

Г.Г.КУЗЯХМЕТОВ, Н.Е.ДУБОВИК

**МЕТОДЫ ИЗУЧЕНИЯ
ПОЧВЕННЫХ
ВОДРОСЛЕЙ**

УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ

ИФЯ ЭЦБЗ

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
БАШКИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Г.Г. Кузяхметов, И.Е.Дубовик

МЕТОДЫ ИЗУЧЕНИЯ ПОЧВЕННЫХ
ВОДОРΟΣЛЕЙ

Учебное пособие

Уфа 2001

Кузяхметов Г.Г., Дубовик И. Е. Методы изучения почвенных водорослей: Учебное пособие. – \ Изд.-е Башкирск. ун-та. – Уфа, 2001. – 60 с.
ISBN 5-7477-0560-1

Рассматриваются основные методы изучения почвенных водорослей: полевые, лабораторные, анализ экспериментального материала с использованием современных статистических методов. Показаны методы использования почвенных водорослей для целей индикации и мониторинга окружающей среды. Особое внимание уделено методам анализа количественных показателей альгофлоры, структуры и динамики альгоценозов.

Предназначено для студентов университетов, аспирантов и специалистов, занимающихся биологией почв.

Рецензенты:

кафедра ботаники Башкирского государственного педагогического университета;

член-кор. АН РБ, доктор биологических наук, профессор Ф. Х. Хазиев,

ISBN 5-7477-0560-1

© Кузяхметов Г.Г., Дубовик И.Е., 2001 г.
© Башкирский университет, 2001 г.

ВВЕДЕНИЕ

Водоросли являются важной составной частью почвенной биоты. Поселяясь на недоступных для растений местах и в промежутках между ними, они в полном смысле слова осуществляют "растекание живого вещества" (по В. И. Вернадскому) по поверхности земли, увеличивают тем самым количество аккумулированной зеленым веществом солнечной энергии. Водоросли играют положительную роль в мобилизации полезной микрофлоры. Большая часть их массы используется разнообразными деструкторами, извлекающими из их тел не только энергетический материал, но и ряд физиологически активных веществ, что усиливает общую биологическую активность почвы, повышает её плодородие. Часть водорослевой массы используется почвенными животными, что способствует удлинению цепей питания. Чрезвычайно важна роль водорослей в улучшении физико-химических свойств почвы, в поддержании баланса элементов питания (Штина, 1990).

Почвенные альгоценозы – это флористически, экологически и ценологически обособленная группа водорослей, характеризуется своеобразной структурой, изменяющейся во времени и в пространстве. Водоросли занимают определенные экологические ниши, являются составной частью почвенных биоценозов.

Значение изучения почвенных водорослей в последнее время начинает резко возрастать в связи с интенсификацией сельскохозяйственного производства, изменением и загрязнением экосистем, биосферы в целом. Необходимо знать закономерности, по которым формируются и функционируют почвенные альгоценозы в естественных экосистемах, определить происходящие в них изменения и наметить пути их регулирования.

В современных почвенно-альгологических исследованиях для характеристики сообществ почвенных водорослей используются понятия и принципы, разработанные в фитоценологии.

Из-за специфических особенностей объектов исследования в почвенной альгологии используются и почвенно-микробиологические методы.

Изучение водорослей проводится в несколько этапов:

- 1) полевые исследования;
- 2) камеральная обработка почвенных образцов, поверхностных разрастаний водорослей;
- 3) анализ экспериментальных данных.

I. МЕТОДИКА ПОЛЕВЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ.

В содержание полевых исследований входят маршрутные, стационарные наблюдения и сборы почвенных образцов для качественного и количественного анализов. Перед выходом в поле четко должны быть определены содержание, цель и задачи исследований. Неукоснительным правилом является аккуратное ведение записей, этикетирование образцов почвы.

Для каждого образца рекомендуется следующая форма записи:

1. № почвенного образца. Дата
2. Местонахождение: область, край, республика, район, населенный пункт, хозяйство
3. Пункт привязки: расстояние и направление от населенного пункта или приметного географического пункта или знака
4. Рельеф: макро-, мезо-, микрорельеф... Экологизация (крутизна и направление склона).
5. Растительность: тип, класс, фитоценоз, сельскохозяйственная культура Общее проективное покрытие в %% Состав растений с указанием проективного покрытия в баллах фазы
6. Моховой покров, площадь покрытия, высота, видовой состав мхов.
7. Дернина (мощность, связность), процент задернения....
8. Подстилка, вегет. %, покрытия поверхности почвы...., мощность (в см).....
9. Почва: тип, подтип...., мощность, механический состав, полевая влажность Агрохимические показатели: pH, содержание гумуса, азота, фосфора, калия.
10. Режим увлажнения (атмосферное, грунтовое) Глубина грунтовых вод
11. Для агроэкосистем: севооборот, предшественник, система обработки почвы, система удобрений, дозы, применяемые пестициды, сроки их внесения ...

I.1. Маршрутные исследования.

Пробные площадки для сбора почвенных образцов закладываются в пределах естественных фитоценозов, размер их обычно не превышает 100 кв. м, а в полевых сообществах он может колебаться в значительных пределах. Выбранный размер площадки должен оставаться постоянным за весь период исследования. Площадки следует закладывать с учетом того, чтобы полностью охарактеризовать изучаемый фитоценоз и почву, исключая влияние посторонних факторов (вдали от дорог, от

опушек, лесополос, сооружений, промышленных коммуникаций и т. д.), если они не входят в задачу исследований. На пробной площадке делают геоботаническое описание.

I.1.1. Осмотр и описание участка.

Описание участка проводится по приведенной выше схеме. Для каждого почвенного образца следует указать общий вид поверхности, элементы нанорельефа, наличие подстилки, её толщину, под каким растением или на каком расстоянии от него взят образец. Необходимо измерить температуру поверхности почвы и на глубине взятия образца, указать степень увлажнения почвы, условия погоды накануне и во время взятия образца. Для почвенных анализов с учетной площадки необходимо дополнительно брать в пакеты 400-500 г почвы, а для определения полевой влажности следует брать пробы в бюксы параллельно со сбором образцов для количественного учета.

I.1.2. Учет поверхностных разрастаний водорослей.

Для выявления разрастаний водорослей на пробной площадке и ее окрестностях следует тщательно осмотреть поверхность почвы. Они могут иметь вид общего позеленения почвы, зеленых, синезеленых, коричневых, черных налетов, пятен, пленок. Следует иметь в виду то, что во влажную погоду макроскопические колонии многих синезеленых водорослей набухают и становятся хорошо заметными.

При наличии макроскопических разрастаний необходимо установить их связь с рельефом, со степенью покрытия растительности, подстилки, к каким растениям приурочены разрастания и т. д. Далее следует определить степень покрытия почвы разрастаниями водорослей, что определяется глазомерно или путем закладывания сетки с размером ячеек 10x10 см. Для учета массы водорослевых разрастаний их собирают с определенной площади, чаще всего с 100 кв. см и взвешивают в лабораторных условиях. Количество таких площадок на участке в зависимости от характера распределения разрастаний может быть до 5-10. Собранные слоевища помещают в бюксы или пакеты. Трудно отделяемые от почвы налеты и пятна водорослей осторожно снимают вместе с почвой и, стараясь сохранить в целостности поверхность, покрытую водорослями, переносят в бюксы или в чашки Петри. Следует соблюдать осторожность и при транспортировке этих образцов.

