

ЭФФЕКТ ДЕЙСТВИЯ ИОНОВ Fe^{2+} И Fe^{3+} НА РОСТ КУЛЬТУРЫ *CHLORELLA VULGARIS* BEIJER

THE EFFECT OF IRON IONS Fe^{2+} AND Fe^{3+} ON THE GROWTH OF *CHLORELLA VULGARIS* BEIJER CULTURE

**E. Maksimova
M. Zhuravleva**

Summary. The article presents the results of treatment of the culture of green microalgae *Chlorella vulgaris* Beijer. with iron ions Fe^{2+} and Fe^{3+} . The data analysis was carried out using a graphical method of probit analysis. It was shown that Fe^{3+} is more toxic for *chlorella* culture compared to Fe^{2+} . It was established that both ionic forms of iron are non-specific toxicants, since the range of their effect is quite wide.

Keywords: environmental safety, toxicity, ionic iron, microalgae, biotesting.

Максимова Евгения Николаевна

Доцент

Иркутский государственный университет

evgen_max@list.ru

Журавлева Марина Викторовна

Иркутский государственный университет

marina-zhuravleva2222@yandex.ru

Аннотация. В статье приводятся результаты оценки эффекта действия двух- и трехвалентного железа на культуру зеленой микроводоросли *Chlorella vulgaris* Beijer. Анализ результатов проведен с применением графического метода пробит-анализа. В работе показано, что ионы трёхвалентного железа оказались более токсичны для культуры хлореллы по сравнению с двухвалентным железом. Установлено, что обе формы ионного железа являются не специфичными токсикантами, поскольку диапазон эффекта их действия достаточно широк.

Ключевые слова: экологическая безопасность, токсичность, ионное железо, микроводоросли, биотестирование.

Введение

Железо, являясь естественным минералом, присутствует в любой воде в определённых количествах, чаще всего встречается двух- и трехвалентное железо [1]. Однако помимо естественных процессов, вследствие которых железо попадает в воду (механические разрушения и выветривания пород), существуют и искусственные причины — антропогенные. Увеличение количества, попадающего в природные среды железа, может приводить к длительным токсическим последствиям. Наряду с этим железо относится к биогенным элементам и абсолютно необходимо растениям, так как принимает участие в функционировании основных редокс-систем фотосинтеза и дыхания [2].

Важным критерием для определения токсического действия любых веществ является его предельно допустимая концентрация (ПДК). ПДК — норматив содержания химического вещества в окружающей среде. Установленная предельно допустимая концентрация как для двух-, так и трёхвалентного железа в воде составляет 0,3 мг/л [3].

Объекты и методы

Для оценки эффекта действия ионов двухвалентного железа из водного раствора $FeSO_4 \times 7H_2O$ и ионов трёхвалентного железа из водного раствора $Fe_2(SO_4)_3 \times 7H_2O$ проведена серия токсикологических экспериментов с применением стандартизированных методик биотестирования [4]. В качестве тест-объекта использовали альгологически чистую культуру зеленых микроводорослей *Chlorella vulgaris* Beijer. Водоросли культивировали в плоскодонных колбах при непрерывном освещении 3000 Lux лампами дневного света и постоянной температуре 28 °C, на искусственной питательной среде Прата.

Показателем токсического действия служил рост оптической плотности клеток водорослей в опыте по сравнению с контролем в присутствии токсикантов и без них (питательная среда без токсикантов). Оценку плотности культуры осуществляли каждые сутки (до 7 суток) путем измерения коэффициента поглощения проходящего света с помощью лабораторного спектрофотометра ПЭ-5300ВИ. Данная методика заключается в выявлении различий в показателях оптической плот-

