

Л. Б. НЕГАНОВА, М. В. ПАСЫНКОВА

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВОДОРΟΣЛЕЙ ДЛЯ ИНДИКАЦИИ ПРИЕМОМ ОКУЛЬТУРИВАНИЯ ЗОЛОТВАЛОВ

В процессе окультуривания бесплодных субстратов промышленных отвалов методами фитомелиорации немаловажная роль принадлежит формирующимся на них микробиоценозам. Микроорганизмы и водоросли, являясь первыми поселенцами на бесплодных субстратах, участвуют в образовании и накоплении на них первичного гумуса (Голлербах и Штина, 1969). Неоднократно отмечалась также способность водорослей реагировать на изменение экологических условий (Tchan, 1959; Штина, 1970; Куликова, 1965; Носкова, 1967; Голлербах и Штина, 1969). На различных промышленных отвалах наблюдались изменения водорослевых группировок в зависимости от свойств и состава субстрата (Неганова, 1975; Штина, 1970; Штина и др., 1971). Можно считать, что сообщества водорослей, формирующиеся на золотвалах и подобных им нетоксичных субстратах, могут быть индикаторами их свойств (как и сообщества, формирующиеся на почвах). Отдельные виды водорослей, очевидно, можно использовать в качестве тест-культуры для оценки состояния субстрата.

Водоросли как тест-объекты применяются при изучении токсичности почв (Маршунова, 1963), остаточной токсичности почв после внесения гербицидов (Atkins а. Tchan, 1967; Круглов, 1970, 1972; Балезина, 1972), токсичности торфов (Рубилина, 1967). Имеются попытки использовать водоросли в качестве индикаторов на элементы питания, содержащиеся в почве и вносимые с удобрениями (Tchan, 1956; Cullimore, 1965, 1966, 1968; Sălăgeanu, 1968; Некрасова, 1969, 1972). Представляют интерес и данные об отзывчивости некоторых видов водорослей на изменение свойств субстрата золотвалов. Поэтому мы попытались изучить реакцию водорослей на свойства субстрата и возможность использования их для индикации. Работа выполнялась в 1972—1974 гг. на кафедре ботаники Кировского сельскохозяйственного института.

Использован алгологический микровегетационный метод (Некрасова, 1969), согласно которому водоросли выращивались на мембранных фильтрах, помещенных на субстрат. Инокулят водо-

рослей для опытов выращивался на среде Данилова № 72. За день до начала опыта питательную среду сливали, а в колбу с водорослями наливали дистиллированную воду.

Субстрат (20 г), просеянный через сито с отверстиями 1 мм, помещали в чашки Петри и увлажняли до консистенции сметаны. Затем поверхность выравнивали, на ровную поверхность раскладывали по 4 фильтра в каждую чашку (в соответствии с четырехкратной повторностью) с нанесенной суспензией испытуемых водорослей. Фильтры накладывали так, чтобы между фильтром и субстратом не было воздуха. Влажность ежедневно доводили до первоначальной величины. Освещение проводилось лампами дневного света, интенсивность 1300 лк при температуре +25, +28° С.

Первоначальная плотность суспензии определялась на фотоэлектрокалориметре ФЭК-М (Владимирова и Семеновко, 1962) и выражалась в относительных единицах 0,18. По истечении инкубационного срока (для зеленых 9—10, сине-зеленых — 24 дня) водоросли, выросшие на поверхности фильтров, смывали в мерные колбы емкостью 50 мл. Сине-зеленые водоросли, снятые с фильтра, предварительно разбивали на гомогенизаторе до однородной суспензии. Учет выросшей на фильтрах массы водорослей проводили на фотоэлектрокалориметре по плотности суспензии.

Рекогносцировочный лабораторный опыт по изучению роста водорослей в различных вариантах окультуривания промышленных отвалов был проведен в 1972 г. на золе с золоотвала Кировской ТЭЦ-1, работающей на торфе (табл. 1).

Таблица 1

Реакция водорослей на изменение условий произрастания

Вариант	Количество клеток (млн. на 1 фильтр)					
	<i>Hormidium flaccidum</i>	t	<i>Nostoc muscorum</i>	t	<i>Chlorella minutissima</i>	t
Контроль (чистая зола)	8,0±0,1		135,0±1,98		57,5±2,02	
Зола+почва	15,1±0,12	45,4	178,0±8,2	5,1	71,0±2,48	4,23
Зола+торф	15,4±0,12	47,4	181,1±4,49	9,4	104,0±2,85	13,3
Зола+N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	12,6±0,13	28,0	146,0±2,12	3,8	67,5±1,42	4,1
Звля+N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	14,6±0,14	38,4	152,0±2,46	5,4	68,5±2,72	3,95

В схему опыта входило испытание внесения торфа, почвы и удобрений, подобно полевым опытам, проведенным на золоотвалах Нижнетуриной и Южнокузбасской ГРЭС (Хамидулина, 1970), но для условий опыта почву и торф добавляли из расчета 2 г на 20 г зола. В конечном итоге лабораторный опыт включал следующие варианты: зола +10% почвы, зола +10% торфа, зола +N₃₀P₃₀K₃₀, зола+N₆₀P₆₀K₆₀. Из минеральных удобрений вносились азотнокислый аммоний, суперфосфат и хлористый калий.