1.2. Стационарные исследования.

Стационарные исследования проводятся с целью изучения динамики развития водорослей, влияния отдельных факторов на функциональные характеристики альгоценозов. Для стационара по возможности выбирают однородный участок с типичной для региона растительностью и почвой. Размер площадок и их повторность определяются задачами исследований. На выбранном участке следует сделать подробное описание по приведенной выше схеме, дать морфологическое описание почвы по разрезу. На стационаре ведутся фенологические наблюдения, следят за изменениями погоды. По мере возможности необходимо изучать гидротермический режим не только почвы во время взятия образцов, но и приземного слоя воздуха в течение всего периода наблюдений.

1.3. Методика отбора проб для качественного анализа.

При отборе проб для изучения видового состава следует соблюдать стерильность. Поэтому перед выходом в поле готовят стерильные инструменты и пакеты. Стерилизация в полевых условиях может проводиться многократным втыканием инструмента в исследуемую почву. Почвенные пробы берут в поверхностном слое 0-1 см в 8-10 точках пробной площадки, помещают их в один пакет для последующего усреднения. В лесной почве глубина отбора проб должна быть не менее 10-15 см /Алексахина, Штина, 1984/. Отдельно берется проба из подстилки или опада. Помещенные в бумажные пакеты образцы доводятся до воздушно-сухого состояния и хранятся до анализа в лабораторных условиях.

При изучении вертикальной структуры альгоценозов делают почвенный разрез и берут пробы по всем генетическим горизонтам, а в гор. А по нескольким слоям. Из проб, взятых по трем стенкам разреза составляют усредненный образец.

1.4. Методика отбора проб для количественного учета.

Пробы для количественного учета берут специальным буриком объемом 1-3 см³ (Штина и др., 1981) в тех же местах, где были взяты пробы для качественного анализа. Соблюдение особой стерильности обязательно, т.к. взятые образцы должны анализироваться немедленно или фиксироваться 4%-ным формалином. Формалин предварительно необходимо нейтрализовать, добавляя к концентрированному его раствору насыщенный раствор CaCO₃.

Пробы берут в слое 0-1 см, здесь наибольшая концентрация водорослей-фотосавтотрофов. При отборе проб из глубоких слоев почвы бурики забивают в горизонтальном положении на стенку разрезов, отмечая глубину слоя почвы в см от поверхности. Количество проб на учетную площадку и составление из них смешанного образца зависят от степени неравномерности распределения водорослей. Исходя из ресурса времени и объема исследования, на целинных почвах следует брать не менее 10 индивидуальных проб на учетную площадку с последующим анализом каждой в отдельности. На пахотных почвах, менее гетерогенных по сравнению с целинными, можно отбирать усредненные образцы из более, чем 10 индивидуальных проб. Для статистической обработки необходимо не менее 4-5 смешанных образцов, отобранных на заложенных в поле учетных площадках или опытных делянках.

На целине надежные результаты дает отбор смешанных образцов на небольших площадках размером 0.25 -- 1.0 м², заложенных в пределах пробной площади 10x10 м. Количество площадок должно быть не менее пяти, смешанный образец на одну площадку составляется из 10-20 индивидуальных проб.

Для каждого исследуемого типа почвы и растительности желательно, а на стационаре это необходимо, отбирать параллельно индивидуальные и усредненные образцы для последующего анализа с тем, чтобы показать репрезентативность выборки и правомерность усреднения проб. Во всех случаях на площадках пробы берут способом случайного отбора или в шахматном порядке. При этом в пробы не должны попадать макроскопические разрастания, они отбираются отдельно (см. выше).

2. МЕТОДИКА ИЗУЧЕНИЯ ВИДОВОГО СОСТАВА ВОДОРосЛЕЙ.

2.1. Прямое микроскопирование почвенного образца.

Поверхностные разрастания водорослей просматриваются под микроскопом в свежих образцах, что позволяет выявить комплекс доминирующих видов. Для этого в капле воды готовят препарат из налета водорослей, и, просматривая под микроскопом, отмечают обилие выявленных видов. При прямом микроскопировании обычно удается идентифицировать небольшое число видов. Однако они представляют активно вегетирующую часть популяций почвенных водорослей и поэтому большинство из них включается в состав доминантов и субдоминантов.

2.2. Почвенные культуры со "стеклами обрастания".

Почвенные или чашечные культуры со "стеклами обрастания" отличаются простотой и максимальным приближением к природным условиям (Голлербах, Штина, 1969), получили широкое распространение в почвенно-альгологических исследованиях. Почвенный образец просеивается стерильно через сито с отверстием 3 мм, тщательно перемешивается и навеска в 30-40 г помещается в стерильную чашку Петри. Стерилизацию сита и других инструментов можно проводить нагреванием в сушильном шкафу. Почву в чашках увлажняют дистиллированной водой до 80-100% от полной влагоемкости и на влажную поверхность помещают стерильные покровные стекла таким образом, чтобы между стеклом и почвой оставались небольшие свободные пространства — "влажные камеры". Чашки этикетировать и ставят в доминошат или на подоконник, затекая их летом от чрезмерного нагрева солнечными лучами калейкой. По мере высыхания почву в чашках увлажняют, не допуская загрязнения поверхности покровных стекол и переувлажнения.

Просмотр стекол, обросших водорослями, начинают через 2 недели и продолжают в течение месяца. За этот период просматривают 2-3 стекла. Покровное стекло берут стерильным пинцетом, удаляют прилипшие частицы почвы и готовят препарат, помещая покровное стекло с его нижней, обросшей водорослями поверхностью в каплю воды на предметном стекле. Просмотр препарата ведется при помощи объектива на 40^x и окуляра 7^x. Следует иметь в виду то, что водоросли развиваются преимущественно по краям покровного стекла. Поэтому необходимо тщательно просматривать краевые полосы (трансекты) по четырем сторонам стекла. Для учета обилия отмечают встречаемость видов на полосках. Применяется следующая шкала обилия:

- 6 баллов — вид образует макроскопические разрастания;
- 5 — вид-субдоминант в разрастаниях;
- 4 — вид встречен на стеклах обрастания во многих полях зрения;
- 3 — вид встречен более чем в 10 полях зрения;
- 2 — вид встречен в 2-10 полях зрения;
- 1 балл — вид встречен в одном поле зрения или только в жидких культурах.

Для всех четырех полос выводят средний балл. Окончательные баллы обилия выводят по трем просмотренным в разное время стеклам.

Для определения диатомовых водорослей стекла обрастания нагревают на электрической плите в течение 15-20 мин, сжигая таким образом со-

держимое клеток, и готовят постоянные препараты на среде Эляшева. Стекла можно использовать для засева водных и агаровых культур.

Иногда на стеклах обрастания в массовых количествах развиваются простейшие, коловратки, черви, протонемы мхов, грибы, эвгленовые водоросли. Они могут дать дополнительную информацию о состоянии почвы, и поэтому их также следует учитывать.

2.3. Жидкие культуры.

Жидкие культуры готовят или на вытяжке исследуемой почвы или в виде раствора минеральных солей. Почвенную вытяжку готовят таким образом: одну весовую часть измельченной и просеянной воздушно-сухой почвы взбалтывают с 4 частями дистиллированной воды в течение 6 минут и фильтруют через всю толщину почвы на складчатом фильтре.