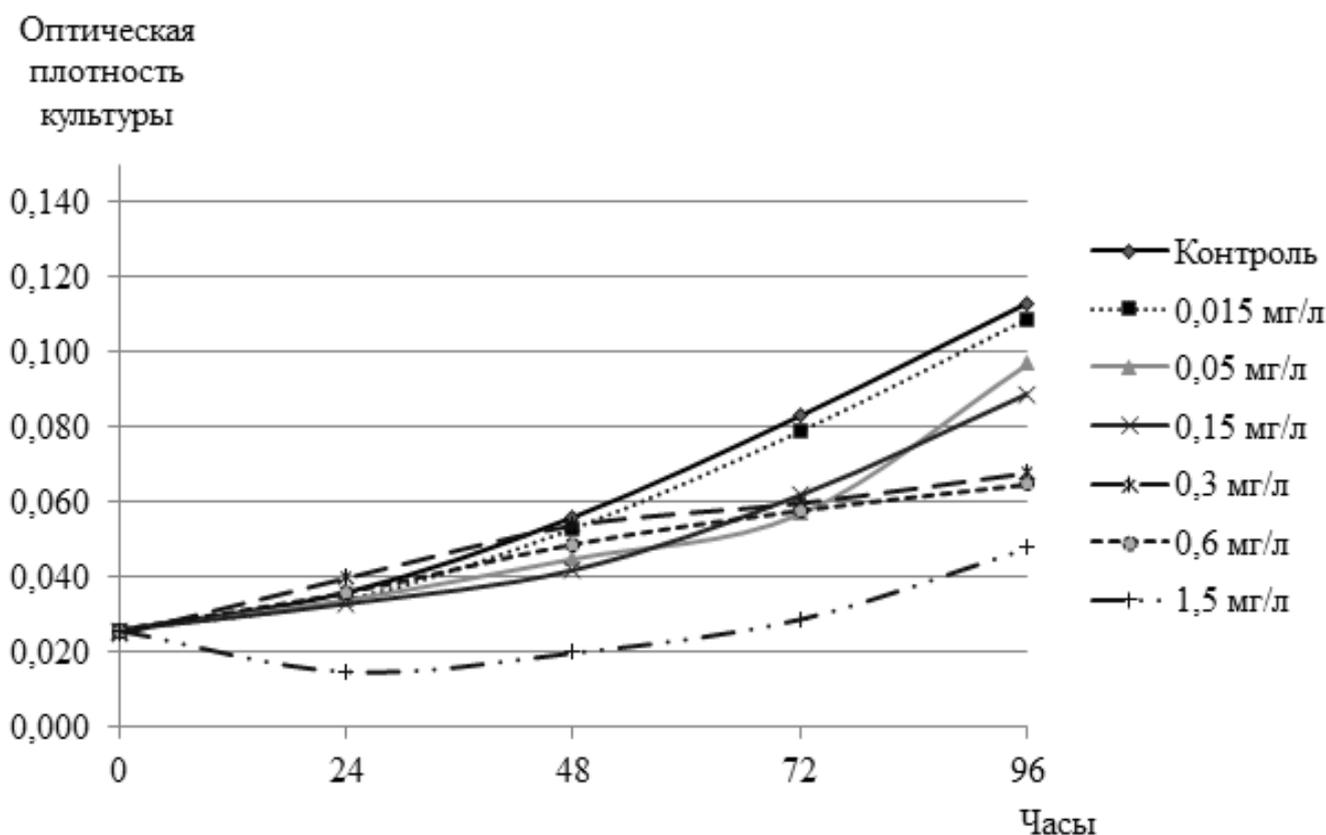


Рис. 1. Динамика роста культуры *Chlorella vulgaris* Beijer при действии ионов Fe³⁺

ности культуры водорослей, выращенной на среде, не содержащей токсических веществ (контроль) и выращенной на среде с добавлением разных концентраций, исследуемых веществ [5]. Измерение оптической плотности культуры водорослей позволяет контролировать изменения, происходящие в популяции *Ch. vulgaris* в контрольном и опытном вариантах токсикологического опыта.

Для интегральной оценки интенсивности размножения водорослей рассчитывали удельную скорость роста (μ , 1/сут) в опыте по сравнению с контролем (% от контроля) по формуле:

$$\mu = \frac{\ln\left(\frac{C_t}{C_0}\right)}{t}$$

где C_t и C_0 — концентрации клеток в экспоненциальной (логарифмической) фазе роста культуры в начале и конце опыта, t — время опыта (5 суток).

