

Проблема загрязнения водных ресурсов является актуальной в связи с продолжающимся ростом антропогенной нагрузки на природную среду. В списках приоритетных загрязняющих веществ одно из первых мест занимают ионы тяжелых металлов (ИТМ), соединения которых не подвергаются деструкции в водоеме, а лишь изменяют формы миграции [1]. Обладая высокой способностью к биоаккумуляции, последние быстро включаются в пищевые цепи и накапливаются в организмах видов, находящихся на высоких трофических уровнях, включая человека. В последнее время для удаления поллютантов, в том числе и ИТМ, широкое распространение находит фиторемедиация - метод удаления загрязнителей из водной среды различными частями водных растений [2, 3]. Для фиторемедиации наиболее пригодны водные растения, которые обладают следующими важными функциями с точки зрения очистки воды: 1) фильтрационная (способствуют осаждению взвешенных веществ); 2) поглощательная (поглощают биогенные элементы, некоторые органические вещества); 3) накопительная (способны накапливать некоторые металлы и трудно разлагаемые органические соединения); 4) санитарная (обладают бактерицидными свойствами); 5) окислительная (в процессе фотосинтеза обогащают воду кислородом); 6) детоксикационная (способные накапливать токсичные вещества и превращать их в нетоксичные) [4]. В данной работе для фиторемедиации исследовалась элодея канадская (*Elodea Canadensis*), которая обладает большой скоростью накопления биомассы [5, 6] и поглощательной способностью [7, 8]. В качестве поллютанта исследовались ионы Fe^{2+} . Эксперимент состоял из двух частей. Первоначально образцы *Elodea Canadensis* помещались в 3 емкости с питательной средой Кноппа с концентрацией ионов Fe^{2+} 10 мг/дм³ и 100 мг/дм³ и контрольным образцом, не содержащим названные ионы. Время инкубации составило 4 недели. Через определенные промежутки времени определялось остаточная концентрация ионов $Fe(II)$ в растворе. По окончании эксперимента образцы *Elodea Canadensis* извлекались из среды инкубации, высушивались при температуре 105 °C, гомогенизировались. Ионы железа (II) извлекались концентрированной соляной кислотой. Перед определением раствор разбавлялся, чтобы масса ионов железа (II) в пробе воды объемом 500 мл составляла от 0,08 мг до 2,00 мг. Массовая концентрация ионов железа (II) в водных растворах определялась фотометрическим методом, основанным на измерении интенсивности светопоглощения окрашенного в оранжево-красный цвет комплексного соединения железа (II) с о-фенатролином при длине волны $\lambda = 540$ нм в интервале pH = 3,5-4,5. Оптическая плотность раствора определялась спектрофотометром марки «UNICO 2100». Использовали кюветы с толщиной поглощающего свет слоя 30 мм. Градуировочная характеристика зависимости среднего значения оптической плотности от массы ионов железа (II) аппроксимируется линейной функцией вида $D = K \cdot m + a$, где D - среднее значение оптической плотности градуировочного раствора; K , a - коэффициенты

градуировочной зависимости; m - масса ионов железа (II) в градуировочном растворе, мг. Масса ионов железа (II), мг, рассчитывалась по формуле: где m_i - масса ионов железа (II), мг; $\bar{D}$ - среднее значение оптической плотности анализируемой пробы; a, K - градуировочные коэффициенты, рассчитанные методом наименьших квадратов. Массовая концентрация ионов железа (II), X , мг/дм³, рассчитывалась по формуле: где m_i - масса ионов железа (II), мг; $V_{\text{пробы}}$ - объем пробы, взятый для анализа, см³; 1000 - коэффициент пересчета см³ в дм³. Проведенными анализами остаточного содержания ионов Fe²⁺ в модельных растворах выявлено, что степень удаления исследуемых ионов железа превышает 90 % (табл. 1). В то же время отмечено, что с увеличением концентрации ионов Fe(II) в растворе повышается и содержание последних в биомассе элодеи. Следует отметить, что некоторое количество ионов железа содержится и в самой сухой биомассе растения. Таблица 1 - Значения содержания ионов железа в растворах и биомассе элодеи

Концентрация ионов железа, мг/дм ³	Степень очистки, %	в модельной жидкости	в элодее после 4 х недель, мг/г сух. массы	в растворе после 4 х недель культивирования	контроль
0,043	-	10	0,376	0,74	92,6
100	1,016	3,64	96,4		

Визуально отмечено, что малая концентрация ионов железа в модельном растворе (10 мг/дм³), в котором находились образцы элодеи, способствует интенсификации прироста биомассы растения, что видно из приведенных на рис. 1 фотографий. В то же время более высокая концентрация ионов железа в модельном растворе способствует угнетению растения, снижению прироста биомассы по сравнению с контрольным образцом. Тем не менее, остаточная концентрация ионов железа в растворе невысока. Данное обстоятельство, по всей видимости, связано с выделением элодеей в процессе жизнедеятельности кислорода, который окисляет присутствующие в воде ионы Fe(II) в ионы Fe(III). Косвенным доказательством данному обстоятельству служит наличие на дне экспериментального сосуда светло-коричневого нерастворимого осадка, по всей видимости, Fe(OH)₃. Рис. 1 - Внешний вид растений элодеи после четырех недель эксперимента

Таким образом, показана возможность поглощения ионов железа малой концентрации из водных сред биомассой растения *Elodea Canadensis*, что позволяет расширить в дальнейшем области экспериментов.