Из большого разнообразия применяемых сред в почвенной альгологии чаще используют следующие:

Среда Громова № 6	Основная среда Болда (BBM)
Магочные растворы	
Макроэлементы на 1 л H ₂ O	на 400 мл H ₂ O каждый
KNO ₃ — 1,0 г	1) NaNO ₃ — 10 г
K ₂ HPO ₄ — 0,2 г	2) KH ₂ PO ₄ — 7,0 г
MgSO ₄ ·7H ₂ O — 0,2 г	3) K ₂ HPO ₄ — 3,0 г
CaCl ₂ — 0,15 г	4) MgSO ₄ ·7H ₂ O — 3,0 г
NaHCO ₃ — 0,2 г	5) CaCl ₂ ·2H ₂ O — 1,0 г
	6) NaCl — 1,0 г
Микроэлементы на 1 л H ₂ O	на 1 л H ₂ O каждый
ЕДТА (трилон В) — 10 г	1) ЕДТА (трилон В) — 50,0 г, КОН — 31,0 г
ZnSO ₄ ·7H ₂ O — 0,22 г	2) FeSO ₄ ·7H ₂ O — 4,98 г (999 мл H ₂ O и 1 мл концентрированной H ₂ SO ₄)
MnSO ₄ — 1,81 г	3) NaBO ₃ ·4H ₂ O — 11,42 г
Cu SO ₄ ·5H ₂ O — 0,079 г	4) ZnSO ₄ ·7H ₂ O — 8,82 г
NaBO ₃ ·4H ₂ O — 2,68 г	+ MnCl ₂ ·4H ₂ O — 1,44 г
(NH ₄) ₆ Mo ₇ O ₂₄ ·4H ₂ O — 1 г	+ MoO ₃ — 0,71 г
FeSO ₄ ·7H ₂ O — 9,3 г	+ Cu SO ₄ ·5H ₂ O — 1,57 г
CaCl ₂ — 1,2 г	+ Co(NO ₃) ₂ ·6H ₂ O — 0,49 г (999 мл H ₂ O и 1 мл концентрированной H ₂ SO ₄)
Co(NO ₃) ₂ ·H ₂ O — 0,02 г	

Растворы макро- и микроэлементов готовятся на дистиллированной воде. Для среды Громова №6 к 1 л раствора макроэлементов добавляют 1 мл раствора микроэлементов.

Для приготовления питательной среды BBM к 940 мл дистиллированной воды добавляют по 10 мл каждого из 6 растворов макро- и по 1 мл каждого из 4 растворов микроэлементов. Основная среда Болда позже стала использоваться с утроенным количеством азота (3N BBM), т. е. первый маточный раствор должен содержать 30 г NaNO_3 . Увеличение количества азота в среде замедляет старение культур и обеспечивает возможность более продолжительного наблюдения за водорослями в благоприятных для их существования условиях.

Готовые среды по 50-60 мл разливают в конические колбы объемом 100-150 мл, закрывают ватными пробками и стерилизуют в автоклаве при 120° в течение 20 мин. Для посева берут 1-2 г почвы из усредненного образца или осколки стекла обрастания с интересными для изучения водорослями. Колбы этикетировывают и ставят на свет. Водоросли в культурах появляются в определенной последовательности. Поэтому просмотр проводят несколько раз по мере их появления, начиная с 2-3 недель и завершая через 2-3 месяца.

Жидкие культуры позволяют выявлять водоросли, находящиеся в состоянии покоя, являющиеся, вероятно, случайными для данной почвы. Поэтому выявленные только в жидких культурах виды оцениваются самым низким баллом обилия.

2.4. Агаровые культуры

Агаровые культуры используются для выделения водорослей в альгологически чистые культуры и для хранения музейных культур. Агаровые питательные среды готовят добавлением к обычным средам 0,8-1,5 % агара. Агар расплавляют в водяной бане и стерилизуют. Среду в жидком виде разливают в чашки Петри или для музейных культур - в пробирки. На застывшую среду стерильно наносят почвенный мелкозем из исследуемого образца или несколько капель жидкой культуры, или кусочки стекла обрастания. Для получения изолированных колоний водорослей концентрация инокулята должна быть небольшой. Затем культуры выставляют на свет. Через несколько недель можно посмотреть разрастания водорослей под микроскопом. Изолированные колонии пересаживают на **свежий** агар для последующего изучения, идентификации вида. Альгологически чистые культуры хранят в люминистате при температуре $-10-15^\circ$. Пересев проводится через каждые 2-3 месяца.

2.5. Определение водорослей

Для современной систематики водорослей характерны большие таксономические преобразования в отношении многих групп водорослей. Мы придерживаемся системы украинских альгологов (Разнообразие водорослей Украины, 2000). Идентификацию водорослей проводят по сериям "Определителя пресноводных водорослей СССР" (1953-1986) и "Визначника прісноводних водоростей УРСР" (1953-1993). Для определения видов из порядков Chlorococcales и Chlorosarcinales используются определители: J. Komárek, B. Fott (1983), П. М. Царенко (1990), H. Ettl, G. Gärtner (1995), В. М. Андреевой (1998) и др. Для первоначальной ориентации вполне пригодится наше пособие "Краткий определитель водорослей Башкортостана" (Кузяхметов и др., 1966).

Для трудно определяемых видов требуется сочетание почвенных и жидких культур. Иногда возникает необходимость изучения отдельных стадий развития (зооспор, гамет, покоящихся стадий и т.д.), что возможно только в чистых культурах и при продолжительном культивировании.

2.6. Составление первичной матрицы

По данным качественного анализа почвенных образцов составляется первичная матрица (табл. 1).

Таблица 1

Первичная таблица исходных данных										
Виды и внутри- видовые таксоны	А	В	Почвенные образцы							
			А							В
			Номера стекол обрастания							
			I		II		III		IV	
			баллы обилия на просмотренных тансектах							
			1	2	3	4	Ф	....	....	....
1.Oscil...	O	P	4	3	1	2	25	....	....	....
2.Nostoc	N	CF	..	1	1	2	10	....	....	....
Всего видов			....	..	..	..	..	....	....	....
Всего баллов			..	..	..	..	..	....	....	....
Ср.балл на вид			..	..	..	..	..	....	....	....

Виды водорослей на первичной матрице следует сгруппировать по от-
дела, порядкам (А), жизненным формам (В).

3. МЕТОДИКА УЧЕТА ЧИСЛЕННОСТИ И БИОМАССЫ ВОДОРΟΣЛЕЙ

3.1. Учет макроскопических разрастаний.

Метод используется для определения биомассы водорослей, слоевища которых образуют поверхностные разрастания в виде пленок и корочек. Степень проективного покрытия почвы водорослями показывает, какую часть поверхности почвы занимают водоросли и выражается чаще всего в процентах или долях от единицы (Хазиев, Кабиров, 1986).