Статистическая обработка результатов проведена с использованием вычислений среднего арифметического, среднеквадратического (стандартного) отклонения, ошибки среднего арифметического.

Индекс токсичности опытных образцов по был рассчитан формуле:

$$I_T = \frac{X_k - X_{оп}}{X_k} \times 100\%$$

где X_k — среднее арифметическое значение в контроле, $X_{оп}$ — среднее арифметическое значение в опытном образце.

С использованием отработанной методики все опыты проводили в шести биологических повторностях, в результатах на графиках приведены средние значения показателей.

Результаты и обсуждение

Было исследовано действие ионов трёх- (рис. 1.) и двухвалентного (рис. 2.) железа на рост культуры хлореллы. Как видно на рисунках, все изученные концентрации не оказывали летального действия на водоросли, но в разной степени угнетали рост культур на ранних этапах инкубирования. Токсический эффект для трёхвалентного железа выражался в отставании роста водорослей в опыте по сравнению с контролем

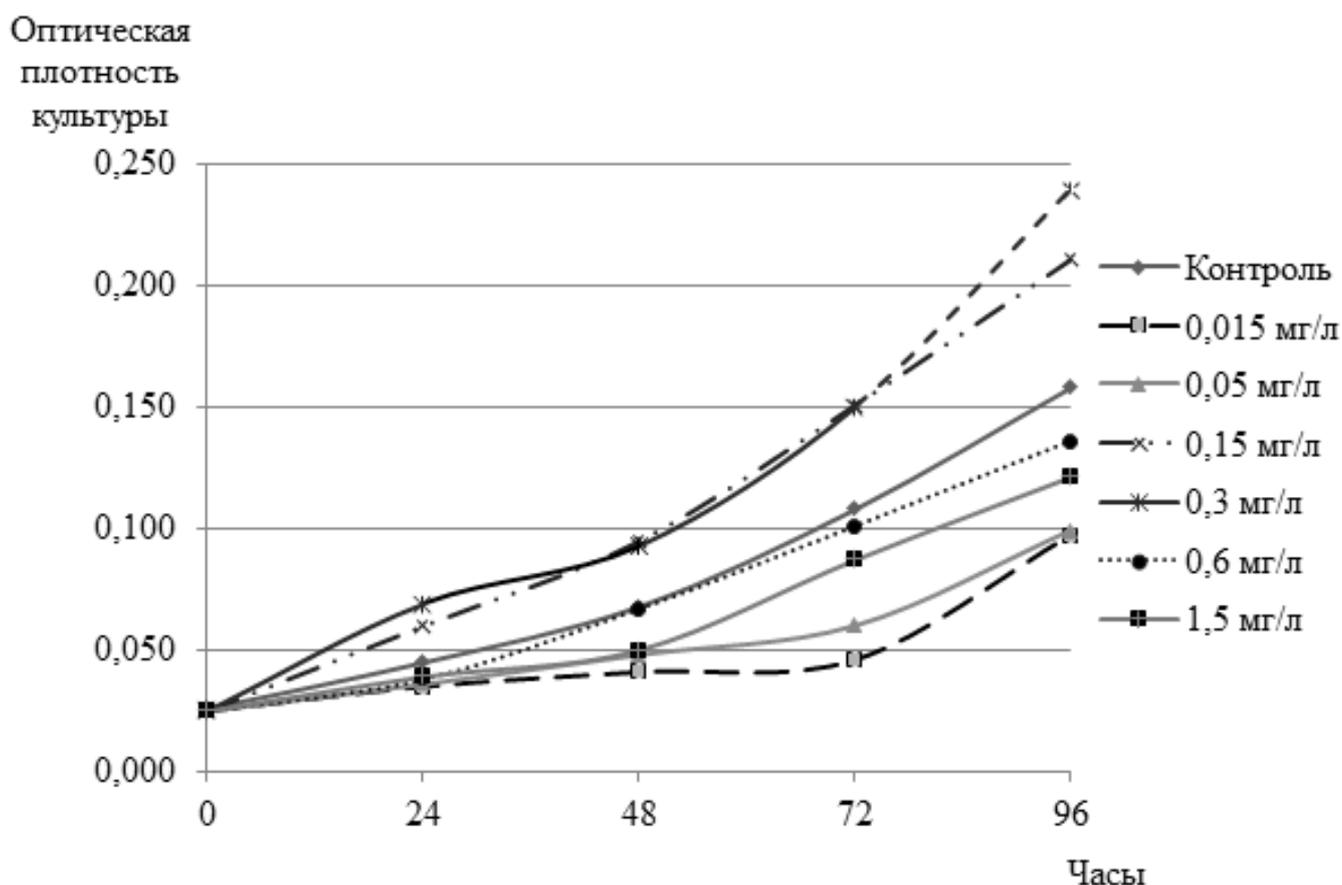


Рис. 2. Динамика роста культуры *Chlorella vulgaris* Beijer при действии ионов Fe^{2+}

на 4 сутки опыта, а степень подавления увеличивалась с повышением концентрации токсикантов (рис. 1).

Токсический эффект для двухвалентного железа выражался аналогично токсическому эффекту для трёхвалентного железа. Однако концентрации 0,15 и 0,3 в случае с двухвалентным железом оказали стимулирующее действие на рост культуры хлореллы, при этом согласно действующим гигиеническим нормативам, ПДК по железу любой неорганической формы составляет именно 0,3 мг/л.

Оптимальная длительность токсикологических опытов — четверо суток (96 часов), когда культуры находятся в фазе активного экспоненциального роста, при этом достаточно ярко проявляется фаза первичной декомпенсации, для расчета удельной скорости роста, как показателя, характеризующего рост культур в опыте и контроле.

