

Текебаева Ж.Б.¹, Абжалелов А.Б.²

¹Казахский университет технологии и бизнеса, Казахстан, г. Астана,
e-mail: bio_kazutb@mail.ru

²Республиканская коллекция микроорганизмов, Казахстан, г. Астана

АККУМУЛИРУЮЩИЕ СВОЙСТВА МИКРОВОДОРОСЛЕЙ *CHLORELLA VULGARIS* И 2 И *PARACHLORELLA KESSLERI* У 1 ПО ОТНОШЕНИЮ К ПОЛЛЮТАНТАМ РАЗЛИЧНОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ

Степень загрязненности водоемов Северного Казахстана из года в год неуклонно растет вследствие роста техногенной нагрузки на водные источники. В связи с этим исследования по решению проблем очистки открытых водоемов от различных загрязнителей входят в число важных мероприятий по улучшению экологической обстановки региона.

В результате альголизации загрязненных природных вод штаммами зеленых микроводорослей *Chlorella vulgaris* И 2 и *Parachlorella kessleri* У 1 в течение 14 суток отмечено улучшение показателей качества воды: увеличивается количество растворенного кислорода, снижаются показатели по БПК₅ во всех пробах, уменьшаются концентрации сульфатов, нитритов, нитратов, солей аммония, магния, хлоридов, меди, железа, цинка и марганца. Эффективность очистки в целом у обоих штаммов по нитритам составила до 62,5%, по аммонийно-солевому – до 65,7%, по меди – до 60,7%, железу – 51,9%, цинку – до 40%, нитратам – до 40,5%, марганцу – до 36,4%, сульфатам – 25,6%, магнию – до 18,8% и хлоридам – до 5,6%.

Благодаря аккумуляющей способности штаммов *Chlorella vulgaris* И 2 и *Parachlorella kessleri* У 1 появляется возможность проводить процесс эффективной биоочистки загрязненных природных, а также сточных вод от загрязнителей различного происхождения.

Ключевые слова: загрязнители, микроводоросли, аккумуляющие свойства, тяжелые металлы, водоем, альголизация.

Tekebaeva Zh.B.¹, Abzhalelov A.B.²

¹Kazakh University of Technology and Business, Kazakhstan, Astana,
e-mail: bio_kazutb@mail.ru

²Republican collection of microorganisms, Kazakhstan, Astana

The accumulating properties of the microalgae *Chlorella vulgaris* И2 and *Parachlorella kessleri* У 1 in relation to pollutants of different origin

The degree of pollution of the reservoirs of Northern Kazakhstan from year to year is growing steadily, due to the growth of the technogenic load on water sources. In this regard, studies to solve the problems of clearing open reservoirs from various pollutants are among the important measures to improve the ecological situation in the region.

As a result of algalization of contaminated natural waters with strains of green microalgae *Chlorella vulgaris* И 2 and *Parachlorella kessleri* У 1, water quality indicators have been improving for 14 days: the amount of dissolved oxygen increases, the BOD₅ values in all samples decrease, the concentrations of sulfates, nitrites, nitrates, salts decrease ammonium, magnesium, chloride, copper, iron, zinc and manganese. The overall purification efficiency in both strains for nitrite was up to 62,5%, for ammonium salt – up to 65,7%, for copper – up to 60,7%, for iron – 51,9%, for zinc – up to 40%, for nitrates – up to 40,5%, manganese – up to 36,4%, sulfates – 25,6%, magnesium – up to 18,8% and chlorides – up to 5,6%.

Due to the accumulating capacity of the strains *Chlorella vulgaris* И 2 and *Parachlorella kessleri* У 1 it is possible to carry out the process of effective bio-purification of contaminated natural as well as wastewater from pollutants of various origin.

Key words: pollutants, microalgae, accumulating properties, heavy metals, water reservoir, algalization.

Текебаева Ж.Б.¹, Әбжелелов А.Б.²

¹Қазақстандық технологиялар және бизнес университеті, Қазақстан, Астана қ.,
e-mail: bio_kazutb@mail.ru

²Республикалық микроорганизмдер жиынтығы, Қазақстан, Астана қ.

Микробалдырдың *Chlorella vulgaris* И 2 және *Parachlorella kessleri* У 1 жинақтағыш қасиеттері әртүрлі ластаушы заттарға қатысты

Солтүстік Қазақстан су қоймаларының ластану дәрежесі жыл сайын су көздеріне техногендік жүктеменің өсуіне байланысты тұрақты түрде артып келеді. Осыған байланысты әртүрлі ластағыштардан ашық су қоймаларын тазарту мәселелерін шешу аймақтағы экологиялық жағдайды жақсартудың маңызды шаралары болып табылады. Ластанған табиғи сулардың жасыл микробалдырлары *Chlorella vulgaris* И 2 және *Parachlorella kessleri* У 1 штамдары бар судың сапа көрсеткіштері 14 күнде жақсарып келеді: ерітілген оттегіні көбейтеді, барлық үлгілердегі БОС₅ шамасы, сульфаттар, нитраттар, нитриттер, тұздардың концентрациясы, аммоний, магний, хлорид, мыс, темір, мырыш және марганец төмендейді. Нитрит үшін екі штамның тазарту тиімділігі – 62,5%, аммоний тұздары үшін – 65,7%, мыс үшін – 60,7%, темір үшін – 51,9%-ға, мырыш үшін – 40%, нитраттарға – 40,5%, марганец – 36,4%, сульфаттар – 25,6%, магний – 18,8% және хлоридтер – 5,6% дейін. *Chlorella vulgaris* И 2 және *Parachlorella kessleri* У 1 штамдарының жинақтаушы қуаттылығына байланысты әртүрлі ластаушы заттардан ластанған табиғи және биологиялық тазарту процесін жүзеге асыруға болады.