Слоевища отделяются от прилипших частиц почвы, растительных остатков и взвешиваются в сыром или воздушно-сухом состоянии. Если слоевища трудно отделить от почвенных частиц, то органическую массу водорослей определяют по убыли массы после сжигания образца. Налеты водорослей в виде общего пожелтения изучаются методом прямого счета. Для этого из ненарушенной поверхности почвы с налетом вырезается квадрат размером 10х10 или 5х5 мм толщиной 2-3 мм. Из него готовится суспензия определенного объема (10-15 мл), крупные частицы почвы растираются резиновым лестиком. Методика учета численности клеток в суспензии приведена ниже. Во всех случаях полученные значения массы и численности водорослей с учетом проективного покрытия рассчитываются на 1 кв. м площади.

3.2. Методика прямого учета численности водорослей

Метод основан на учете численности водорослей при просматривании почвенной суспензии под микроскопом. Этот трудоемкий метод значительно облегчается при использовании люминесцентного микроскопа или люминесцентных осветителей, что позволяет по красному свечению хлорофилла легко различать живые клетки среди почвенных частиц. Для фиксированных формалином проб возможно только обычное освещение.

3.2.1. Подготовка почвенного образца для микроскопирования.

Привезенные с поля образцы почв должны быть обработаны в свежем виде. Чтобы остановить биологические процессы, их в течение нескольких суток можно хранить в холодильнике. Из образца удаляют зеленые части растений, т.к. их хлоропласты могут быть приняты за водоросли, и тогда число клеток будет завышенным. Каждую пробу растирают на ступке пестиком, обернутым резиной, чтобы не разрушать клетки, добавляя небольшое количество воды. Затем в ступку добавляют еще воды и, перемешав, суспензию переливают в другой сосуд. Оставшийся осадок повторно растирают пестиком, операцию повторяют до тех пор, пока на ступке не останутся только минеральные частицы. Для промывания осадка можно использовать и саму суспензию. Объем воды для растирания и получения суспензии зависит от механического состава почвы. Для тяжело суглинистых почв на пробу объемом 1 см³ берут 50-67 мл воды.

Другой способ приготовления суспензии из почвенного образца – гомогенизация при помощи микроизмельчителя тканей. Пробу помещают в сосуд с определенным объемом воды и перемешивают микроизмельчителем в течение 5 мин.

Из приготовленной по одному из способов суспензии после тщательного перемешивания и через 10-15 сек. отстаивания в средней части сосуда, берут пипеткой пробу. Затем, выпуская ее из пипетки по каплям, наносят одну из капель на предметное стекло и быстро накрывают покровным стеклом размером 18х18 мм. При этом нельзя допустить задержки капли и скопления частиц почвы на кончике пипетки. Одновременно просчитывается количество капель в 1 мл. Суспензию можно набирать и микропипеткой объемом 0,05 мл. Для перерасчета численности водорослей на 1 г абсолютно сухой почвы тщательно перемешанную суспензию объемом 50 мл сливают в бюкс и сушат в шкафу. После выпаривания взвешивают остаток. Из одной суспензии в зависимости от дисперсии готовят 4-5 препаратов (расчет см. ниже).

3.2.2. Микроскопирование препарата с почвенной суспензией.

Готовый препарат просматривают под световым микроскопом. Очень удобно использовать люминесцентный микроскоп МЛ-1, МЛ-2 или же люминесцентный осветитель ОИ-78, которые позволяют сразу четко различить живые клетки водорослей, у которых хлорофилл люминесцирует карминно-красным светом.

Т.И.Алексахина и Э.А.Шгина (1984) предложили использовать эозин спирторастворимый для облегчения распознавания клеток водорослей среди почвенных частиц. Для этого несколько капель (до 0,5 мл) 0,1%-ного раствора эозина закапывается в пробирку на 20 мл с суспензией почвы. Смесь взбалтывается, выдерживается в течение 15-20 мин, доливается дистиллированной водой до 20 мл и дальше проводится подсчет клеток по обычной схеме.

Просмотр ведут через объектив на 40^x и окуляр 7^x по продольным полосам, перемещая препарат препаратоводителем, группируя их по систематическим признакам: синезеленые, зеленые вместе с желтозелеными и диатомовые. Принадлежность к тому или иному отделу устанавливается переводом микроскопа на обычное освещение. У нитчатых форм отдельно ведется учет числа особей и числа клеток. Для последующего определения биомассы одновременно с количественным учетом измеряют размеры клеток. Для этого используют окуляры со шкалой. Предварительно необходимо определить цену деления шкалы при помощи объект-микрометра. Для люминесцентного микроскопа МЛ-2 она равна 2,3 мкм. Просматривают обычно не все полосы, а каждую пятую, пропуская четыре поля зрения по вертикали в начале полосы.

Л.И.Домрачева и др.(1986) разработали метод учета водорослей не в водных препаратах, а на высушенных мазках на поверхности предметных стекол. Авторы указывают, что процедура учета водорослей данным способом существенно проще и значительно ускоряет работу, кроме того, в этом случае один и тот же препарат можно использовать неоднократно. Свечение хлорофилла на сухом мазке сохраняется длительное время (не менее месяца). Это позволяет готовить препараты сразу после снятия опыта, а учитывать объекты в удобное для исследователя время.

3.2.3. Расчет количества и биомассы водорослей

При расчете численности водорослей на 1 г почвы вычисляют коэффициент для перемножения встреченных в препарате клеток:

$$K = A \cdot B \cdot \frac{C}{D}, \text{ где } A - \text{просмотренная часть препарата, } B - \text{число капель}$$

в 1 мл; C – объем выпаренной суспензии; D – масса остатка почвы после выпаривания.

Число клеток на 1 г абсолютно-сухой почвы вычисляют по формуле:

$$N = K \cdot n = A \cdot B \cdot C \cdot \frac{n}{D}, \text{ где } n - \text{число клеток в препарате. Пример:}$$

$$N = 5 \cdot 21 \cdot 50 \cdot \frac{12}{0,98} = 64286.$$

Численность водорослей на единицу площади (в случае учета в налетах) рассчитывают по формуле $K = A \cdot B \cdot E$, где E –объем всей суспензии (5-10 мл).

Для расчета биомассы определяют объем клеток водорослей и, приравняв удельную массу к 1, переводят единицу объема в единицу массы. Для вычисления объема измеряют диаметр округлых клеток и дополнительно длину цилиндрических форм. Расчет биомассы проводится по таблице 2. При расчете вычисляют количество клеток (N) и биомассу (B) всех размерных групп, затем полученные результаты суммируются.

Таблица 2

Расчет биомассы почвенных водорослей

Классы значе- ний диаметра клеток	Диаметр и длина клеток в мкм	Число делений на шкале окуля- ра	Масса 1 млн. клеток в мг
Одноклеточные зеленые и желтозеленые			
2-5	2,3	1	0,006
	4,6	2	0,051
6-10	6,9	3	0,172
	9,2	4	0,408
11-15	11,5	5	0,796
	13,8	6	1,375
16-20	16,1	7	2,184
	18,4	8	3,260
21 и выше	20,7	9	4,642
	23,0	10	6,367
Нитчатые зеленые и желтозеленые			
Chlorohormidium sp.	6,6x8,5	3x4	0,280
Heterothrix exilis	4,0x5,0	2x2	0,063
Bumilleriopsis sp.	7,0x20,0	3x9	0,629

Синезеленые			
Nostoc sp.	3		0,014
Nostoc sp.	4		0,030
Microcoleus, Phormidium	4x5	2x2	0,076
Phormidium sp.	2x2	1x1	0,006
Cylindrospermum sp.	4x5		0,063
Cylindrospermum sp.	3x4		0,030
Диатомовые			
Navicula pelliculosa	2x4	1x2	0,019
Navicula mutica	x12		0,050
Pinnularia borealis			0,800
Hantzschia amphioxys			1,000

Расчет ведется по формуле: $B = \frac{N \cdot A}{10^6}$, где A - масса 1 млн. клеток, N - число клеток, B - биомасса.