Расчитанные величины средней удельной скорости роста (μ , 1/сут) на четвертые сутки опыта в экспериментах показаны для Fe^{2+} в таблице 1, для Fe^{3+} в таблице 2.

Для получения более точной сравнительной характеристики токсичности разных ионных форм железа применили метод графического определения полуподавляющих удельной скорости роста (EC_{50}) культуры хлореллы в опытах по сравнению с контролем на четвертые сутки (рис. 3.). В данном методе, важным показателем опасности токсиканта для организма является угол наклона графика пробит-анализа к оси X — чем выше крутизна (т.е. чем меньше диапазон токсических концентраций), тем более специфичен и опасен токсикант для данной биологической системы. Ионы трёхвалентного железа оказались более токсичны для культуры хлореллы по сравнению с двухвалентным железом. Достаточно пологий график пробит-анализа по отношению к оси концентрации (ось X) указывает на то, что обе формы железа являются не специфичными токсикантами, поскольку диапазон их действия достаточно широк.

Полуподавляющая рост концентрация составила для трёхвалентного железа — $EC_{50} = 1,26$ мг/л (около 4,2 ПДК). Разброс показателей для двухвалентного железа не позволил установить значение EC_{50} .

Таблица 1. Показатели роста культуры хлореллы на четвертые сутки в опыте с Fe²⁺

Концентрация Fe ²⁺ (мг/л)	Средняя μ , 1/сут	Ит
0 — контроль	0,36±0,02	0
0,015 (1/20 ПДК)	0,27±0,02	25
0,05 (1/6 ПДК)	0,28±0,01	22
0,15 (1/2 ПДК)	0,43±0,03	0
0,3 (1 ПДК)	0,45±0,04	0
0,6 (2 ПДК)	0,34±0,02	6
1,5 (5 ПДК)	0,32±0,02	11

Таблица 2. Показатели роста культуры хлореллы на четвертые сутки в опыте с Fe³⁺

Концентрация Fe ³⁺ (мг/л)	Средняя μ , 1/сут	Ит
0 — контроль	0,29±0,02	0
0,015 (1/20 ПДК)	0,29±0,02	0
0,05 (1/6 ПДК)	0,26±0,02	10
0,15 (1/2 ПДК)	0,25±0,02	14
0,3 (1 ПДК)	0,20±0,02	31
0,6 (2 ПДК)	0,18±0,02	38
1,5 (5 ПДК)	0,12±0,02	59