Почва, использованная в опытах, светло-серая, среднесуглинистая, насыщенность оснований (V) — 91,6%, содержание гумуса — 2,45%, подвижных элементов питания растений P_2O_5 — 6,25 и K_2O — 10,0 мг/100 г, рН почвы — 6,0, торф — рН 6,3.

В качестве тест-объектов взяты одноклеточная зеленая водоросль *Chlorella*, нитчатая сине-зеленая *Nostoc* и нитчатая зеленая *Normidium*. По данным табл. 1 видно, что все виды водорослей положительно отзываются на улучшение условий произрастания. Нитчатые водоросли *Normidium* и *Nostoc* одинаково отозвались на внесение почвы и торфа, увеличив количество клеток в 1,5 раза по сравнению с чистой золой. Развитие одноклеточной водоросли *Chlorella* особенно способствовала добавка торфа в золу, что увеличило количество клеток в 1,8 раза по сравнению с контролем. Добавка почвы в зольный субстрат лишь незначительно способствовала росту одноклеточных водорослей. Внесение удобрений в различных дозах также несколько стимулировало развитие водорослей.

Для более детального изучения вопроса об отзывчивости водорослей на изменение условий среды в 1973 г. проведена вторая серия лабораторных опытов, для которой взята свежая бесплодная зола с золоотвалов Нижнетуринской (НТ ГРЭС) и Южнокузбасской (ЮК ГРЭС) станций и увеличен набор тест-объектов, *Chlorella* исключена как слабореагирующая на изменение условий.

Указанные объекты находятся в разных физико-географических зонах. Золоотвал Нижнетуринской ГРЭС площадью около 70 га находится в Свердловской области. Образован он золой бурого угля Богословского месторождения. Возраст отвала в момент взятия образцов 14 лет, работы по фитомелиорации отвала начаты в 1959 г. Золоотвал Южнокузбасской ГРЭС площадью около 20 га расположен в Кемеровской области в Горной Шории, сложен золой каменных углей Кондомского и Томь-Усинского каменноугольных районов Кузнецкого бассейна. Возраст отвала в момент взятия образцов 9 лет, работы по фитомелиорации отвала начаты в 1964 г. Зола углей — бесструктурный субстрат с механическим составом от супеси (зола бурого угля) до среднего суглинка (зола каменного угля), в основном представленный фракциями песка и пыли, которые не содержат в доступной форме элементов питания растений. Это позволяет отнести золу по солевому режиму к бедным субстратам. По химическому составу зола углей в общих чертах соответствует алюмосиликатным образованиям (Пасынкова, 1974).

В качестве тест-объектов использовались водоросли: из зеленых — *Scenedesmus quadricauda*, *Normidium flaccidum*, *Actinochloris* sp., из желто-зеленых — *Pleurochloris* sp., из сине-зеленых — *Nostoc muscorum* и *Phormidium uncinatum*. Последняя погибла во всех вариантах опыта через несколько дней после нанесения ее на фильтры. Можно считать, что для субстратов техногенного происхождения, бедных органическим веществом, эта водоросль

Реакция водорослей на изменение свойств субстратов

Вариант	Количество клеток (в млн. на 1 фильтр)									
	<i>Scenedesmus quadricauda</i>	t	<i>Normidium flaccidum</i>	t	<i>Pleurochloris</i> sp.	t	<i>Actinochloris</i> sp.	t	<i>Nostoc muscorum</i>	t
Нижнетуринская ГРЭС										
Контроль (чист. зола)	7,32±0,62	—	5,05±0,33	—	3,54±0,09	—	6,45±0,26	—	109,57±4,79	—
Зола+почва	18,32±0,72	11,6	12,3±0,28	16,8	5,85±0,07	20,2	11,8±0,55	8,7	120,82±1,68	2,2
Зола+N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	29,12±1,17	15,5	13,05±0,88	8,5	4,01±0,08	12,2	9,54±0,80	3,7	112,37±2,67	0,5
Зола+N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	—	—	13,77±0,33	18,6	5,27±0,07	15,11	0,5±0,24	11,5	116,65±2,67	1,2
Южнокузбасская ГРЭС										
Контроль (чист. зола)	5,44±0,32	—	5,05±0,33	—	3,25±0,07	—	4,65±0,37	—	30,75±3,53	—
Зола+почва	13,5±0,92	8,3	12,2±0,38	14,2	4,79±0,08	14,2	7,10±0,31	5,1	115,18±2,72	5,4
Зола+N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	16,5±0,83	12,0	13,05±0,43	12,9	4,35±0,06	11,9	6,0±0,46	2,3	98,4±2,76	1,8
Зола+N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	—	—	13,78±0,52	12,5	4,42±0,07	11,8	6,95±0,41	4,18	106,92±2,3	3,8