Пример. В 1 г почвы выявлено 425000 клеток диаметром 4,6 мкм. по таблице 2 находим массу 1 млн. таких клеток - 0,051 мг. Отсюда

$$B = \frac{425000 \cdot 0,051}{10^6} = 0,022 \text{ мг на 1 г почвы. При удельной массе почвы}$$

$$1 \text{ г/см}^3 \text{ для слоя 0-1 см } B = 220 \text{ мг/м}^2.$$

3.2.4. Определение влажности почвы

Собранные с поля в бюксы пробы взвешивают вместе с бюксом. Затем, открывая крышки, бюксы с почвой сушат в сушильном шкафу при 120° в течение нескольких часов, доведя до постоянного веса. Вес бюкса определяют отдельно. Определение полевой влажности проводится по следующей формуле:

$$x = \frac{a - b}{b - c} \cdot 100, \text{ где } x - \text{полевая влажность в \%}, a - \text{вес бюкса с сырой почвой}, b - \text{вес бюкса с высушенной почвой}, c - \text{вес бюкса}$$

3.3. Определение продукции водорослей

В настоящее время продукцию почвенных водорослей в основном вычисляют с помощью многократных наблюдений за изменением биомассы на каком-либо участке в течение определенного отрезка времени. Величину продукции за последующий период устанавливают по достоверным приростам биомассы (Хазиев, Кабирев, 1986).

При выборе способа суммирования достоверных приростов биомассы следует учитывать ряд моментов. На рисунке 1А отрезки ab , gd , $жз$ характеризуют индивидуальные приросты биомассы, суммируя которые, определяют общую продукцию за исследуемый период. Отрезки ab , $гг$, $жи$ показывают убыль биомассы в отдельные сроки учета, а их сумма отражает ее убыль за весь период наблюдений.

При ступенчатом нарастании, когда увеличение биомассы чередуется с незначительными спадами, количество синтезированного органического вещества можно определить двумя способами. Первый способ заключается в суммировании достоверных приростов биомассы между двумя соседними сроками наблюдений. На рис. 1Б это будет соответствовать отрезкам $ab+гг+de$. Второй способ предусматривает установление продукции по величине максимального прироста (отрезок $де$). В данном случае получаются заниженные оценки.

Если биомасса возрастает монотонно, (рис. 1В), целесообразнее оценивать продукцию по величине отрезка $жси$, так как не исключено, что прирост биомассы при сравнении двух соседних точек не всегда окажется достоверным, а, следовательно, не всегда будет учитываться. Из-за несовершенства методики величина продукции, рассчитанная по статистически достоверным приростам общей биомассы, не всегда совпадает с величиной продукции, полученной сложением продукции отдельных видов и групп водорослей.

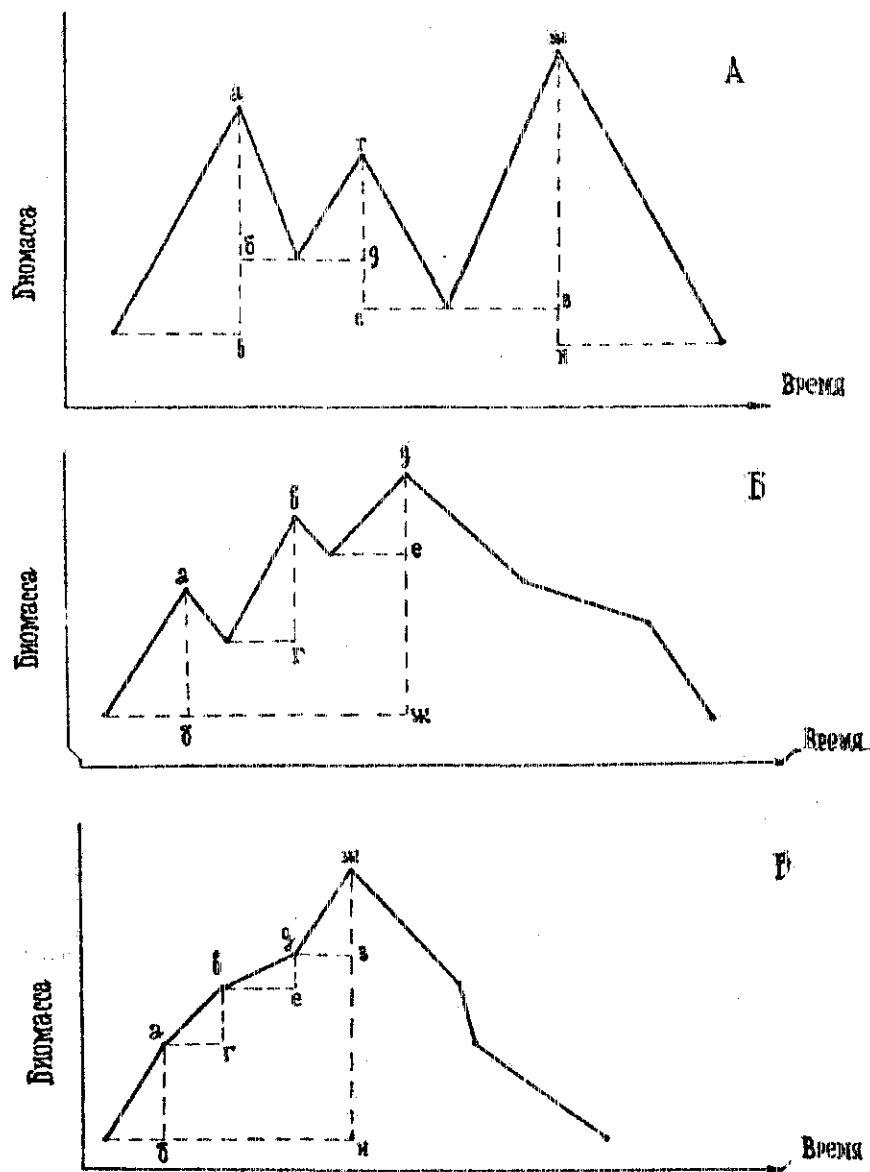


Рис. 1. Гипотетические кривые изменения биомассы водорослей в почве (по Хазиеву, Кабирову, 1986). Показания в тексте.

4. СТАТИСТИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ЭМПИРИЧЕСКИХ ДАННЫХ

4.1. Расчет основных эмпирических параметров.

Все объекты каждого исследования (количество клеток, биомасса, число видов, их обилие и т. д.) образуют общую или генеральную совокупность. Значение отдельного члена называется вариантом или датой. При большом числе вариантов в генеральной совокупности ограничиваются исследованием части совокупности, называемой выборкой.

Основными параметрами выборки считаются средняя арифметическая $M(\bar{x})$ и среднее квадратическое отклонение σ (сигма), т. к. все прочие показатели являются производными от этих величин.

