

УДК 504.73:631.466

**И.А. МАЛЬЦЕВА<sup>1</sup>, О.А. БАРАНОВА<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Мелитопольский гос. педуниверситет им. Б. Хмельницкого,  
ул. Ленина, 20, 72312 Мелитополь, Украина  
e-mail: maltseva\_irina@ukr.net

<sup>2</sup>Таврический гос. агротехнологический ун-т,  
пр. Б. Хмельницкого, 18, 72312 Мелитополь, Украина

## **ВОДОРΟΣЛИ ТЕХНОГЕННЫХ ЭКОТОПОВ ЖЕЛЕЗОРУДНОГО ПРОИЗВОДСТВА**

Приведены результаты исследования почвенных водорослей хвостохранилищ горно-обогатительных комбинатов железорудного производства Криворожья. Определены видовой состав, систематическая, экологическая структура и доминантные виды водорослей.

К л ю ч е в ы е с л о в а : почвенные водоросли, альгогруппировки, хвостохранилище.

### **Введение**

В процессе добычи и переработки железных руд за более чем 100 лет на Криворожье накоплены значительные объемы вскрышных пород в отвалах и отходов обогащения (хвостов) в хвостохранилищах. Заполнение хвостохранилищ всех горно-обогатительных комбинатов (ГОК) отходами обогащения осуществляется с помощью пульпопроводов, которыми отходы обогащения (т.н. текучие хвосты) транспортируются объединенным потоком из всей обогатительной фабрики. Текучие хвосты имеют вид суспензий моно-, би- и полиминеральных частиц в воде, содержимое твердой фракции составляет 4–6 %. Преобладают частицы размером от 0,001 до 3–5 мм. Общий объем хвостохранилищ ГОК на Криворожье, по разным оценкам, составляет от 4 до 6 млрд т твердой фракции и представляет значительный интерес как техногенное железорудное сырье (Євтехов, Федорова, 2004). Вместе с тем, хвостохранилища имеют значительное негативное влияние на окружающую природную среду. Ежегодные потери от фильтрации составляют 6–8 млн м<sup>3</sup> воды, что вызывает подтопление и засоление прилегающих плодородных земель. Непокрытая водой часть хвостохранилищ (более половины общей площади) является источником образования пыли, которая разносится на значительные расстояния.

Спонтанное зарастание плесов и дамб хвостохранилищ высшей растительностью, особенности их рекультивации, процессы формирования почв исследовали И.А. Добровольский, А.Т. Ефанов (1977), Н.Г. Сметана (2002) и др. Хвостохранилища железорудных комбинатов являются одними из наиболее сложных объектов рекультивации благодаря их специфической геоморфологии и водному режиму, низкому плодородию и фитотоксичности субстратов. Среди организмов, которые первыми начинают биологическое освоение промышленных отвалов различного происхождения, обычно присутствуют водоросли (Штина, Голлербах, 1976).

Цель работы – определить видовой состав, систематическую структуру и комплекс доминантов группировок водорослей на субстратах хвостохранилищ в процессе их самозарастания.

© И.А. Мальцева, О.А. Баранова, 2014

## Материалы и методы

Материалом для исследования были образцы субстратов хвостохранилищ, отобранные по общепринятой в почвенной альгологии методике на глубине 0–5 см. Физико-химические характеристики эдафотопов хвостохранилищ определяли согласно соответствующим методикам (Агрохимические ..., 1965). Водоросли изучали на четырех пробных площадях хвостохранилища Центрального ГОК. На трех из них: ПП 23, ПП 24, расположенных в месте выклинивания вод на дамбе хвостохранилища, ПП 25 – в чаше прибойной полосы, высшие растения отсутствуют. Пробная площадь 26 находится на плесе, где около 15 лет назад был высажен *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud. Содержание гумуса в слое 0–5 см субстратов дамб колеблется в диапазоне 1,2–1,5 %, рН 7,1–7,9, сумма солей (сухой остаток) – 0,066–0,074 %. Образцы субстратов хвостохранилища «Войково» Южного ГОК отбирали на десяти пробных площадях: старых дамбах (ПП 27, 28), в воронке намыва около труб сброса (ПП 29), на сыпучей части около чаши (ПП 30), на конусах намыва (ПП 31–33), в полосе прибоя (ПП 34, 35), на наносах вдоль водотоков (ПП 36). Содержание гумуса на разных исследованных участках хвостохранилища в слое 0–5 см колебалось в пределах 0,8–2,1 %, рН 7,2–7,6, сумма солей (сухой остаток) – 0,054–0,246 %. Наиболее распространенными минералами, которые формируют эдафотопы хвостохранилищ (в порядке уменьшения части), являются кварц, хлорит, гематит, магнетит, карбонаты, кумингтонит и др. (Євтехов, Федорова, 2004). В составе отходов хвостохранилища Центрального ГОК (по сравнению с Южным ГОК) содержание магнетита, гематита, амфиболов, пироксенов, биотита, граната уменьшается, а кварцита, карбонатов и хлорита – увеличивается.

Видовой состав почвенных водорослей устанавливали на основе почвенных и агаровых культур со стеклами обрастания на среде Болда (3 N BBM) (Голлербах, Штина, 1969; Костіков та ін., 2001). Доминанты определяли на основании показателей относительного обилия видов водорослей в почвенных культурах.

## Результаты и обсуждение

На исследованных пробных площадях Центрального ГОК обнаружено 16 видов водорослей: *Cyanophyta* – 6 (37,5 %), *Eustigmatophyta* – 1 (6,3 %), *Bacillariophyta* – 7 (43,7 %), *Chlorophyta* – 2 (12,5 %). Основу альгогруппировок составляли *Cyanophyta* и *Bacillariophyta*. Наиболее разнообразными *Cyanophyta* были в месте выклинивания вод, где субстрат характеризовался меньшей каменистостью (ПП 23). Группировка с доминированием *Bacillariophyta* сформировалась в части хвостохранилища, рекультивированной высаживанием *Phragmites australis*, где было выделено 5 видов. Доминантами в месте выклинивания вод были *Phormidium autumnale* (Agardh) Gomont и *Microcoleus vaginatus* (Vaucher) Gomont, субдоминантом – *Ph. inundatum* Gomont. В месте прибоя преобладала *Leptolyngbya foveolarum* (Rabenh. ex Gomont) Anagn. et Komárek, в насаждениях *Phragmites australis* – *Navicula cryptocephala* Kütz., *Luticola mutica* (Kütz.) Mann in Round et al.

Анализ видового списка водорослей по жизненным формам показал, что кроме эдафотрофных представителей в состав группировок входят амфибиальные и гидрофильные виды, составляющие 26,7 % видов. В целом, спектр жизненных форм водорослей описывается формулой: P5B3hydr3Ch1X1C1M1amph1

(16). Еще одной особенностью группировок водорослей хвостохранилища Центрального ГОК является большое многообразие ксерофитных видов Р-формы, что свидетельствует о нестабильности условий увлажнения этих экотопов.

На ПП хвостохранилища «Войково» отмечена вегетация 15 видов водорослей: *Cyanophyta* – 9 (60,0 %), *Eustigmatophyta* – 1 (6,7 %), *Chlorophyta* – 5 (33,3 %). Среди синезеленых, которые являются наиболее разнообразной группой водорослей, выявлены виды порядков *Oscillatoriales* и *Nostocales*. На втором месте по видовому богатству зеленые водоросли, представленные видами порядков *Scenedesmales*, *Trebouxiales* и *Chlorellales*. К ведущим семействам отнесены: *Phormidiaceae*, *Pseudanabaenaceae*, *Nostocaceae* – по 3 вида и *Bracteacoccaceae* – 2 вида.

На участках старых дамб (ПП 27, 28) найдено 9 водорослей: *Cyanophyta* – 6 (66,7 %), *Eustigmatophyta* – 1 (11,1 %), *Chlorophyta* – 2 (22,2 %). Ведущую роль как по видовому богатству, так и по активности развития на участках старых дамб играли *Cyanophyta*. Доминировали нитчатые узкотрихомные ксерофитные виды: *Phormidium bohneri* Schmidle, *Ph. retzii* (Agardh) Gomont, *Leptolyngbya fragilis* (Gomont) Anagn. et Komárek. Активное развитие таких видов способствует механическому скреплению частиц и уменьшению процессов дефляции, что чрезвычайно важно для уменьшения загрязнения прилегающих к хранилищу территорий. Важным с точки зрения обогащения субстратов азотными соединениями была вегетация, хотя и в небольшом количестве, азотфиксирующих видов.

Изучение субстратов, отобранных в воронке намыва около труб сброса (ПП 29), сыпучей части около чаши (ПП 30), на конусах намыва (ПП 31–33), в полосе прибоя (ПП 34, 35), наносах вдоль водотоков (ПП 36), позволило выявить 9 видов водорослей: *Cyanophyta* – 4 (44,4 %), *Eustigmatophyta* – 1 (11,2 %) и *Chlorophyta* – 4 (44,4 %). В условиях свежих наносов синезеленые уступают по видовому богатству эвкариотическим водорослям и в первую очередь – зеленым. Водоросли были найдены на 6 пробных площадях из 8 исследованных: в воронке намыва около труб сброса (ПП 29) отмечены *Nostoc paludosum* Kütz., *N. microscopicum* Carmich. sensu Elenkin, *Leptolyngbya foveolarum*, *Phormidium bohneri*, *Bracteacoccus aggregatus* Tereg, *Scotiellopsis rubescens* Vinatz., *Myrmecia biatorellae* (Tscherm.-Woess et Plessl) B. Petersen, *Chlorella minutissima* Fott et Nováková; на сыпучей части около чаши (ПП 30) – *Bracteacoccus aggregatus*; на конусе намыва (ПП 32) – *Phormidium bohneri*, *Eustigmatos magnus* (B. Petersen) Hibberd, *Bracteacoccus aggregatus*; в полосе прибоя и на наносах вдоль водотоков (ПП 34–36) – *B. aggregatus*. В воронке намыва активно развивались и формировали доминантный комплекс *Nostoc paludosum*, *Bracteacoccus aggregatus* и *Leptolyngbya foveolarum*.

С точки зрения экологической характеристики видов, которые заселяют субстраты хвостохранилища, преобладают ксерофитные виды Р-формы. Общий спектр имеет вид: Р6Сh4Х2СF3(15).

Особенностью группировок водорослей на субстратах хвостохранилища «Войково» является преобладание синезеленых и зеленых, отсутствие диатомовых и желтозеленых водорослей. Важным с точки зрения формирования первичного плодородия эдафотопов хвостохранилища является включение в

доминирующие группировки азотфиксирующих представителей синезеленых водорослей.

### Заключение

Установлено, что водоросли являются инициаторами сингенеза растительности на субстратах хвостохранилищ Криворожья. Видовое богатство отдельных сообществ водорослей хвостохранилищ колеблется от 1 до 9 видов, а на некоторых пробных площадях водоросли отсутствуют. Эдафотопы исследованных хвостохранилищ характеризуются разным экологическим потенциалом. Отличия в гранулометрическом составе, показателях рН, содержимом элементов питания, а также в минералогическом составе создали разные условия формирования сообществ водорослей. Сравнение видового состава альгогруппировок хвостохранилища «Войково» Южного ГОК и Центрального ГОК на основании коэффициента Жаккара показало, что они имеют незначительное сходство – всего 11,5 %.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Агрехимические* методы исследования почв / Под ред. А.В. Соколова, Д.Л. Аскинази. – М.: Наука, 1965. – 436 с.
- Голлербах М.М., Штина Э.А.* Почвенные водоросли. – Л.: Наука, 1969. – 143 с.
- Добровольский И.А., Ефанов А.Т.* Хвостовые поля горнообогатительных комбинатов Криворожского бассейна и некоторые вопросы их рекультивации // Вопросы степного лесоведения и охраны природы: Комплексная экспедиция ДГУ – лесному хозяйству. – Донецк: ДГУ, 1977. – С. 14–16.
- Євтехов В.Д., Федорова І.А.* Мінералогія техногенних залізрудних покладів Криворізького басейну // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Сер. Гірничо-геологічна. Вип. 81. – Донецьк: ДонНТУ, 2004. – С. 26–29.
- Костіков І.Ю., Романенко П.О., Демченко Е.М. та ін.* Водорості ґрунтів України (історія та методи дослідження, система конспект флори). – К.: Фітосоціоцентр, 2001. – 300 с.
- Сметана М.Г.* Синтаксономія степової та рудеральної рослинності Криворіжжя. – Кривий Ріг: І.В.І., 2002. – 132 с.
- Штина Э.А., Голлербах М.М.* Экология почвенных водорослей. – М.: Наука, 1976. – 143 с.

Подписал в печать С.П. Вассер

*I.A. Maltseva<sup>1</sup>, O.A. Baranova<sup>2</sup>*

<sup>1</sup>Bogdan Khmelnytsky Melitopol Pedagogical University,  
20, Lenina St., 72312 Melitopol, Ukraine  
e-mail: maltseva\_irina@ukr.net

<sup>2</sup>Tavriya State Agrotechnical University,  
18, B. Khmelnytsky St., 72312 Melitopol, Ukraine

### ALGAE OF MAN-MADE ECOTOP OF IRON ORE PRODUCTION

The results of the study of soil algae tailings dumps of mining complex of iron ore production in Krivoy Rog are presented. Species composition, taxonomic structure and dominating species of algae we revealed.

**K e y w o r d s :** soil algae, algae group, tailing dump.