Примечание. Критерий существенности t при уровне вероятности 0,95 t_{0,95}=3,2.

Таблица 3
Реакция водорослей на изменение свойств субстрата после равных приемов его фитомелиорации

Вариант	Количество клеток (млн. на 1 фильтр)					
	Normidium flaccidum	t	Pleurochloris sp.	t	Nostoc muscorum	t
Золотова Нижнегуринской ГРЭС						
Чистая зола с действующего золотвала	3,65±0,28	—	3,05±0,06	—	102,65	—
Чистая зола с опытного участка (возраст отвала 14 лет)	4,25±0,53	1,0	3,18±0,06	1,55	109,75±1,59	3,3
Посев трав с 1961 г.:						
а) полив сточными водами	4,35±0,28	1,8	3,18±0,06	1,55	109,75±1,55	3,3
б) внесение NPK	5,05±0,28	3,5	3,19±0,06	1,66	125,89±2,08	9,1
в) зола с 2-см почвенным покрытием	5,65±0,14	6,4	6,49±0,05	44,1	139,2±2,78	11,5
Посев трав с 1959 г.						
а) зола с 2-см почвенным покрытием	8,4±0,68	10,3	11,44±0,17	46,6	202,75±4,15	22,8
Золотова Южнокузбасской ГРЭС						
Чистая зола с действующего золотвала	3,0±0,1	—	2,99±0,08	—	105,5±2,68	—
Чистая зола с опытного участка (возраст отвала 9 лет)	3,3±0,23	1,2	3,25±0,08	2,36	104,85±2,65	—
Посев трав с 1964 г.:						
а) внесение NPK, костер	3,8±0,02	8,0	3,41±0,17	2,36	122,4±0,78	6,7
б) зола с 2-см почвенным покрытием	8,35±0,34	15,1	6,19±0,12	22,5	143,4±1,62	6,5
в) внесение NPK, люцерна	11,1±0,89	9,0	6,45±0,07	34,5	143,4±1,62	12,1
г) зола с 2-см почвенным покрытием, люцерна	8,95±0,79	7,5	15,04±0,17	66,9	138,48±1,35	10,8

как индикационный организм не может быть использована. Рост остальных водорослей наблюдается во всех вариантах опыта на обоих субстратах (табл. 2). Это подтверждает нетоксичность зол углей. Получена общая хорошая отзывчивость всех изучаемых видов водорослей на обогащение субстратов. Особенно чуткими индикаторами меняющихся условий среды показали себя *Normidium*, *Scenedesmus* и *Pleurochloris*.

В третьей серии опытов изучалась отзывчивость водорослей на изменения свойств субстратов, происходящие непосредственно на золоотвалах в результате их фитомелиорации. С этой целью были взяты образцы золы с названных объектов в различных вариантах опыта под различными культурами. В качестве тест-культуры использовали водоросли *Normidium flaccidum* и *Pleurochloris* sp., показавшие хорошую отзывчивость на изменение условий произрастания во второй серии опытов, и *Nostoc muscorum* — доминант водорослевого сообщества на этих золоотвалах. Наиболее сильно реагировали водоросли на органическое покрытие (табл. 3), несколько слабее — на внесение минеральных удобрений. Разница по вариантам наблюдалась и визуально, особенно хорошо она проявлялась у *Pleurochloris* и *Normidium* и слабее у *Nostoc*.

Сравнивая рост водорослей и высших растений, можно отметить сходство реакции исследуемых организмов на улучшение условий произрастания. Так, на чистой золе водоросли, как и высшие растения, показали слабый рост. Нанесение на поверхность золы слоя почвы, а также внесение минеральных удобрений заметно способствовали росту водорослей, что отмечено и у высших растений в подобных вариантах. На более молодом золоотвале Южнокузбасской ГРЭС реакция водорослей на улучшение свойств субстрата несколько выше, чем на золоотвале Нижнетуринской ГРЭС, что, по-видимому, можно объяснить более благоприятными водно-физическими свойствами золы каменного угля по сравнению с золой бурого угля. Только на золе с поливом сточными водами развитие водорослей проходило как и на чистой золе, тогда как высшие растения, появившиеся в процессе самозаращения и фитомелиорации, развиты заметно лучше. Возможно, накопление в субстрате в результате привноса сточными водами битума, канифоли и др. веществ неблагоприятно для развития водорослей.