4.1.1. Средняя арифметическая, её ошибка. Показатель точности опыта

Формула вычисления средней арифметической:

$M = \frac{\sum x}{n}$, где M – средняя арифметическая, $\sum x$ – сумма всех вариантов (дат); n – объем выборки.

Для оценки достоверности средней вычисляют её ошибку по формуле:

$m_M = \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$, где m_M – ошибка средней арифметической; σ – среднее квадратическое отклонение (разд. 4.1.2).

Показатель точности опыта выражает величину ошибки средней арифметической в процентах от самой средней арифметической.

$P = \frac{m_M}{M} \cdot 100\%$ или $P = \frac{V}{\sqrt{n}}$, где P – показатель точности опыта;

M – средняя арифметическая; m_M – ошибка средней арифметической; V – коэффициент вариации (разд. 4.1.3); n – объем выборки (количество вариантов).

Точность опыта считается удовлетворительной, если P не превышает 5%. При превышении 5%-ного уровня следует увеличить число наблюдений или повторностей.

Достоверность средней арифметической оценивается по формуле:

$$t = \frac{M}{m_M}, \text{ где } t - \text{критерий Стьюдента.}$$

t сравнивают со стандартным значением критерия Стьюдента (табл. ЗП по Зайцеву, 1984; табл. X по Плехинскому, 1970). Для этого вычисляют число степеней свободы $\nu = n - 1$, затем по таблице находят стандартное значение t . Превышение рассчитанного значения t стандартного показателя указывает на достоверность средней арифметической.

4.1.2. Дисперсия, среднее квадратическое отклонение, его ошибка.

При изучении влияния того или иного фактора на количественные показатели альгоценозов важное значение имеет мера варьирования этих показателей. Величина колебания показателей около их средней M измеряется средним квадратическим отклонением или сигмой, сигма в квадрате называется дисперсией (σ^2). Сигма и ее ошибка вычисляются по формулам:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (x - M)^2}{n - 1}}, \quad m_\sigma = \frac{\sigma}{\sqrt{2n}}, \text{ где } \sigma - \text{среднее квадратическое отклонение; } m_\sigma - \text{его ошибка; } \sum - \text{знак суммирования; } x - \text{отдельные значения количественных показателей (варианта или дата); } M - \text{средняя арифметическая; } n - \text{объем выборки.}$$

тическое отклонение; m_σ - его ошибка; \sum - знак суммирования; x - отдельные значения количественных показателей (варианта или дата); M - средняя арифметическая; n - объем выборки.

4.1.3. Коэффициент вариации.

Сигма характеризует степень отклонений вариант (дат) данной совокупности от средней арифметической в абсолютных (именованных) числах. Для сравнения совокупностей по их вариабельности используют коэффициент вариации. Он показывает, какой процент составляет сигма от средней арифметической. По нему судят о степени выровненности полученных данных, например, численности клеток в суспензиях.

Коэффициент вариации V вычисляют по формуле:

$$V = \frac{\sigma}{M} \cdot 100\%, \text{ его ошибку } m_V = \frac{V}{\sqrt{2n}}$$

Пример. Рассчитана численность диатомовых водорослей в индивидуальных образцах почвы (I) и в усредненной из них пробе в 10 повторных

стях (II). Определить статистические параметры этих двух выборок. Количество клеток в тыс. на 1 г почвы.

I 37 42 39 21 45 38 41 34 40 54 $n = 10$

II 38 42 43 36 40 41 39 37 38 37 $n = 10$

После вычисления получены следующие статистические данные:

	I	II
средняя арифметическая M	39,1	39,1
среднее квадратическое отклонение σ	8,36	2,33
коэффициент вариации $V\%$	21,38	5,96
ошибка средней арифметической m_M	2,64	0,74
точность опыта $P\%$	6,76	1,88
ошибка среднего квадратического отклонения m_σ	1,87	0,52
ошибка коэффициента вариации m_V	4,78	1,33

Из полученных данных мы можем сделать вывод о том, что усреднение почвенных образцов снижает вариабельность численности. Во второй выборке значения σ и V значительно ниже, чем в первой. Точность опыта первой выборки P больше 5%, поэтому при учете численности водорослей в индивидуальных образцах необходимо увеличить количество проб в выборке.

4.2. Информационные индексы значимости и разнообразия.

Список видового состава и соотношение числа видов по таксономическим группам или жизненным формам характеризуют сообщество недостаточно полно. Для выяснения структурно-функциональной организации сообществ необходимо определение роли различных видов, составляющих сообщество. В почвенной альгологии о вкладе отдельных видов судят, традиционно выделяя доминанты, субдоминанты и специфические (или характерные) виды. Однако дифференциация альгоценозов в целом по этим признакам иногда вызывает затруднения, особенно полидоминантных сообществ, где доминанты чаще всего представлены эвритопными (вездесущими) видами, а характерные виды - редкими и случайными. При этом большая часть выявленных видов (средних по обилию) может остаться вне внимания исследователя. Поэтому при характеристике структуры альгоценозов целесообразно выяснять соотношения значимости видов, т. е. количественного их участия. У почвенных водорослей вследствие методических трудностей (при прямом учете в большинстве случаев найденные особи не

поддаются идентификации) сложно установить количественное участие видов в альгоценозе по числу клеток или биомассе. Показатель значимости позволяет дифференцировать виды с равнозначными баллами обилия, так как валовые обилия видов в образцах редко совпадают, и поэтому значимость при равных баллах обилия всегда будет различной.

Значимость отдельных видов водорослей в структуре альгоценоза рассматривают в виде отношения баллов обилия к валовому обилию всех выявленных видов и вычисляют по формуле $p = \frac{a}{A}$, где a - среднее значение

обилия вида; A - средняя сумма баллов всех видов, выявленных в одном образце.

Кроме того, используют также более интегрированный показатель значимости - активность видов, учитывающая их значимость по обилию и встречаемости, по формуле (Кузьяметов, 1991): $x = \sqrt{F \cdot D}$, где x - активность вида; F - показатель встречаемости во всех образцах почвы по 10-балльной шкале в диапазоне 1 - 100%; 1 балл - 0-10%; 2 балла - 11-20% и т. д.; D - обилие вида по 6-балльной шкале. Отсюда, возможная максимальная величина активности - $x = \sqrt{10 \cdot 6} = 7,74$.

Многим биологическим явлениям присуща информативность. В почвенной альгологии широкое применение должны найти разнообразные информационные индексы, по которым мы можем выводить те или иные закономерности строения и функционирования альгоценозов на фоне исследуемых факторов среды. В экологии широкое распространение получили разнообразные статистические показатели, оценивающие структуру сообществ путем сопоставления характеристик входящих в них видов. Показатели разнообразия характеризуют устойчивость сообществ, стабильность местообитания, интенсивность действия того или иного фактора. При усилении действия фактора разнообразие уменьшается, доминирование отдельных видов увеличивается. Увеличение разнообразия возможно при умеренном действии фактора за счет ослабления силы доминирующих видов (Одум, 1986). Степень разнообразия сообществ является также показателем благоприятности среды. Чем ближе условия среды к оптимальным, тем большее число видов может обитать в сообществе.