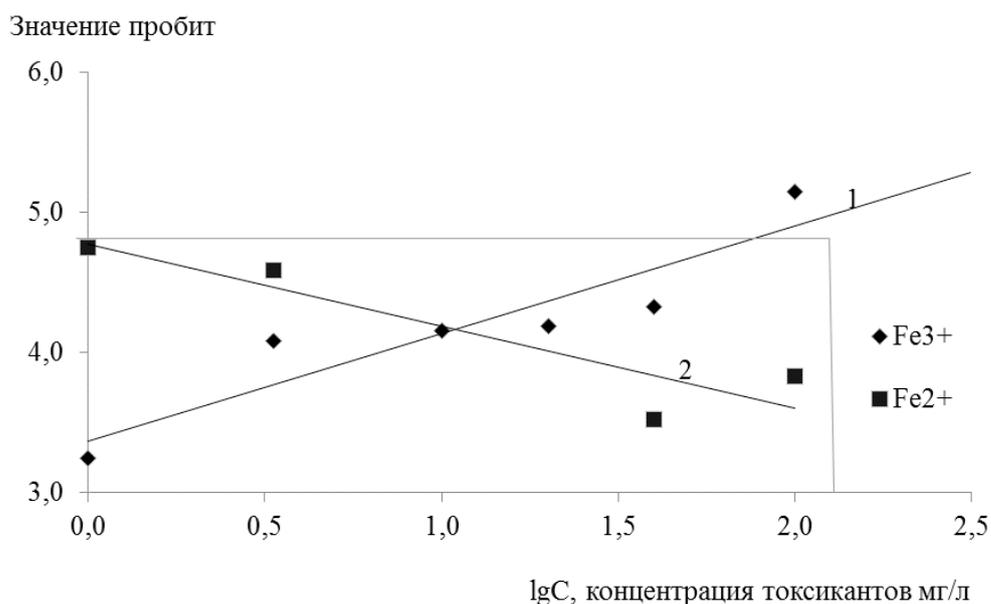


Рис. 3. Результаты пробит-анализа действия двух- и трёхвалентного железа на рост культуры хлореллы: 1 — Fe³⁺; 2 — Fe²⁺

Заключение

Таким образом, на основании проведенного пробит-анализа можно указать на значительно большую токсичность трёхвалентного железа по сравнению с двухвалентным для культуры хлореллы. Полуподавляющая рост концентрация для трёхвалентного же-

леза составила EC50 = 1,26 мг/л (около 4,2 ПДК) Но при этом, обе формы железа проявили практически одинаковую и относительно невысокую специфичность действия, поскольку графики пробит-анализа довольно полого располагаются по отношению к оси X и указывают на широкий диапазон действующих концентраций.

ЛИТЕРАТУРА

1. Логинова Е.В., Лопух П.С. Гидроэкология: курс лекций Минск: БГУ, 2011. — 300 с.
2. Масленников П.В. и др. Аккумуляция железа в растениях урбозкосистем г. Калининграда // Современные проблемы науки и образования, 2016, № 3. [Электронный ресурс]. — Режим доступа: — <https://science-education.ru/ru/article/view?id=24507>.
3. СанПиН 1.2.3685–21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания» // Постановление главного государственного врача РФ от 28.01.2021 № 2. [Электронный ресурс]. — Режим доступа: — https://www.rospotrebnadzor.ru/files/news/GN_sreda%20_obitaniya_compressed.pdf
4. ГОСТ Р 54496–2011 (ИСО 8692:2004) Вода. Определение токсичности с использованием зеленых пресноводных одноклеточных водорослей // Национальный стандарт Российской Федерации. М.: Стандартинформ, 2012. 57 с.
5. ПНД Ф Т 14.1:2:3:4.10–04 Методика измерений оптической плотности культуры водоросли хлорелла (*Chlorella vulgaris* Beijer) для определения токсичности питьевых, пресных природных и сточных вод, водных вытяжек из грунтов, почв, осадков сточных вод, отходов производства и потребления // Токсикологические методы контроля. — М, 2014. 38 с.

© Максимова Евгения Николаевна (evgen_max@list.ru), Журавлева Марина Викторовна (marina-zhuravleva2222@yandex.ru).
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»



Иркутский государственный университет