

## ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ СОЕДИНЕНИЙ СВИНЦА НА МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ И ФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ЗЕЛЕННОЙ ВОДОРОСЛИ *SCOTIELLOPSIS TERRESTRIS* (REISIGL) PUNCOCHAROVA & KALINA

Е.Н. Патова<sup>1</sup>, И.В. Новаковская<sup>1</sup>, О.В. Зайцева<sup>2</sup>, М.Д. Сивков<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Федеральное государственное бюджетное учреждение науки

Институт биологии Коми научного центра Уральского отделения РАН, Сыктывкар

<sup>2</sup> Институт физико-химических и биологических проблем почвоведения РАН

E-mail: [patova@ib.komisc.ru](mailto:patova@ib.komisc.ru)

**Аннотация:** Исследовано влияние соли свинца (1, 5 и 10 ПДК) на морфологические и функциональные показатели зеленой одноклеточной водоросли *Scotiellopsis terrestris* (Reisigl) Puncocharova & Kalina. Повышенные концентрации свинца в среде вызвали увеличение размеров клеток, изменение их формы и окраски, снижение численности, а также уменьшение содержания хлорофилла в клетках. Показано, что при повышении содержания токсиканта в среде усиливается его поглощение биомассой *Scotiellopsis terrestris*. Вид рекомендован как тест-объект для оценки загрязнения природных сред солями свинца и других тяжелых металлов, а также в качестве биосорбента.

**Ключевые слова:** микроводоросли, биотестирование, тест-объект, *Scotiellopsis terrestris*, Приполярный Урал

### Введение

Тундровые и горно-тундровые сообщества северо-востока европейской части России испытывают серьезные техногенные нагрузки, связанные с разведкой месторождений, добычей и транспортировкой полезных ископаемых. В результате в водные и наземные экосистемы поступает широкий спектр загрязняющих веществ, среди которых наиболее опасными являются тяжелые металлы – медь, цинк, молибден, кадмий, никель и другие. К высокотоксичным загрязнителям относится свинец (Юфит, 2002), поступающий в окружающую среду и аккумулирующийся в почве и воде при добыче нефти, угля, разработке золоторудных месторождений и внесении минеральных удобрений.

Оперативным и простым в применении методом оценки уровня токсичности среды является биотестирование. Под биотестированием обычно понимают процедуру установления токсичности проб по изменению признаков, сигнализирующих об опасности независимо от того, какие вещества и в каком сочетании вызывают изменения жизненно важных функций у тест-организмов (Биотест-системы..., 2014, с. 5). В качестве тест-объектов широко используют водоросли, которые чутко реагируют на изменение условий окружающей среды. Для определения уровня токсичности веществ применяют различные физиологические и биохимические показатели водорослей (побурение, посветление, лизис культуры клеток, изменение pH среды в культуре; определение соотношения живых и мертвых клеток водорослей методом люминесцентной микроскопии, оценка биомассы водорослей; содержание фотосинтетических пигментов (хлорофиллов, каротиноидов); интенсивность фотосинтеза; скорость деления клеток водорослей и др.) (Биотест-системы..., 2014).

Важной задачей биоиндикационных исследований является поиск перспективных видов мик-

роводорослей для использования в качестве тест-объектов при проведении качественной и количественной оценки загрязнения природных сред. В условиях усиливающегося антропогенного воздействия на природные комплексы европейского Севера необходим скрининг водорослей, которые обитают как в фоновых, так и в трансформированных водных и наземных экосистемах.

Цель работы – оценить возможность использования широко распространенной в наземных сообществах европейского Севера зеленой микроводоросли *Scotiellopsis terrestris* (Reisigl) Puncocharova & Kalina в качестве тест-объекта загрязнения среды свинцом на основе морфологических и функциональных показателей.

### Материалы и методы

Для исследования был использован штамм *Scotiellopsis terrestris* SYKOA Ch-045-09, выделенный из почвы мохово-лишайникового сообщества (829 м. над ур.м., район оз. Грубепендиты, Приполярный Урал) летом 2010 г. Штамм содержится в живой коллекции культур Института биологии Коми НЦ УрО РАН (<http://ib.komisc.ru/sykoa>).