Изученные виды водорослей в целом оказались чуткими индикаторами меняющихся условий произрастания и могут быть использованы как тест-организмы при изучении свойств субстратов техногенного происхождения.

ЛИТЕРАТУРА

Балезина Л. С., 1972. Об использовании водорослей для оценки токсичности почвы при применении различных пестицидов. В сб. «Методы изучения и практического использования почвенных водорослей». Киров.

Владимирова М. Г., Семенов В. Е., 1962. Интенсивная культура одноклеточных водорослей. М.

- Голлербах М. М., Штина Э. А., 1969. Почвенные водоросли. Л.
- Круглов Ю. В., 1970. Альгологический метод определения атразина в почве. «Изв. АН СССР. Сер. биол.», № 1.
- Круглов Ю. В., 1972. Микроскопические водоросли как индикаторы на загрязнение почвы гербицидами. В сб. «Методы изучения и практического использования почвенных водорослей». Киров.
- Куликова Р. М., 1965. Изменение флоры водорослей при окультуривании торфяно-болотной почвы. «Ботанич. журн.», 50, № 3.
- Липницкая Г. П., Круглов Ю. В., 1967. Действие гербицидов триазинового ряда на состав почвенных водорослей. «Тр. Кировск. сельхоз. ин-та», т. 20, вып. 40.
- Маршучнова Г. Н., 1963. Периодическая токсичность почв. Автореф. канд. дис. Л.
- Неганова Л. Б., 1975. Развитие почвенных водорослей на промышленных отвалах как первый этап их зарастания. Канд. дис. Киров.
- Некрасова К. А., 1969. Использование зеленых водорослей в оценке обеспеченности почвы азотом. «Ботанич. журн.», 54, № 1.
- Некрасова К. А., 1972. Использование водорослей как индикаторов почвенного плодородия. В сб. «Методы изучения и практического использования почвенных водорослей». Киров.
- Носкова Т. С., 1967. Сообщества водорослей некоторых почв Кировской области. «Тр. Кировск. сельхоз. ин-та», т. 20, вып. 40.
- Пасынкова М. В., 1974. Зола углей как субстрат для выращивания растений. В сб. «Растения и промышленная среда», вып. 3. Свердловск.
- Рубилина Г. Е., 1967. Зеленые водоросли — индикаторы токсичности торфа при приготовлении торфяных удобрений. «Тр. Кировск. сельхоз. ин-та», т. 20, вып. 40.
- Фирсова В. П., Кулай Г. А., 1966. Физико-химические и микробиологические свойства золы отвалов тепловых электростанций Свердловской области. В сб. «Растительность и промышленные загрязнения. Охрана природы на Урале», вып. 5. Свердловск.
- Хамидулина М. В., 1970. Консервация поверхности золоотвала Южнокузбасской ГРЭС. В сб. «Растительность и промышленные загрязнения». Свердловск.
- Штина Э. А., 1970. Развитие водорослей на промышленных отвалах. В сб. «Растительность и промышленные загрязнения».
- Штина Э. А., Шилова И. И., Неганова Л. Б., 1971. Начальный этап сингенеза растительности на шламовых отвалах алюминиевых заводов Урала. «Экология», № 4.
- Atkins C. A. a Tchan V. T., 1967. Study of soilalgae VI Bioassay of atrazine and the prediction of its toxicity in soils using an algal growth method «Plant and soil», 27, N 3.
- Cullimore D. R., 1965. Studies on the algal bioassay of soil potassium using Tchan s methods. «Plant and Soil», 23, N 1.
- Cullimore D. R., 1966. Influence of ionic phosphate diffusion in the soil on the growth of Hormidium flaccidum. «Nature» (Engl). 209, N 520.
- Cullimore D. R., 1968. Notes on an inhibition effect on soil algae during assay for phosphorus using Tchan s method. «Plant and soil», 28, N 3.
- Salageanu N., 1968. Considerations on the recognition of mineral salt requirements of plants on certain soils by means of the alga Chlamydomonas reinhardii. «Rev roumaine biol. Ser. bot», 13, N 3.
- Tchan V. T., 1956. Estimation of nutrient elements in soil by algae Principle of the method. «Rapports volume VI Congres International de la sucuse du Sol». Paris.
- Tchan V. T., 1959. Study of soil alge III. Bioassay of soil fertility by algae. «Plant and Soil», 10, N 3: