Ч. Изменения динамики роста культуры и размеров клеток *Scenedesmus quadricauda* (Turp.) Bréb. при действии бихромата калия // Физиол. раст. – 1997. – № 3. – С.280-286.
- Балезина Л.С. Об использовании водорослей для определения токсичности почвы при применении различных пестицидов // Методы изучения и практического использования почвенных водорослей. – Киров, 1972. – С. 251-257.
- Барашко Г.К., Киристая Н.М., Рухадзе Е.Г. Различная токсичность соединений некоторых металлов для *Chlorella pyrenoidosa* // Тез. докл. III съезда ВГБО (Рига, 11-15 мая 1976 г.). – Рига, 1976. – Т. 2. – С. 62-63.
- Брагинский Л.П. Пестициды и жизнь водоемов. – Киев: Наук. думка, 1972. – 230 с.
- Васьлева Т.В., Бобришова Н.С. Современные аспекты токсико-генетической оценки компонентов загрязнения промышленных сточных вод с использованием хлореллы // V Всесоюз. конф. по водной токсикологии (Одесса, 18-22 апреля 1988 г.): Тез. докл. – М., 1988. – С. 18.
- Вейдеман Е.Л. Об использовании структурных характеристик планктонных сообществ при оценке влияния антропогенных факторов на прибрежные районы моря // Биология шельфовых зон Мирового океана. II Всесоюз. конф. по морской биологии (сентябрь, 1982 г.). – Владивосток, 1982. – Ч. 3. – С. 109-110.
- Вертебная П.И. Действие натриевой соли дихлорфеноксиуксусной кислоты на водные организмы // Вопросы гидробиологии: Тез. докл. I Всесоюз. гидробиол. об-ва (Москва, 1-6 февр. 1965 г.). – М.: Наука, 1965. – С. 59-60.
- Гринь В.Г. Влияние обработки водоемов альгицидами на развитие фитопланктона // Там же. – С. 111-112.
- Крулов Ю.В. Микроскопические водоросли как индикаторы на загрязнение почвы гербицидами // Методы изучения и практического использования почвенных водорослей. – Киров, 1972. – С. 241-251.
- Курьмина Н.С. Действие хозяйственно-бытовых сточных вод на представителей морских микроводорослей отдела *Chlorophyta* // Мат. междунар. научно-практ. конф. молодых ученых (25-28 февр. 2002 г.). – Киев, 2002. – С. 157-158.
- Лакин Г.Ф. Биометрия. – М: Высш. шк., 1973. – 343 с.
- Ляшенко Т.Е., Божжок А.И., Дозакина Т.В. Влияние ионов меди на содержание нуклеиновых кислот и белка в клетках водорослей рода *Dunaliella* Teod. // Биол. науки. – 1991. – № 7. – С. 103-108.
- Мережко А.И., Бовданова Т.Л. Исследование механизма действия некоторых альгицидов на водоросли // Вопросы гидробиологии: Тез. I Всесоюз. гидробиол. об-ва (Москва, 1-6 февр. 1965 г.). – М.: Наука, 1965. – С. 290-291.
- Микрокалориметрические исследования в морской биологии. – Севастополь: ИнБИОМ, 2002. – 192 с.
- Усенко Е.В., Божжок А.И. Влияние тяжелых металлов на динамику роста и функциональную активность генетического аппарата *Chlorella vulgaris* // Биол. науки. – 1991. – № 3. – С. 69-76.

- Хоботьев В.Г., Крапков В.И., Рухадзе Е.Г., Турушина Н.В., Шидловская Н.И. Токсичность медьсодержащих соединений для водорослей // Гидробиол. журн. – 1975. – № 5. – С. 49-55.
- Хоботьев В.Г., Король К.М. Изменение активной реакции (рН) среды как показатель состояния водорослей при токсическом действии на них химических веществ // Методики биол. исслед. по водн. токсикологии. – М.: Наука, 1971. – С. 106-107.
- Чуркина Л.А. Влияние фурана и его производных на протококковые водоросли // Тез. докл. V Всесоюз. конф. по вод. токсикол. (Одесса, 18-22 апр. 1988 г.). – М., 1988. – С. 151-152.
- Шнюкова Е.И. Изменчивость углеводного комплекса микроводорослей как ответная реакция на внешние факторы // Альгология. – 1997. – 7, № 4. – С. 419-430.
- Gilbert F., Galgani Y., Cadion Y. Rapid assessment of metabolic activity in marine microalgae: Application in ecotoxicological tests and evaluation of water quality // Mar. Biol. – 1992. – 112, N 2. – P. 199-205.
- Okamoto O.K., Colepikollo P. Response of superoxide dismutase to pollutant metal stress in the marine dinoflagellate *Gonyaulax polyedra* // Comp. Biochem. Physiol. – 1998. – 119C, N 1. – P. 67-73.
- Rioboo C., Gonzalez O., Herrero C., Cid A. Physiological response of freshwater microalgae (*Chlorella vulgaris*) to triasine and phenilurea herbicides // Aguat. Toxicol. – 2002. – 59, N 3/4. – P. 225-235.
- Tang X., Li Y., Huang J. Damage of parathion on *Platymonas* sp. and *Dunaliella* sp. by membrane lipid peroxidation and deesterification // Ocean. Limnol. Sci. – 1999. – 30, N 3. – P. 295-299.

Получена 06.03.03

Подписала в печать Л.А. Сиренко