Для проведения экспериментальных работ использована биомасса водорослей *Scotiellopsis terrestris*, выращенная на жидкой среде 3N-BBM (Andersen, 2005). Источник тяжелого металла – ацетат свинца ( $Pb(CH_3COO)_2 \cdot 3H_2O$ ). Для экспериментов выбраны концентрации соли, соответствующие в пересчете на катион значениям 1 ПДК (0.3 мг), 5 ПДК (1.5 мг) и 10 ПДК (3 мг) Pb в почвенной среде. Исследования выполнены в шести повторностях для каждой из изученных концентраций токсиканта. Для инициации роста клеток использовали световую установку с лампами Sylvania Gro-Lux с плотностью потока фотонов  $32 \text{ мкмоль м}^{-2}\text{с}^{-1}$ . Соотношение периодов свет/темнота – 14/10 ч. За ростом водоросли наблюда-

ли со второй по девятую неделю культивирования. Исследование штамма проводили на микроскопе Zeiss AxioLab, оборудованном системой видеофиксации изображений, при увеличении в 400, 1000 раз. Измерение клеток выполнено с использованием программы AxioVision. В течение двух месяцев каждую неделю измеряли длину и ширину клеток (не менее 100). С помощью оригинальной программы рассчитаны средние размеры клеток, значения стандартного отклонения. Для оценки достоверности разницы средних величин применяли *t*-критерий Стьюдента. Для учета численности клеток использована камера Горяева. Поскольку изначально при постановке эксперимента в колбы попадало разное количество клеток тест-объекта, были рассчитаны данные динамики роста культуры. Для этого из значений числа клеток водоросли каждого следующего дня просмотра вычитали данные показателя для первого дня. Таким образом, все измерения имеют одну точку старта (количественный показатель равен нулю), что позволяет впоследствии объективно оценить динамику рассматриваемых параметров. Значения со знаком минус указывают на падение количественных показателей в момент наблюдений. Полученные результаты по количественным характеристикам исследованной водоросли в вариантах опыта приведены в виде графиков, на которых представлено реальное распределение значений исследованных показателей при разных концентрациях свинца относительно контроля.

Оценка содержания хлорофилла в клетках водорослей проведена на основе измерения спектральных характеристик изучаемых культур (раз в два дня снимали отражательные спектры культур в колбах) с помощью спектрорадиометра FildSpec НН (375-1075) (США), по которым был рассчитан хлорофильный индекс NDI (относитель-

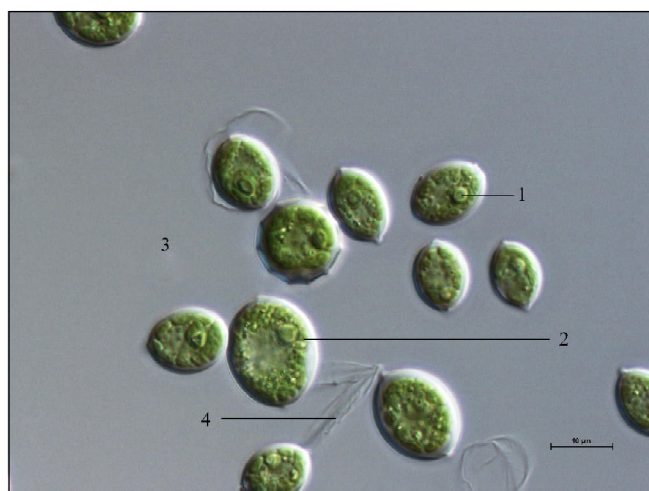


Рис. 1. Зрелые клетки *Scotiellopsis terrestris*. 1 – пиреноид, 2 – хлоропласт, 3 – ребра на клеточной стенке, 4 – оболочка спорангия.

ный вегетационный индекс) (Richardson et al., 2002).

Химический анализ биомассы водорослей выполнен в аналитической лаборатории «Экоаналит» Института биологии Коми НЦ УрО РАН. После проведения эксперимента накопленная биомасса была отфильтрована (промыта 50 мл питательной среды на фильтрах) и высушена до воздушно сухого состояния. Содержание свинца в сухой биомассе (мг/кг) выявлено методом атомно-эмиссионной спектроскопии с индуктивно-связанной плазмой на спектрометре Spectro Ciros<sup>CCD</sup>.

### Результаты и обсуждение

*Scotiellopsis terrestris* – коккоидная водоросль с одиночными веретенновидными, лимоновидными или широкоэллипсоидными клетками с двумя, иногда с одним или тремя сосочковидными полярными утолщениями, иногда без них (рис. 1). Клетки 13-20 мкм длиной и 9-14 мкм шириной. Оболочка с 6-12 ребрами, хорошо заметными у старых клеток. Хлоропласт у молодых клеток сплошной, в старых клетках распадающийся на многочисленные дисковидные и полигональные пластинки или полосы. Пиреноид крупный. Иногда присутствуют вакуоли. В старых культурах появляются шаровидные клетки до 56 мкм в диаметре с толстой слоистой оболочкой до 5.0-5.5 мкм толщиной, ржаво-коричневого, темно-коричневого или оранжевого цвета, с несколькими пиреноидами. Акинеты до 25 мкм в диаметре. Автоспоры по 2-16, освобождающиеся путем разрыва материнской оболочки, 7-13 мкм длиной и 4.0-8.5 мкм шириной (Андреева, 1998). Вид относится к семейству Scenedesmaceae, представителей которого (например, виды рода *Scenedesmus*) довольно широко используют в биодиагностике качества водной среды, а также тестировании загрязнений тяжелыми металлами и другими токсикантами.

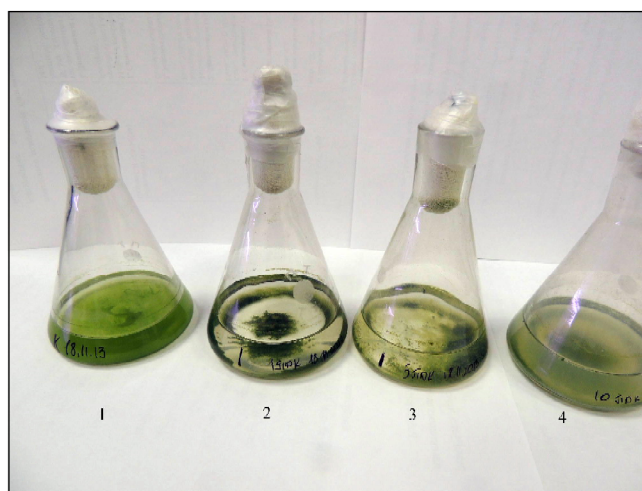


Рис. 2. Колбы с культурой водоросли *Scotiellopsis terrestris* при разных концентрациях соли свинца к концу эксперимента. 1 – контроль, 2 – 1 ПДК, 3 – 5 ПДК, 4 – 10 ПДК.

Средняя длина/ширина клеток (мкм) *Scotiellopsis terrestris* при разных концентрациях ацетата свинца

Сутки	Контроль		1 ПДК		5 ПДК		10 ПДК	
	Длина/ширина	Стандартное отклонение	Длина/ширина	Стандартное отклонение	Длина/ширина	Стандартное отклонение	Длина/ширина	Стандартное отклонение
0	15.92/9.63	2.19/1.79	15.92/9.63	2.19/1.79	15.92/9.63	2.19/1.79	15.92/9.63	2.19/1.79
1	16.18/8.94	2.28/1.90	16.72/10.53	2.33/2.06	14.22/8.05	1.70/1.31	<b>13.56/8.89</b>	2.89/1.66
7	15.49/9.66	2.68/2.52	16.15/10.27	3.30/2.33	17.11/11.40	2.50/2.21	14.97/10.85	3.79/2.78
15	16.47/10.70	2.22/2.01	16.00/10.63	3.62/2.45	18.39/12.51	2.76/2.66	17.07/12.09	3.66/2.75
25	16.63/10.87	2.01/1.66	16.49/11.06	3.28/2.22	20.33/15.02	2.13/2.21	21.42/15.89	2.77/2.72
39	17.40/10.56	1.44/0.96	19.65/15.04	3.63/2.74	<b>23.98/19.26</b>	2.36/1.81	<b>22.31/17.54</b>	3.76/3.67
67	19.44/13.68	2.28/2.03	19.15/16.30	4.03/2.92	13.87/11.95	5.31/4.57	19.76/15.14	5.84/4.64

Примечание: значения, выделенные жирным шрифтом, достоверно отличаются от контроля ( $t > 0.05$ ).

Вид встречается в лесных, лесостепных, тундровых, горных почвах на высоте более 3000 м над ур. м., а также отмечен в горно-рудных отвалах, пещерах, пахотных почвах. Обитает повсеместно, включая полярные регионы (Reisigl, 1964, Водорості..., 2001, Lukesova, 2001, Андреева, 2005, Sramkova, 2005, Uzunov, 2008, Sieminiak, 2009, Новаковская, 2012).

Наибольшая интенсивность развития микроводоросли зарегистрирована в контрольных колбах при отсутствии загрязняющего вещества (рис. 2), минимальная – при 10 ПДК. Биомасса водоросли в контрольных условиях сохраняла дисперсность, под влиянием свинца – собиралась в конгломераты и хлопья (рис. 2). С ростом концентрации ацетата свинца в питательной среде у тест-объекта наблюдали побурение, осветление, лизис клеток, снижение численности и биомассы, снижение хлорофильных индексов.

**Морфологические показатели.** Наблюдения под микроскопом показали, что под влиянием соли свинца у опытных образцов изменилась форма клеток и их цвет. По сравнению с контрольным образцом с лимоновидными или веретенновидными клетками светло-зеленого цвета, экспериментальные клетки имели овальную форму и более темную окраску (грязно-зеленый цвет).

С повышением концентрации свинца в культуре наблюдали статистически значимое увеличение размеров клеток водоросли (табл. 1), что,

вероятно, связано с быстрой скоростью старения тест-объекта в результате действия токсиканта и его аккумуляции в биомассе микроводоросли. Известно, что тяжелые металлы способны диффундировать внутрь клеток и адсорбироваться на отрицательно заряженных лигандах. Это приводит к увеличению массы и размеров организмов (Sandau, 1996). Изменение размеров клеток также может происходить за счет увеличения вакуолей, участвующих в регуляции осмотического давления, которое нарушается при попадании внутрь живого организма ионов свинца.

**Функциональные показатели.** Показатели прироста численности и биомассы клеток *Scotiellopsis terrestris* в контроле и экспериментальных условиях варьировали. Наибольшее число клеток ( $1.6 \cdot 10^9$  кл/л) и максимальная биомасса (7000 мг/л) зарегистрированы в контрольных образцах и при 1 ПДК (рис. 3, 4). Диапазон величин при 1 ПДК оказался чуть выше, чем в контроле, что связано с положительным влиянием ацетата (компонента соли свинца) на культуру водоросли, его присутствие является дополнительным источником питательных веществ и может стимулировать рост микроводорослей (Andersen, 2005; Использование..., 2011). При 5 и 10 ПДК численность клеток уменьшилась до  $0.8 \cdot 10^9$  кл/л, а биомасса до 3200 мг/л. В условиях контроля происходило интенсивное развитие культуры, отмечены как крупные зрелые клетки, так и молодые делящи-

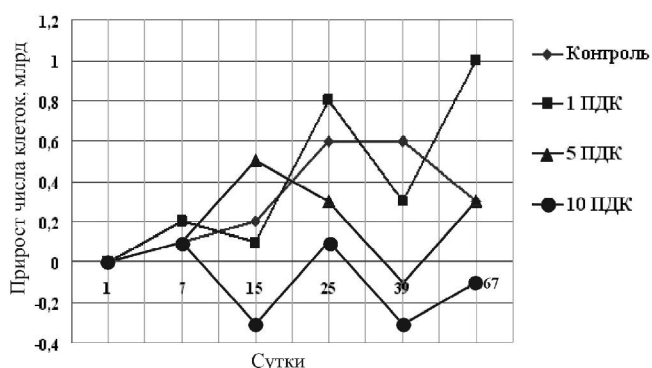


Рис. 3. Динамика числа клеток *Scotiellopsis terrestris* в 1 л при разных концентрациях иона свинца.

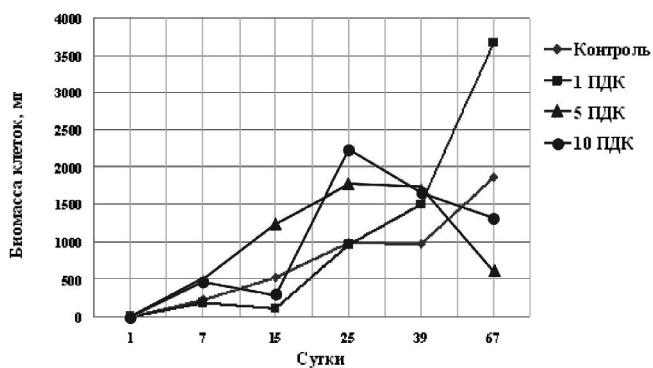


Рис. 4. Динамика биомассы клеток *Scotiellopsis terrestris* (мг/л) при разных концентрациях иона свинца.

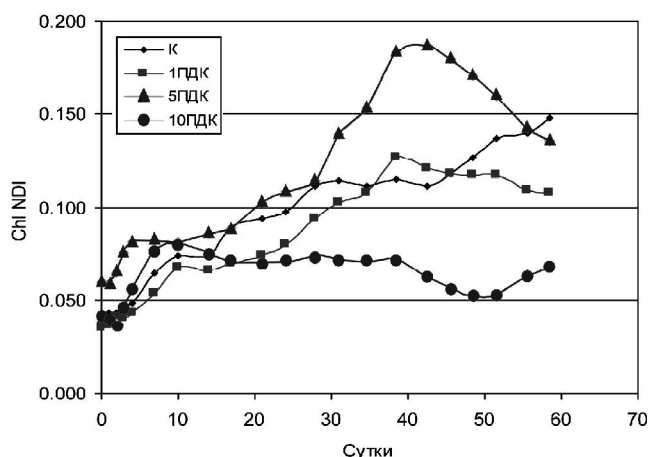


Рис. 5. Динамика хлорофильного индекса NDI для *Scotiellopsis terrestris* при разных концентрациях иона свинца.

еся автоспоры. В присутствии свинца скорость деления клеток падала. При концентрации иона свинца 1 ПДК были отмечены взрослые и делящиеся клетки, при 5 и 10 ПДК отмечено большое число стареющих клеток.

Действие токсиканта приводит к разрушению хлорофилла (обесцвечиванию клеток), ингибированию фотосинтеза, усилению дыхания, нарушению роста клеток (Гапочка, 1981; Биотест-системы..., 2014; Сафиуллина и др., 2012). Содержание пигментов и их соотношение является важным показателем сформированности фотосинтетического аппарата клетки. Хлорофилл является фотокатализатором, и снижение его содержания ограничивает скорость фотосинтеза (Дремова, 2009). В ходе эксперимента наблюдали снижение хлорофильного индекса у культур водорослей под влиянием иона свинца. При концентрациях 10 ПДК отмечено заметное снижение хлорофильного индекса – показателя содержания хлорофилла в клетках водорослей (рис. 5). Тяжелые металлы вызывают окислительный стресс, в результате чего происходит распад хлорофилл-белковых комплексов, окислительная деградация молекул свободного хлорофилла.

В конце эксперимента для оценки накопления токсиканта тест-объектом определено содержание ионов свинца в биомассе микроводоросли *Scotiellopsis terrestris* (табл. 2).

Таблица 2

**Содержание ионов свинца в воздушно-сухой биомассе *Scotiellopsis terrestris* в конце эксперимента**

Номер пробы	Концентрация Pb <sup>2+</sup> в биомассе водоросли	
	мг/кг	±Δ
Контроль	30	8
1 ПДК	41000	10000
5 ПДК	170000	40000
10 ПДК	400000	100000

Из данных, представленных в табл. 2, видно, что Pb<sup>2+</sup> отмечен во всех пробах, включая контрольные образцы. При этом его содержание зависело от концентрации токсиканта в среде произрастания. Хотя проба была отмыта от токсиканта питательной средой, высокие концентрации элемента возможно связаны с тем, что он был накоплен не непосредственно в клетке, а большая его часть адсорбирована на поверхности водорослей. Известно, что клеточные оболочки водорослей выделяют полисахариды, которые защищают клетки от поступления тяжелых металлов и способствуют их аккумуляции на поверхности клеток (Fath, 2002). При большей концентрации Pb<sup>2+</sup> выше интенсивность повреждения клеточных мембран. Увеличение размеров клеток микроводорослей приводит к тому, что рассматриваемый химический элемент в большем количестве пассивно адсорбируется заряженными полисахаридами в клеточной стенке и внутриклеточной матрице, образуя прочные комплексы с аминокислотами и другими биомолекулами, содержащими HS- и RS-группы, заменяя металлы в металлсодержащих ферментах (Fath, 2002). Способность аккумулировать загрязняющие вещества биомассой микроводоросли позволяет рекомендовать *Scotiellopsis terrestris* в качестве биосорбента. Хорошо известно, что водоросли широко применяются для очистки почвенной и водной среды как одно из самых эффективных и недорогих средств при биоремедиации (Sandau, 1996; Использование..., 2011).

Исследованная водоросль соответствует основным критериям, предъявляемым к тест-объектам: вид является широко распространенным в наземных экосистемах и способен обитать в водной среде; достаточно легко идентифицируется и культивируется; способен аккумулировать загрязняющие вещества; обладает быстрой реакцией на изменение условий среды обитания. Экспериментально показано, что *Scotiellopsis terrestris* способен переносить относительно высокие концентрации ацетата свинца в среде. При действии ионов данного тяжелого металла у микроводоросли отмечены морфологические, функциональные изменения, диагностирующие влияние токсиканта. Накопление ионов свинца клетками *Scotiellopsis terrestris* при разных ПДК увеличивается в ряду: контроль < 1 ПДК < 5 ПДК < 10 ПДК. *Scotiellopsis terrestris* может быть рекомендован как тест-объект для оценки загрязнения природных сред этим элементом и другими тяжелыми металлами, а также в качестве биосорбента.

*Исследования выполнены в рамках бюджетной темы № АААА-А16-116021010241-9, а также при частичной финансовой поддержке гранта УрО РАН № 15-15-4-36.*

ЛИТЕРАТУРА

Андреева, В. М. Почвенные и аэрофильные зеленые водоросли (*Chlorophyta: Tetrasporales, Chlorococcales, Chlorosarcinales*) / В. М. Андреева; отв. ред. К. Л. Виноградова. – Санкт-Петербург: Наука, 1998. – 352 с.

Андреева, В. М. Неподвижные зеленые водоросли (*Chlorophyta*) из почв правобережья р. Ортины (устье р. Печоры) / В. М. Андреева // Новости систематики низших растений. – 2005. – Т. 38. – С. 3–7.

Биотест-системы для задач экологического контроля: методические рекомендации по практическому использованию стандартизованных тест-культур / [В. А. Терехова и др.]. – Москва: Доброе слово, 2014. – 48 с.

Водорості ґрунтів України (історія та методи дослідження, система, конспект флори) / І. Ю. Костіков, П. О. Романенко, Е. М. Демченко, Т. М. Дарієнко, Т. І. Михайлюк, О. В. Рибчинський, А. М. Солоненко; від. ред. Н. П. Масюк, С. Я. Кондратюк. – Київ: Фітосоціоцентр, 2001. – 300 с.

Гапочка, Л. Д. Об адаптации водорослей / Л. Д. Гапочка. – Москва: изд-во МГУ, 1981. – 80 с.

Дремова, М. С. Изменение хлорофильных показателей в растениях яровой пшеницы при обработке посевов гербицидными препаратами / М. С. Дремова // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2009. – № 6 (56). – С. 10–13.

Использование альго-цианобактериальных сообществ для оценки уровней загрязнения свинцом серой лесной почвы / А. Д. Темралеева, Д. Л. Пинский, Е. П. Патова, Е. В. Спирина // Почвоведение. – 2011. – № 3. – С. 358–364.

Новаковская, И. В. Почвенные водоросли горно-тундровых сообществ Приполярного Урала (национальный парк «Югыд ва») / И. В. Новаковская, Е. Н. Патова, Ю. Н. Шабалина // Ботанический журнал. – 2012. – Т. 97, № 3. – С. 305–320.

Сафиуллина, Л. М. Эколого-биологические и цитологические особенности рода *Eustigmatos* (B. Petersen) Hibberd (*Eustigmatophyta*) / Л. М. Сафиуллина, Р. П.

Кабиринов, О. Н. Болдина. – Уфа: АН РБ, Гилем, 2012. – 120 с.

Юфит, С. С. Яды вокруг нас: вызов человечеству / С. С. Юфит. – Москва: Классикс стиль, 2002. – 368 с.

Andersen, R. A. *Algal Culturing Techniques* / by ed. R. A. Andersen. – New York: Elsevier Academic Press, 2005. – 589 p.

Fath, A. A. Toxicological Response of the Green Alga *Scenedesmus bijuga* to Mercury and Lead / A. A. Fath // *Folia Microbiol.* – 2002. – Vol. 47 (6). – P. 667–671.

Lukesova, A. Soil algae in Brown Coal and Lignite Post-Mining areas in Central Europe (Czech Republic and Germany) / A. Lukesova // *Restoration Ecology.* – 2001. – Vol. 9, N 4. – P. 341–350.

Reisigl, H. Zur Systematik und Ökologie alpiner Bodenalgae / H. Reisigl // *Oster. Bot. Z.* – 1964. – Vol. 111. – P. 402–498.

Richardson, A. D. An evaluation of noninvasive methods to estimate foliar chlorophyll content / A. D. Richardson, S. P. Duigan, G. P. Berlyn // *New phytologist.* – 2002. – Vol. 153, N 1. – P. 185–194.

Sandau, E. Heavy metal sorption by microalgae / E. Sandau, P. Sandau, O. Pulz // *Acta biotechnol.* – 1996. – N 4. – P. 227–235.

Sieminiak, D. Unicellular green alga *Scotiellopsis terrestris* (Reisigl) Puncoc. & Kalina – first record in Poland / D. Sieminiak // *International Journal of Oceanography and Hydrobiology.* – 2009. – Vol. 38. – P. 163–169.

Sramkova, K. Vyskyt cyanobakterii a rias v narastoch «lampenflory» v siestich sprístupnených jaskyniach na Slovensku Occurrence of cyanobacteria and algae in growths of lampflora in six show caves of Slovakia / K. Sramkova, L. Kovacik // *Bull. Slov. Bot. Spolocn.* – 2005. – N 27. – P. 17–21.

Uzunov, B. A. First record of *Coelastrella* species (*Chlorophyta: Scenedesmaceae*) in Bulgaria / B. A. Uzunov, M. P. Stoyneva, G. Gartner, W. Kofler. // *Ber. nat.-med. Verein Innsbruck.* – 1998. – Band 9. – P. 27–34.

**ASSESSMENT OF THE LEAD (Pb) COMPOUNDS EFFECT ON MORPHOLOGICAL AND FUNCTIONAL PARAMETERS OF GREEN ALGAE *SCOTIELLOPSIS TERRESTRIS* (REISIGL) PUNCOCHAROVA & KALINA**

**E.N. Patova<sup>1</sup>, I.V. Novakovskaya<sup>1</sup>, O.V. Zaitseva<sup>2</sup>, M.D. Sivkov<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> *Institute of Biology of Komi Scientific Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Syktyvkar*

<sup>2</sup> *Institute of Physicochemical and Biological Problems in Soil Science, Russian Academy of Sciences*

**Summary.** In this research, we used strain *Scotiellopsis terrestris* (Reisigl) Punccharova & Kalina separated from the mountain tundra communities of Subpolar Urals affected by mining industry. The strain SYKOA Ch-045-09 is cultivated in the collection of microalgal strains of Institute of Biology of Komi SC (<http://ib.komisc.ru/sykoa>). Effect of lead salt (1 MPC, 5 MPC and 10 MPC) on morphological, functional and quantitative parameters of development of wide spread green unicellular algae *Scotiellopsis terrestris* were studied. Increased lead concentrations result in increasing cell size, changes in cell form and color, decrease in cell number and lower chlorophyll content in the cells. Compared to the control (lemon- or spindle-shaped cell, clear light-green color), the experimental cells were oval-shaped and more dark colored (dark-green). Cell sizes of *Scotiellopsis terrestris* (19.44 µm length and 13.68 µm width in the control) increased up to 23.98 µm length and 19.26 µm width with increasing content of the toxic agent. Number and biomass were lower by two times than the control values. At 10 MPC lead content, obvious decrease of chlorophyll content was registered. Lead concentration in the algal biomass was also measured. Biomass accumulation of the toxic agent in *Scotiellopsis terrestris* increased with increasing content of the toxic agent according to the following scheme: control < 1 MPC < 5 MPC < 10 MPC. So, the studied species of algae can be suggested as test object to assess contamination of the environment by lead and other heavy metals and also can be used as biosorbent.

**Key words:** microalgae, biotesting, test object, *Scotiellopsis terrestris*, Subpolar Urals