Түйін сөздер: ластаушы заттар, микробалдырлар, жинақтаушы қасиеттері, ауыр металдар, су қоймасы, альголизация.

Введение

В Казахстане исследования в области микробиоэкологии активно проводились в 90-е годы. Возрастающая урбанизация и, вследствие этого, загрязнение естественных и искусственных водоемов требуют разработки и внедрения для оценки их состояния и ремедиации новых экотехнологий, среди которых важнейшее место занимают технологии, основанные на использовании водных микроорганизмов [1].

В работах последнего десятилетия внимание исследователей привлекают фототрофные организмы — микроводоросли, цианобактерии и высшие водные растения, многие из которых способны использовать в качестве источников питания минеральные вещества и простые органические соединения, имеющиеся в стоках, активно поглощая ионы азота, фосфора и другие биогенные элементы. Отмечается, что некоторые из них обладают высокой кумулятивной способностью по отношению к тяжелым металлам и радиоактивным элементам [2-4].

В ряде исследований показана высокая кумулятивная способность микроводорослей в отношении тяжелых металлов и радиоактивных элементов [5-9], деструктивная активность в отношении органических соединений [10-13],

заметная бактерицидная активность [14-17]. Все это ориентирует на использование микроводорослей для очистки загрязненных водных экосистем.

В настоящее время в биотехнологии развиваются исследования, направленные на использование микроорганизмов в качестве инструментов для удаления или концентрирования тяжелых металлов из загрязненных природных водоемов. В основе такой технологии лежит способность клеток некоторых микроорганизмов аккумулировать тяжелые металлы в больших количествах из водной среды, а также из почвы и ила [18].

По статистическим данным, степень загрязненности вод рек и водоемов Северного Казахстана из года в год неуклонно растет, причиной которого является рост техногенной нагрузки на водные источники [19].

В связи с этим, исследования по решению проблем очистки открытых водоемов от различных поллютантов входят в число важных мероприятий по улучшению экологической обстановки региона, который был выбран не случайно. Несомненно, что объекты наших исследований находятся под воздействием антропогенной нагрузки, т.к. протекают на территории городов Астана и Павлодар, а также других городов и населенных пунктов.

Целью исследования являлось изучение аккумулярующих свойств микроводорослей по отношению к поллютантам различного происхождения, а именно некоторым тяжелым металлам, главным ионам и биогенным элементам, а также определение эффективности применения и перспективности использования микроводорослей в очистке загрязненных водоемов данными поллютантами.

Материалы и методы исследования

Материалами для исследований послужили образцы проб воды (15 проб), отобранные из водоемов г. Павлодар и Астана (рек Есиль, Акбулак, Иртыш, Усолка и канала Нура-Есиль), а также штаммы зеленых микроводорослей *Chlorella vulgaris* И 2 (выделен из реки Иртыш) и *Parachlorella kessleri* У 1 (выделен из реки Усолка), отобранных в результате скрининга по накоплению биомассы и устойчивости к тяжелым металлам. Выделение и получение бактериологически чистых культуры микроводорослей проводили используя метод Максимовой и Пименовой с добавлением в питательную среду антибиотиков (пенициллина и нистатина), а также метод предельных разведений по Больду [20]. Отбор проб воды проводили в июне – августе 2015–2017гг. (в период активной вегетации микроводорослей) согласно общепринятым в гидробиологии методам [20, 21].

При проведении химического анализа на содержание тяжелых металлов пробы воды сразу после отбора были фиксированы азотной кислотой (на 500 мл воды 0,5 мл азотной кислоты). Пробоподготовку и измерения проводили по методике Лурье [22] на атомно-абсорбционном спектрометре с использованием пламенной атомизации АAnalyst 400 (Perkin Elmer, США). Главные ионы и биогенные элементы определяли согласно общепринятым химическим методам [23–25].

Содержание тяжелых металлов, главных ионов и биогенных элементов определяли в исходных образцах воды (до закладки модельного эксперимента) и в пробах воды после альголизации (по окончании культивирования штаммов микроводорослей). Культивирование проводили на природной воде исследуемых источников в лабораторных условиях при комнатной температуре 26–28°C в колбах объемом 250 мл (по 100 мл воды) в течение 14 суток, одновременно производили подсчет числа клеток микроводорослей с помощью камеры Горяева [20] на 1-е,

3-и, 5-е, 7-е, 10-е и 14-е сутки культивирования с использованием микроскопа серии Axio Lab A1 (Carl Zeiss, Германия), оснащенного окулярным микрометром и выводом изображения на монитор. Исходная плотность клеток микроводорослей составила $0,113 \cdot 10^6$ – $0,167 \cdot 10^6$ кл/мл. Эксперимент по альголизации проб воды проводили в 3-х повторностях.

Эффективность очистки h_n сточных вод от n -го загрязняющего вещества определяется по формуле: $h_n = (c_{исх} - c_{кон}) / c_{исх} \cdot 100\%$, где $c_{исх}$ – концентрация n -го загрязнителя на входе в очистное устройство, мг/л; $c_{кон}$ – концентрация n -го загрязнителя на выходе из устройства, мг/л [26].

Результаты исследования и их обсуждение

Поскольку процесс поступления металлов в окружающую среду является неизбежным по мере интенсификации промышленности и сельского хозяйства, следует признать актуальным вопрос прогнозирования развития водных биоценозов в условиях загрязнения водной среды. В этой связи возникает необходимость исследований устойчивости широкого круга микроводорослей к различным химическим элементам.

Металлы, как главные природные ресурсы, образуют группу опасных загрязнителей среды, и, в то же время, они являются необходимой частью ферментативных систем живых организмов [27].

Краткая характеристика исследуемых водоемов:

Река Иртыш (Ертыс) – река в Павлодаре, самая длинная река-приток в мире, протяженность – 4248 км. Протекает по территории Китая, Казахстана и России. Площадь бассейна — 1643 тыс. км². Иртыш вытекает из озера Зайсан на северо-запад через Бухтарминскую ГЭС, город Серебрянск и следом за ней расположенную Усть-Каменогорскую ГЭС. Ниже по течению находятся Шульбинская ГЭС и город Семей.

Река Усолка – река в Павлодаре, является правобережной старицей реки Иртыш и имеет длину 24,7 км. Русло реки Усолка в настоящее время сильно заилено, местами поросло деревьями и кустарниками, либо камышом. Воды реки используются многими садоводческими кооперативами для полива выращиваемых культур.

Река Есиль (Ишим) – река в Астане, левый и самый длинный приток Иртыша, протекает по территории Казахстана и России. Длина 2450 км, в том числе 1717 км протекает в пределах Ак-

молинской и Северо-Казахстанской областей, площадь бассейна 177 тыс. км². На реке Есиль расположены Вячеславское и Сергеевское водохранилища. Воды Есиля используются для водоснабжения и орошения, т.к. на реке и ее притоках расположены города и населенные пункты. Река имеет транспортное значение. Кроме того, река Ишим является рыбохозяйственным водоемом первой категории.

Река Акбулак (ручей Соленая балка) – мелкий правый приток Ишима, протекающий по юго-восточной части города Астана. Исток ручья находится в районе ТЭЦ-2.

Канал Нура-Есиль (г. Астана) – 25-километровый канал был построен для подачи воды из

реки Нура в г. Астану. Канал рассчитан на подачу 255 млн м³/год, в том числе: 78 млн. м³/год на нужды города, 11 млн. м³/год на полив, 120 млн. м³/год на санитарные пуски, 46,6 млн. м³/год потери на фильтрацию и испарение. На данный момент реконструировано свыше 10 километров.

Изначально был проведен химический анализ исходного содержания различных загрязнителей в отобранных пробах воды исследованных нами водоемов. Результаты представлены в таблице 1. Основными критериями качества воды являются значения ПДК (предельно-допустимых концентраций) загрязняющих веществ для рыбохозяйственных водоемов [28].

Таблица 1 – Исходное содержание различных загрязнителей в образцах природной воды исследуемых водоемов

№	Наименование	Значения ПДК, мг/л	Проба				
			Иртыш	Усолка	Есиль	Акбулак	Нура-Есиль
1	БПК ₅	3 мг/л ³	2,4	3,0	3,6	3,9	3,2
2	Растворенный кислород	не менее 4	10,2	11,1	9,7	8,9	8,3
3	Сульфаты	100	115	169	259	305	220
4	Хлориды	300	267	305	241	412	510
5	Магний	40	30	18	32	52,3	81,4
6	Нитриты	0,08	0,06	0,08	0,1	0,18	0,14
7	Нитраты	40	37	62	58	50	45
8	Аммоний солевой	0,5	0,7	0,55	0,85	1,25	1,4
9	Медь	0,001	0,0026	0,0028	0,0024	0,0058	0,0035
10	Кадмий	0,005	0,0037	0,0019	0,0032	0,0040	0,0025
11	Кобальт	0,005	0,0027	0,0015	0,0042	0,0033	0,0038
12	Никель	0,01	0,0028	0,0065	0,001	0,0048	0,0084
13	Марганец	0,01	0,007	0,008	0,041	0,022	0,035
14	Цинк	0,01	0,015	0,008	0,018	0,022	0,015
15	Свинец	0,01	0,0050	0,0029	0,0076	0,014	0,0074
16	Железо	0,1	0,500	0,382	0,940	0,561	0,678

В результате установлено, что в исходных образцах воды превышение предельно-допустимых концентраций было следующее: из групп тяжелых металлов – медь (от 2,4 до 5,8 ПДК), марганец (от 2,2 до 4,1 ПДК), цинк (от 1,5 до 2,2 ПДК) и железо (от 3,8 до 9,4 ПДК), главных ионов – сульфаты (от 1,2 до 3 ПДК), магний (от 1,3 до 2 ПДК), хлориды (от 1,4 до 1,7 ПДК), биогенных элементов – аммоний солевой (от 1,1 до 2,8 ПДК), нитриты (от 1,2 до 2,2 ПДК), нитраты (от 1,1 до 1,6 ПДК). Выявлено, что наибольшему

загрязнению подвержены реки Акбулак, Есиль и канал Нура-Есиль.

Полученные данные показывают, что по содержанию тяжелых металлов в природных водах наблюдается следующая зависимость: Fe > Cu > Mn > Zn (по убыванию). По веществам из группы главных ионов: сульфаты > магний > хлориды, биогенных элементов: соли аммония > нитриты > нитраты. Такое распределение концентраций в природных водах зависит как от абиотических, так и от антропогенных факторов.

Далее была проведена альголизация (внесение биомассы наиболее активных штаммов зеленых микроводорослей *Chlorella vulgaris* И 2 и *Parachlorella kessleri* У 1, выделенных из исследованных водоемов) с целью определения их аккумулярующих свойств по отношению к некоторым тяжелым металлам, биогенным элементам и главным ионам. Результаты представлены в таблице 2.

Как видно из таблицы 2, альголизация природной воды биомассой обоих штаммов микроводорослей в течение 14 суток привела к уве-

личению количества растворенного кислорода, снижению показателей по БПК₅ во всех пробах. Содержание растворенного кислорода и БПК₅ в воде характеризует кислородный режим водоема и имеет важнейшее значение для оценки его экологического и санитарного состояния. Кислород должен содержаться в воде в достаточном количестве, обеспечивая условия для дыхания гидробионтов. Он также необходим для самоочищения водоемов, т.к. участвует в процессах окисления органических и других примесей, разложения отмерших организмов [29].

Таблица 2 – Химический анализ проб воды исследуемых водоемов на содержание различных поллютантов после альголизации штаммами микроводорослей на 14-е сутки культивирования

Наименование	Значения ПДК, мг/л	Наименование пробы				
		Иртыш	Усолка	Есиль	Акбулак	Нура-Есиль
<i>Chlorella vulgaris</i> И 2						
БПК ₅	3 мг/л ³	2,1±0,12	2,6±0,04	3,3±0,12	3,8±0,04	3,0±0,13
Растворенный кислород	не менее 4	10,8±0,24	11,3±0,24	10,5±0,94	9,1±0,4	8,1±0,4
Сульфаты	100	93±3,6	132±2,04	204±1,63	227±1,63	185±2,44
Хлориды	300	255±3,26	298±1,22	239±1,63	389±1,63	501±2,44
Магний	40	25±0,001	15±0,41	26±1,63	43±2,04	67,5±2,04
Нитриты	0,08	0,03±0,01	0,03±0,004	0,07±0,008	0,09±0,008	0,05±0,008
Нитраты	40	22±1,22	39±2,44	42±0,001	33±1,63	29±2,04
Аммоний солевой	0,5	0,32±0,008	0,24±0,004	0,4±0,012	0,65±0,03	0,48±0,02
Медь	0,001	0,0018±4,08	0,0011±2,04	0,0016±8,16	0,0032±4,08	0,0025±0,0001
Цинк	0,01	0,012±0,002	0,0070±0,0008	0,015±0,002	0,018±0,0004	0,013±0,0008
Железо общее	0,1	0,383±0,006	0,236±0,001	0,625±0,002	0,344±0,001	0,478±0,0008
Марганец	0,01	0,007±0,0004	0,0077±8,16	0,036±0,0004	0,017±0,001	0,028±0,002
<i>Parachlorella kessleri</i> У 1						
БПК ₅	3 мг/л ³	2,2±0,08	2,8±0,04	3,4±0,02	3,8±0,02	2,9±0,08
Растворенный кислород	не менее 4	10,5±0,2	11,5±0,16	10,2±0,24	9,6±0,08	9,0±0,16
Сульфаты	100	104±2,04	135±1,64	217±2,04	249±4,89	201±2,45
Хлориды	300	260±2,86	303±1,22	238±0,82	405±2,45	509±2,04
Магний	40	27±0,41	17,4±0,45	29±3,67	48±1,63	71,4±0,08
Нитриты	0,08	0,03±0,004	0,04±0,001	0,06±0,004	0,07±0	0,07±0,02
Нитраты	40	26±1,64	44±0,82	38±5,3	31±3,26	31±1,64
Аммоний солевой	0,5	0,44±0,008	0,31±0,02	0,36±0,008	0,82±0,06	0,96±0,03
Медь	0,001	0,0017±8,16	0,0016±8,16	0,0016±0,0001	0,0044±0,0002	0,0025±0,0002
Цинк	0,01	0,009±0,0004	0,0056±0,0002	0,011±0,001	0,014±0,0008	0,010±0,001
Железо общее	0,1	0,368±0,002	0,185±0,0008	0,628±0,003	0,296±0,004	0,357±0,001
Марганец	0,01	0,0059±4,08	0,0064±0,0002	0,028±0,001	0,014±0,0004	0,023±0,01
Примечание: БПК ₅ – биологическое потребление кислорода за 5 суток						

После культивирования в образцах воды штамма *Chlorella vulgaris* И 2 отмечено снижение концентрации по следующим показателям: сульфаты (в Иртыше – от 115 до 93 мг/л, в Усолке – от 169 до 132 мг/л, в Еселе – от 259 до 204 мг/л, в Акбулаке – от 305 до 227 мг/л и Нуре-Есиль – от 220 до 185 мг/л), нитраты (в Иртыше – от 37 до 22 мг/л, в Усолке – от 62 до 39 мг/л, в Еселе – от 58 до 42 мг/л, в Акбулаке – от 50 до 33 мг/л и Нуре-Есиль – от 45 до 29 мг/л), нитриты (в Иртыше – от 0,06 до 0,03 мг/л, в Усолке – от 0,08 до 0,03 мг/л, в Еселе – от 0,1 до 0,07 мг/л, в Акбулаке – от 0,18 до 0,09 мг/л и Нуре-Есиль – от 0,14 до 0,05 мг/л), соли аммония (в Иртыше – от 0,7 до 0,32 мг/л, в Усолке – от 0,55 до 0,24 мг/л, в Еселе – от 0,85 до 0,4 мг/л, в Акбулаке – от 1,25 до 0,65 мг/л и Нуре-Есиль – от 1,4 до 0,48 мг/л) и незначительно – по хлоридам (в Иртыше – от 267 до 255 мг/л, в Усолке – от 305 до 298 мг/л, в Еселе – от 241 до 239 мг/л, в Акбулаке – от 412 до 389 мг/л и Нуре-Есиль – от 510 до 501 мг/л), магнию (в Иртыше – от 30 до 25 мг/л, в Усолке – от 18 до 15 мг/л, в Еселе – от 32 до 26 мг/л, в Акбулаке – от 52,3 до 43 мг/л и Нуре-Есиль – от 81,4 до 67,5 мг/л).

Также выявлено снижение концентрации таких тяжелых металлов как: медь (в Иртыше – от 0,0026 до 0,0018 мг/л, в Усолке – от 0,0028 до 0,0011 мг/л, в Еселе – от 0,0024 до 0,0016 мг/л, в Акбулаке – от 0,0058 до 0,0032 мг/л и Нуре-Есиль – от 0,0035 до 0,0025 мг/л), цинк (в Иртыше – от 0,015 до 0,012 мг/л, в Усолке – от 0,008 до 0,007 мг/л, в Еселе – от 0,018 до 0,015 мг/л, в Акбулаке – от 0,022 до 0,018 мг/л и Нуре-Есиль – от 0,015 до 0,013 мг/л), железо (в Иртыше – от 0,500 до 0,383 мг/л, в Усолке – от 0,382 до 0,236 мг/л, в Еселе – от 0,940 до 0,625 мг/л, в Акбулаке – от 0,561 до 0,344 мг/л и Нуре-Есиль – от 0,678 до 0,478 мг/л) и марганец (в Усолке – от 0,008 до 0,0077 мг/л, в Еселе – от 0,041 до 0,036 мг/л, в Акбулаке – от 0,022 до 0,017 мг/л и Нуре-Есиль – от 0,035 до 0,028 мг/л).

После культивирования в образцах воды штамма *Parachlorella kessleri* У 1 происходило снижение концентрации поллютантов по следующим показателям: сульфаты (в Иртыше – от 115 до 104 мг/л, в Усолке – от 169 до 135 мг/л, в Еселе – от 259 до 217 мг/л, в Акбулаке – от 305 до 249 мг/л и Нуре-Есиль – от 220 до 201 мг/л), нитраты (в Иртыше – от 37 до 26 мг/л, в Усолке – от 62 до 44 мг/л, в Еселе – от 58 до 38 мг/л, в Акбулаке – от 50 до 31 мг/л и Нуре-Есиль – от 45 до 31 мг/л), нитриты (в Иртыше – от 0,06 до 0,03 мг/л, в Усолке – от 0,08 до 0,04 мг/л, в Еселе – от 0,1 до 0,06 мг/л, в Акбулаке – от 0,18 до

0,07 мг/л и Нуре-Есиль – от 0,14 до 0,07 мг/л), солей аммония (в Иртыше – от 0,7 до 0,44 мг/л, в Усолке – от 0,55 до 0,31 мг/л, в Еселе – от 0,85 до 0,36 мг/л, в Акбулаке – от 1,25 до 0,82 мг/л и Нуре-Есиль – от 1,4 до 0,96 мг/л) и незначительно – по хлоридам (в Иртыше – от 267 до 260 мг/л, в Усолке – от 305 до 303 мг/л, в Еселе – от 241 до 238 мг/л, в Акбулаке – от 412 до 405 мг/л и Нуре-Есиль – от 510 до 509 мг/л), магнию (в Иртыше – от 30 до 27 мг/л, в Усолке – от 18 до 17,4 мг/л, в Еселе – от 32 до 29 мг/л, в Акбулаке – от 52,3 до 48 мг/л и Нуре-Есиль – от 81,4 до 71,4 мг/л).

Также выявлено снижение концентрации таких тяжелых металлов как: медь (в Иртыше – от 0,0026 до 0,0017 мг/л, в Усолке – от 0,0028 до 0,0016 мг/л, в Еселе – от 0,0024 до 0,0016 мг/л, в Акбулаке – от 0,0058 до 0,0044 мг/л и Нуре-Есиль – от 0,0035 до 0,0025 мг/л), цинк (в Иртыше – от 0,015 до 0,009 мг/л, в Усолке – от 0,008 до 0,0056 мг/л, в Еселе – от 0,018 до 0,011 мг/л, в Акбулаке – от 0,022 до 0,014 мг/л и Нуре-Есиль – от 0,015 до 0,010 мг/л), железо (в Иртыше – от 0,500 до 0,368 мг/л, в Усолке – от 0,382 до 0,185 мг/л, в Еселе – от 0,940 до 0,628 мг/л, в Акбулаке – от 0,561 до 0,296 мг/л и Нуре-Есиль – от 0,678 до 0,357 мг/л) и марганец (в Иртыше – от 0,007 до 0,0059 мг/л, в Усолке – от 0,008 до 0,0064 мг/л, в Еселе – от 0,041 до 0,028 мг/л, в Акбулаке – от 0,022 до 0,014 мг/л и Нуре-Есиль – от 0,035 до 0,023 мг/л).

Следующим этапом работы было проведение оценки эффективности применения микроводорослей в очистке водоемов, загрязненных различными поллютантами в результате альголизации проб воды штаммами *Chlorella vulgaris* И 2 и *Parachlorella kessleri* У 1 (таблица 3).

Установлено, что эффективность очистки штаммом *Chlorella vulgaris* И 2 по нитратам составила от 30 до 62,5 %, по аммонийному солевому от 48 до 65,7 %, по меди от 28,6 до 60,7 %, по нитратам от 27,6 до 40,5 %, по железу от 23,4 до 38,7 %, по сульфатам от 15,9 до 25,6 %, по марганцу от 3,8 до 22,7 %, по цинку от 13,3 до 20 %, по магнию от 16,7 до 18,8 %, по хлоридам от 0,8 до 5,6 % в целом по всем водоемам.

Эффективность очистки штаммом *Parachlorella kessleri* У 1 по показателям была следующая: по нитратам от 40 до 61,1 %, по аммонийному солевому от 31,4 до 57,6 %, по железу от 26,4 до 51,9 %, по меди от 24,1 до 42,9 %, по цинку от 33,3 до 40 %, по нитратам от 29 до 38 %, по марганцу от 20 до 36,4 %, по сульфатам от 8,6 до 20,1 %, по магнию от 3,3 до 12,3 % и по хлоридам от 0,2 до 2,6 % по всем водоемам в целом.

Таблица 3 – Эффективность применения штаммов микроводорослей при очистке загрязненных вод от поллютантов различного происхождения

Показатели	<i>Chlorella vulgaris</i> И 2, %					<i>Parachlorella kessleri</i> У 1, %				
	Иртыш	Усолка	Есиль	Акбулак	Нура-Есиль	Иртыш	Усолка	Есиль	Акбулак	Нура-Есиль
Сульфаты	19,1	21,9	21,2	25,6	15,9	9,6	20,1	16,2	18,4	8,6
Хлориды	4,5	2,3	0,8	5,6	1,8	2,6	0,7	1,2	1,7	0,2
Магний	16,7	16,7	18,8	17,8	17,1	10,0	3,3	9,4	8,2	12,3
Нитриты	50,0	62,5	30,0	50,0	64,3	50,0	50,0	40,0	61,1	50,0
Нитраты	40,5	37,1	27,6	34,0	35,6	29,7	29,0	34,5	38,0	31,1
Аммоний солевой	54,3	56,4	52,9	48,0	65,7	37,1	43,7	57,6	34,4	31,4
Медь	30,8	60,7	33,3	44,8	28,6	34,6	42,9	33,3	24,1	28,6
Цинк	20,0	-	16,7	18,2	13,3	40,0	-	38,9	36,4	33,3
Железо	23,4	38,2	33,5	38,7	29,5	26,4	51,9	33,2	47,2	47,3
Марганец	-	3,8	12,2	22,7	20,0	-	20,0	31,7	36,4	34,3

Следует отметить, что штамм *Chlorella vulgaris* И 2 лучше аккумулировал биогенные элементы и главные ионы, тогда как штамм *Parachlorella kessleri* У 1 лучше аккумулировал тяжелые металлы.

Заключение

Таким образом, внесение биомассы зеленых микроводорослей *Chlorella vulgaris* И 2 и *Parachlorella kessleri* У 1 в течение 14 суток привело к снижению концентраций исследуемых поллютантов (включая те поллютанты, которые не превышают пределы ПДК), тем самым улучшая качество воды по всем показателям из групп главных ионов, биогенных элементов и тяжелых металлов. Данные штаммы микроводорослей устойчивы к высоким концентрациям в среде меди, цинка, железа и марганца, а также обладают сорбционной способностью по отношению к ним.

По гидрохимическим показателям качество воды исследованных нами водных объектов

(Иртыш, Усолка, Есиль, Акбулак, Нура-Есиль) относится к 3-му классу и характеризуется «умеренным уровнем загрязнения» водной среды. По БПК₅ качество воды реках Акбулак, Есиль, Усолка и канала Нура-Есиль оценивается как «загрязненная», в реке Иртыш – как «умеренно загрязненная». Кислородный режим воды в норме.

Поступление поллютантов в природный водоем в концентрациях, превышающих предельно-допустимые, приводит к эвтрофированию водоема и гибели водной флоры и фауны [30]. Поэтому, благодаря способности микроводорослей к сорбции тяжелых металлов и деструкции большого спектра органических соединений, появляется возможность проводить процесс эффективной биоочистки загрязненных природных, а также сточных вод от поллютантов различного происхождения, а именно от меди, железа, цинка, марганца, нитритов, солей аммония, нитратов и сульфатов.

Литература

- 1 Заядан Б.К. Роль фототрофных микроорганизмов в мониторинге, функционировании и ремедиации водных экосистем // Автореф. ... докт. биол. наук. – Алматы, 2006. – 34 с.
- 2 Cairns J., Cruber D.A. Comparison of methods and instrumentation of biological early warning systems // Water res. Bull., 1980. – Vol.16, № 2. – P. 261 – 266.
- 3 Haritonidis S., Diapoulis A. Evolution of Greek marine Phanerogam meadows over the last 20 years // Posidonia Newsletter, 1990. – V. 3. – P. 5-10.
- 4 Hutchinson T.C. Comparative studies of the phytotoxicity of heavy metals to phytoplankton and their synergistic interactions // Water Pollution Research in Canada, 1973, V. 8.. – P. 68-89.

- 5 Mirele G., Stokes P.M. Heavy metals tolerance and metal accumulation by planktonic algae // Trace Substances Env. Health. Columbia, 1976. – P. 113-122.
- 6 Rain L.C., Gaur J. P., Kumar H. D. Phycology and heavy metal pollution // Biol. Cambridge Phil. Soc., 1981. – V. 56, № 2. – P. 99-151.
- 7 Андреев Е.И., Коптева Ж.П., Занина В.В. Цианобактерии. – Киев, 1990. – 200 с.
- 8 Гусев М.В., Минеева Л.А. Микробиология: Учебник. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 1985. – 376 с.
- 9 Мур Дж.В., Рамамурти С. Тяжелые металлы в природных водах. Контроль и оценка влияния. – М.: Мир, 1987. – 285 с.
- 10 Винберг Г.Г., Остапеня П.В., Сивко Т.Н., Левина Р.И. Биологические пруды в практике очистки сточных вод. – Минск: Беларусь, 1966. – С. 231.
- 11 Wong P. T. S., Beaver J. L. Algae biomass assays to determine toxicity of metal mixtures // Hydrobiologia, 1980. – V. 74. – P. 199-208.
- 12 Строганов Н.С. Теоретические аспекты действия пестицидов на водные организмы. Экспериментальная водная токсикология. – Рига: Зинанте, 1979. – В. 5. – С. 11-38.
- 13 Таубаев Т.Т. Хлорелла. – Ташкент: Фан, 1980. – 150 с.
- 14 Ahmad M.R., Winter A. Studies on the hormonal relationships of algae in pure culture. I. The effect of indole-3-acetic acid on the bluegreen and green algae. – Planta, 1968. – V. 78. – № 3. – P. 199-208.
- 15 Brown B. T. and Rattigan B.M. Toxicity of soluble copper and other metal ions to *Elodea Canadensis* // Environmental Pollution, 1979. – V. 20. – P. 303-314.
- 16 Паршикова Т.В. Влияние поверхностно-активных веществ на рост, размножение и функциональную активность водорослей // Дис... канд. биол. наук. Донецк, 1989. – 177 с.
- 17 Zhubanova A.A., Zayadan B.K. The sustainable exploitation and utilization of water resources // Protection Sustainable Development in West China. Xi'an, 2004. – 214 p.
- 18 Сафонова Т.А. Накопление ртути и других тяжелых металлов водорослями и другими водными растениями // Поведение ртути и других тяжелых металлов в экосистемах. – Новосибирск: Изд-во ГПНТБ, 1989. – Ч. 2. – С. 64-90.
- 19 Козенко Э.П., Бабаева М.К., Мадемарова Н.А. Материалы к флоре водорослей отдельных водоемов некоторых областей Казахстана // Ботанические материалы гербария Института ботаники. – Алматы, 1987. – Вып. 15. – С. 124 – 127.
- 20 Сиренко Л.А. и др. Методы физиолого-биохимического исследования водорослей в гидробиологической практике. – Киев: Наукова думка, 1975. – 247 с.
- 21 Вассер С.П. и др. Водоросли. Справочник. – Киев: Наукова думка, 1989. – 605 с.
- 22 Лурье Ю.Ю. Аналитическая химия промышленных сточных вод. – М.: Химия, 1984. – С. 448-450.
- 23 Пименова Е.В. Химические методы анализа в мониторинге водных объектов. – Пермь: Изд-во ФГБОУ ВПО Пермская ГСХА, 2011. – 138 с.
- 24 Шпейзер Г.М., Минеева Л.А. Руководство по химическому анализу вод: Методическое пособие. – Иркутск: Иркут. ГУ, 2006. – 55 с.
- 25 Tills A.R., Alio Way B.J. The speciation of lead in soil solution of very polluted soils // Environmental Technology Letters, 1983. – V. 4. – P. 529-534.
- 26 Магарил Е.Р., Рукавишников И.В. Основы рационального природопользования: Методические указания. – Екатеринбург: УрФУ, 2012. – 44 с.
- 27 Babula P., Adam V., Opatrilova R., Zehnalek J., Havel L., Kizek R. Uncommon heavy metals, metalloids and their plant toxicity // Environ. Chem. Lett. – №6, 2008. – P. 189-213.
- 28 Сан ПИН 2.1.5.980-00 «Водоотведение населенных мест, санитарная охрана водных объектов. Гигиенические требования к охране поверхностных вод. Санитарные правила и нормы» (с изм. от 04.02.2011).
- 29 Кузьмина И.А. Содержание растворенного кислорода в воде: Методические указания. – Великий Новгород: Нов. ГУ, 2007. – 12 с.
- 30 Kvitko K.V., Iankevitch M.I., Dmitrieva I.A. The cooperation of algal and heterotrophic components in oil-polluted wastewaters // UZF-Bericht Microbiology of Polluted Aquatic Ecosystems, 1998. – Vol. 11, № 10. – P. 174 – 181.

References

- 1 Ahmad M.R., Winter A. Studies on the hormonal relationships of algae in pure culture. I. The effect of indole-3-acetic acid on the bluegreen and green algae. *Planta*, vol. 78, № 3. (1968): 199-208.
- 2 Andreyuk E.I., Kopteva ZH.P., Zanina V.V. Цианобактерии [Cyanobacteria]. (Kiev, 1990), 200.
- 3 Babula P., Adam V., Opatrilova R., Zehnalek J., Havel L., Kizek R. Uncommon heavy metals, metalloids and their plant toxicity. *Environ. Chem. Lett.*, №6. (2008):189-213.
- 4 Brown B. T. and Rattigan B.M. Toxicity of soluble copper and other metal ions to *Elodea Canadensis*. *Environmental Pollution*, vol. 20. (1979): 303-314.
- 5 Cairns J., Cruber D.A. Comparison of methods and instrumentation of biological early warning systems. *Water res. Bull.*, vol.16, № 2. (1980): 261-266.
- 6 Gusev M.V., Mineeva L.A. *Mikrobiologiya: Uchebnik [Microbiology: Textbook]*. (Moskva: Izd-vo Mosk. un-ta, 1985), 376.

- 7 Haritonidis S., Diapoulis A. Evolution of Greek marine Phanerogam meadows over the last 20 years. *Posidonia Newsletter*, vol. 3. (1990): 5-10.
- 8 Hutchinson T.C. Comparative studies of the phytotoxicity of heavy metals to phytoplankton and their synergistic interactions. *Water Pollution Research in Canada*, vol. 8. (1973): 68-89.
- 9 Kozenko E.P., Babaeva M.K., Mademarova N.A. Materialy k flore vodoroslej ot del'nyh vodoemov nekotoryh oblastej Kazahstana [Materials for the algae flora of certain reservoirs in some regions of Kazakhstan] // *Botanicheskie materialy gerbariya Instituta botaniki*. Vyp. 15. (1987): 124-127.
- 10 Kuz'mina I.A. Soderzhanie rastvorennoho kisloroda v vode: Metodicheskie ukazaniya [Content of dissolved oxygen in water: Methodical instructions]. (Velikij Novgorod: Nov.GU, 2007), 12.
- 11 Kvitko K.V., Iankevitch M.I., Dmitrieva I.A. The cooperation of algal and heterotrophic components in oil-polluted wastewaters. *UZF-Bericht Microbiology of Polluted Aquatic Ecosystems*, vol. 11, № 10. (1998): 174-181.
- 12 Lur'e Yu.Yu. Analiticheskaya himiya promyshlennyh stochnyh vod [Analytical chemistry of industrial wastewater]. (Moskva: Himiya, 1984), 448.
- 13 Magaril E.R., Rukavishnikova I.V. Osnovy racional'nogo prirodopol'zovaniya: Metodicheskie ukazaniya [Fundamentals of environmental management: Guidelines]. (Ekaterinburg: UrFU, 2012), 44.
- 14 Mirele G., Stokes P.M. Heavy metals tolerance and metal accumulation by planktonic algae. *Trace Substances Env. Health. Columbia* (1976): 113-122.
- 15 Mur Dzh.V., Ramamurti S. Tyazhelye metally v prirodnyh vodah. Kontrol' i ocenka vliyaniya [Heavy metals in natural waters. Monitoring and impact assessment]. (Moskva: Mir, 1987), 285.
- 16 Parshikova T.V. Vliyaniye poverhnostno-aktivnyh veshchestv na rost, razmozheniye i funktsional'nuyu aktivnost' vodoroslej [The effect of surfactants on the growth, degradation and functional activity of algae] // *Dis... kand. biol. nauk. (Doneck, 1989)*, 177.
- 17 Pimenova E.V. Himicheskie metody analiza v monitoringe vodnyh ob'ektov [Chemical analysis methods in monitoring water bodies]. (Perm': Izd-vo FGBOU VPO Permskaya GSKHA, 2011), 138.
- 18 Rain L.C., Gaur J. P., Kumar H. D. Phycology and heavy metal pollution. *Biol. Cambridge Phil. Soc.*, vol. 56, № 2. (1981): 99-151.
- 19 Safonova T.A. (1989) Nakopleniye rtuti i drugih tyazhelyh metallov vodoroslyami i drugimi vodnymi rasteniyami. Povedeniye rtuti i drugih tyazhelyh metallov v ehkositemah [Accumulation of mercury and other heavy metals by algae and other aquatic plants. Behavior of mercury and other heavy metals in ecosystems]. Novosibirsk: Izd-vo GPNTB, Ch. 2. (1989): 64-90.
- 20 San PiN 2.1.5.980-00 «Vodootvedeniye naselennyh mest, sanitarnaya ohrana vodnyh ob'ektov. Gigienicheskie trebovaniya k ohrane poverhnostnyh vod. Sanitarnyye pravila i normyy» [Water disposal of populated areas, sanitary protection of water bodies. Hygienic requirements for the protection of surface water. Sanitary rules and regulations]. (s izm. ot 04.02.2011).
- 21 Shpejzer G.M., Mineeva L.A. Rukovodstvo po himicheskomu analizu vod: Metodicheskoe posobie [Chemical Analysis Guide: Methodology]. (Irkutsk: Irkut. GU, 2006), 55.
- 22 Sirenko L.A. i dr. Metody fiziologo-biohimicheskogo issledovaniya vodoroslej v gidrobiologicheskoy praktike [Methods of physiological and biochemical studies of algae in hydrobiological practice]. (Kiev: Naukova dumka, 1975), 247.
- 23 Stroganov N.S. Teoreticheskie aspekty dejstviya pesticidov na vodnye organizmy. EHksperimental'naya vodnaya toksikologiya [Theoretical aspects of the action of pesticides on aquatic organisms. Experimental Water Toxicology]. Riga: Zinante, V. 5. (1979): 11-38.
- 24 Taubaev T.T. Hlorella [Chlorella]. (Tashkent: Fan, 1980), 150.
- 25 Tills A.R., Alio Way B.J. The speciation of lead in soil solution of very polluted soils. *Environmental Technology Letters*, vol. 4. (1983): 529-534.
- 26 Vasser S.P. i dr. Vodorosli. Spravochnik [Seaweed. Directory]. (Kiev: Naukova dumka, 1989), 605.
- 27 Vinberg G.G., Ostapenya P.V., Sivko T.N., Levina R.I. Biologicheskie prudy v praktike ochistki stochnyh vod [Biological ponds in the practice of wastewater treatment]. (Minsk: Belarus', 1966), 231.
- 28 Wong P. T. S., Beaver J. L. Algae biomass assays to determine toxicity of metal mixtures. *Hydrobiologia*, vol. 74. (1980): 199-208.
- 29 Zayadan B.K. Rol' fototrofnyyh mikroorganizmov v monitoringe, funktsionirovani i remediacii vodnyh ehkositem [The role of phototrophic microorganisms in the monitoring, functioning and remediation of aquatic ecosystems] // *Avtoref. ... dokt. biol. nauk. (Almaty, 2006)*, 34.
- 30 Zhubanova A.A., Zayadan B.K. The sustainable exploitation and utilization of water resources. *Protection Sustainable Development in West China*. Xi'an (2004): 214.