Для характеристики структуры альгоценозов на фоне того или иного фактора используют индексы разнообразия Маргалефа d , энтропии Шеннона-Уивера H , Макинтоша J_M , показатель доминирования Симпсона C , и показатель выровненности Пилу e :

$$H = -\sum p_i \cdot \lg p_i; \quad d = \frac{S-1}{\lg N}; \quad J_M = \sqrt{\sum (b_i)^2};$$

$$C = \sum \left(\frac{b_i}{B} \right)^2; \quad e = \frac{H}{\lg S},$$

где S - число видов в образце почвы; N - количество клеток; p_i - значимость i -го вида (обилия a , встречаемости F , активности x); B - сумма значимостей видов в выборке (образце почвы).

Индекс Маргалефа d связывает видовое разнообразие с численностью водорослей. Его применяют при изучении устойчивости альгоценозов по отношению к отдельным факторам среды. Если при уменьшении численности водорослей под действием фактора видовое разнообразие сохраняется или снижается незначительно, то происходит увеличение значения индекса, что указывает на устойчивость альгоценоза к данному фактору.

Пример. Изучалось действие нефти на видовое разнообразие и численность водорослей выщелоченного чернозема:

Показатели	Дозы нефти в л/м ²			
	контроль	8	16	25
Число видов S	21	20	12	7
Число клеток в 1 г почвы	76000	24000	18000	6000
Индекс Маргалефа d	4,10	4,34	2,58	1,59

Альгоценозы проявили устойчивость при дозе нефти 8 л/м², а высокие дозы сильно снизили как число видов, так и количество клеток, на что указывает уменьшение значения индекса d .

Остальные индексы разнообразия связывают значимость отдельных видов с видовой насыщенностью альгоценозов. Энтропия максимальна в случае, когда все виды имеют одинаковое обилие, и минимальна, когда сообщество состоит из одного вида (Василевич, 1971). Она не зависит от размера проб, подчиняется закону нормального распределения, и для проверки достоверности различий между средними показателями можно применять обычные статистические методы (Одум, 1986). Показатель энтропии придает больший вес малообильным видам. Индекс выровненности e показывает долю найденных значений энтропии от максимального, когда все виды сообщества имеют равное обилие (Pielou, 1966). Он указывает на степень однородности в распределении баллов обилия между видами, реагирует на изменение распределения значимости видов водорослей.

Пример. При изучении действия нефти на альгсценозы выщелоченного чернозема получены следующие данные:

Показатели	Дозы нефти в л/м ²			
	кон- троль	8	16	25
Число видов S	21	20	12	7
Общее обилие B	57	39	30	25
Частоты баллов b_i :				
4 балла	4	2	3	5
3 балла	9	3	3	2
2 балла	6	7	3	0
1 балл	2	8	3	0
Индекс Симпсона C	0,053	0,062	0,100	0,145
Индекс энтропии H	1,300	1,250	1,030	0,840
Показатель Пилу e	0,981	0,950	0,957	0,996
Показатель Макинтоша J_M	13,08	9,75	9,49	9,90

Увеличение значений доминирования C под действием нефти связано с увеличением доли толерантных к нефти видов с высокими баллами обилия. Высокие значения индексов разнообразия H и J_M получены для незагрязненной почвы. При усилении действия фактора разнообразие уменьшается. Однако дальнейшее снижение видовой насыщенности альгсценозов приводит к увеличению значений показателя Макинтоша J_M , что объясняется сохранением доминантов при максимальной дозе нефти.

Показатель выровненности Пилу e связывает индекс H с видовой насыщенностью альгсценозов. Гибель большинства видов под действием нефти приводит к снижению выровненности и перераспределению выживших видов по обилию. Распределение видов только по двум грациям обилия ("4" и "3") несколько увеличило значение e при дозе нефти 25 л/м².

4.3. Определение репрезентативности выборочных показателей.

Представительность выборки, с определенной точностью и надежностью отражающая генеральную совокупность, называется репрезентативностью. Получение достоверных оценок выборочных показателей позволяет объективно характеризовать генеральную совокупность. Ха-

рактеристика генеральной совокупности на основе выборочного исследования всегда несет некоторую погрешность, которую называют ошибкой репрезентативности. Рассчитанные ошибки основных статистических параметров в разделе 4.1 относятся к ошибкам репрезентативности. Они необходимы для оценки генеральных параметров \bar{A} . Генеральный параметр лежит в пределах $\bar{A} = \bar{A} \pm \Delta$, где \bar{A} – генеральный параметр, \bar{A} – выборочный показатель, $\Delta = t \cdot m_A$ – возможная максимальная погрешность при прогнозе генерального параметра, t – критерий надежности (для большинства исследований в почвенной альгологии достаточен $t=1,96$), m_A – ошибка репрезентативности выборочного показателя.

Пример. Из примера в разделе 4.1.3 мы можем рассчитать доверительные границы генеральной средней для обеих выборок.

$$\bar{M}_I = M \pm 1,96 \cdot m_{M_I} = 39,1 \pm 1,96 \cdot 2,64 = 39,1 \pm 5,17$$

$$\bar{M}_H = 39,1 \pm 1,96 \cdot 0,74 = 39,1 \pm 1,45$$

Доверительные границы генеральной средней численности водорослей при изучении по индивидуальным образцам лежит в пределах $\bar{M}_I = 33,93 \div 44,27$ тыс. на 1 г почвы.

Доверительные границы генеральной средней численности водорослей в смешанном образце $\bar{M}_H = 37,65 \div 40,55$ тыс. на 1 г почвы.

Сравнение двух выборок показывает, что ошибка репрезентативности выборки из смешанного образца намного ниже, чем выборки из индивидуальных проб. Доверительные границы его генеральной средней полностью лежит в пределах границ генеральной средней по индивидуальным образцам почвы.

4.3.1. Определение необходимого объема выборки

Объем выборки, достаточный для достоверности получаемой по ней средней арифметической, определяется по формуле:

$$N = \left(\frac{t \cdot V}{P} \right)^2, \text{ где } N - \text{искомый минимальный объем выборки; } t -$$

критерий достоверности Стьюдента, при точности $P=5\%$ он равен 1,96;

V - коэффициент вариации, P - точность. Поскольку коэффициент вариации имеет свою ошибку m_V , формула принимает вид

$$N' = \left[\frac{t \cdot (V + m_V)}{P} \right]^2, \text{ где } m_V - \text{ошибка коэффициента вариации.}$$

Второе уравнение позволяет брать объем выборки с некоторым запасом.

В почвенно-альгологических исследованиях можно взять $P \leq 5\%$, а в некоторых случаях, исходя из лимита времени на обработку почвенных образцов, можно согласиться и на $P = 10 - 15\%$. Практически для определения числа повторностей анализируют 8-10 почвенных образцов или капель почвенной суспензии, и после этого устанавливают необходимый объем выборки.

Пример. В почвенной суспензии, подготовленной для количественного учета, подсчитывалось число клеток в 10 каплях. Необходимо определить объем выборки, достаточный для достоверности средней арифметической. $V = 4,95\%$; $m_V = 1,22\%$; $P = 5\%$.

$$N = \left(\frac{1,96 \cdot 4,95}{5} \right)^2 = 3,7 \approx 4 \text{ по первому уравнению.}$$

$$N' = \left[\frac{1,96 \cdot (4,95 + 1,22)}{5} \right]^2 = 5,8 \approx 6 \text{ по второму уравнению}$$

Для приведенных в разделе 4.1.3 двух выборок минимальный объем выборки составляет: для индивидуальных проб 71 и 106, для смешанного образца 6 и 9 соответственно. Это еще раз подтверждает, что усреднение почвенного образца дает возможность сократить число повторностей.

Размеры минимальных выборок в зависимости от коэффициента вариации исходных данных приведены у Г. Н. Зайцева (1984, табл. 23П).

4.4. Расчет коэффициента корреляции.

В почвенной альгологии между различными количественными показателями может существовать более точная или функциональная связь, когда значению одного показателя соответствуют одно определенное значение другого показателя. Такова, например, связь между биомассой и численностью клеток определенного размера. Однако связь может быть и менее точной, она называется корреляционной. В этом случае одному значению какого-либо показателя соответствует приближенное значение друго-

го или совокупность значений. Такая связь существует между влажностью почвы и численностью водорослей.

При помощи анализа показателей корреляции и оценки их достоверности определяют наличие или отсутствие связи между различными признаками альгоценозов. Коэффициент корреляции применяется в тех случаях, когда связи между признаками близки к прямолинейным. Коэффициент корреляции вычисляют по формуле:

$$r_{XY} = \frac{\sum (X - M_X) \cdot (Y - M_Y)}{N \sigma_X \sigma_Y}, \text{ где } X \text{ и } Y - \text{сравниваемые призна-}$$

ки; M_X и M_Y - средние арифметические сравниваемых выборок; σ_X и σ_Y - средние квадратические отклонения этих признаков; N - число сравниваемых пар.

Коэффициент корреляции может принимать значения от +1 до -1, при $r = 0$ корреляция отсутствует. Для проверки достоверности r вычисляют его ошибку:

$$m_r = \sqrt{\frac{1 - r^2}{N - 2}}$$

Критерий достоверности t Стьюдента коэффициента корреляции вычисляют по формуле: $t = \frac{r}{m_r}$. Значение t сравнивают с табличным значением t_{α} при числе степеней свободы $\nu = N - 2$ (Зайцев, 1984, табл. 3П).

При больших значениях r для проверки его достоверности используют значение преобразованного коэффициента корреляции r . По таблице 26П (Зайцев, 1984) находим значение z для рассчитанного коэффициента

корреляции. Вычисляем ошибку z по формуле $m_z = \frac{1}{\sqrt{N - 3}}$. Далее вы-

числяем критерий достоверности $t = \frac{z}{m_z}$ и сравниваем его с табличным

значением t_{α} (Зайцев, 1984, табл. 3П).

Пример. Вычислим коэффициент корреляции между полевой влажностью (X) и численностью клеток водорослей (Y) карбонатного чернозема (число клеток в тыс. на 1 г почвы).

	Сравниваемые пары ($N = 10$)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
X	36	21	7	47	16	11	27	31	22	39
Y	137	78	0	212	52	16	55	102	45	124

Получаем $r = +0,95$. По второму способу из табл. 26П (Зайцев, 1984) для $r = +0,95$ находим $z = 1,8313$, его ошибка $m_z = 1/(10-3) = 0,1428$. Критерий

$$t = \frac{z}{m_z} = 12,6. \text{ Вычисленное значение критерия достоверности значительно}$$

превышает стандартное значение $t_{\alpha} = 5,041$ при точности $P = 99,9\%$ и числе степеней свободы $\nu = 8$. Отсюда следует, что между полевой влажностью и численностью водорослей существует тесная положительная зависимость.

При расчете коэффициента корреляции необходимо учесть то обстоятельство, что для его применения требуется нормальное или хотя бы близкое к нормальному распределению обоих сравниваемых признаков. Однако из-за недостаточного объема выборки во многих случаях трудно судить о характере эмпирического распределения. Поэтому коэффициент корреляции следует использовать с большой осторожностью.

Когда степень прямолинейной зависимости устанавливать затруднительно или связь явно криволинейная, вместо коэффициента корреляции используются корреляционные отношения (Зайцев, 1984, §2.08) или лучше применять методы дисперсионного анализа, с которыми они тесно связаны.

4.5 Дисперсионный анализ.

На варьирование признаков, например количества клеток при изучении действия удобрений, оказывают влияние не только дозы удобрений, но и другие, не учитываемые на факторы. Благодаря методам дисперсионного анализа возможно вычленение доли учитываемых факторов в общей дисперсии и проверка достоверности этого влияния. Наиболее распространен однофакторный дисперсионный анализ. Для анализа необходим минимум повторностей - две, но это число редко дает достоверные результаты. В альгологических исследованиях, учитывая их трудоемкость, число повторностей должно быть не менее 4-5. Изучаемыми факторами, действующими на численность, биомассу, показатели разнообразия, обилие и

встречаемость отдельных видов таксономических групп, жизненных форм и т. д., могут быть время вегетации, влажность, температура, проективное покрытие растительности, тип почвы, антропогенные факторы: обработка почвы, сельскохозяйственная культура совместно с соответствующей агротехникой, удобрения, пестициды, орошение и другие. Градации факторов могут быть две: действие фактора (опыт) и его отсутствие (контроль), или же несколько по интенсивности его действия: разные дозы удобрений, полива, разные культуры и другие.

Дисперсионный анализ проводят по алгоритму 19 Н.А.Плохинского (1970) или по Г.Н.Зайцеву (1984, §4.17). В результате вычислений получаем показатели силы влияния данного фактора η_x^2 в долях от общей дисперсии, его ошибку $m_{\eta_x^2}$, его достоверность Φ или по критерию Фишера F .

Достоверность проверяется по стандартным значениям критерия Фишера F_{α} , которые определяются по двум степеням свободы ($\nu_1 = r - 1$; $\nu_2 = N - r$) по таблице IX (Плохинский, 1970) или табл.9П (Зайцев, 1984).

Пример. Вычислить силу влияния способа обработки почвы на численность водорослей озимого поля.

Предварительно составим схему дисперсионного комплекса (число градаций $r = 4$).

	Число клеток водорослей по градациям фактора (в тыс. на 1 г почвы)			
	1	2	3	4
Варианты (повторности)	106	75	207	46
	182	83	165	51
	111	62	131	82
	104		240	
n_i	4	3	4	3
$N = 14$				

Обозначения: 1 - ступенчатая обработка; 2 - обычная вспашка на глубину 20-22 см; 3 - глубокое рыхление на 30-35 см; 4 - глубокая вспашка на 30-35 см.

Результаты: частные средние

$$M_1 = 125,5; M_2 = 73,33; M_3 = 185,75; M_4 = 59,67.$$

Сила влияния фактора $\eta_x^2 = 0,743$; ошибка силы влияния $m_{\eta_x^2} = 0,077$

критерий Фишера $F = 9,62$, случайная дисперсия $\sigma_x^2 = 12056284$.

Число степеней свободы:

$$\nu_1 = r - 1 = 4 - 1 = 3; \quad \nu_2 = N - r = 14 - 4 = 10.$$

Из таблицы IX (Плохинский, 1970) стандартные значения критерия Фишера F_{st} равны при $P=95\%$ - 3,7; при $P=99\%$ - 6,6; при $P=99,9\%$ - 12,3.

Сила влияния способа обработки почвы на численность водорослей оказалась статистически достоверной при $P=99\%$, на ее долю падает 74,3% общей дисперсии.

Для анализа влияния двух факторов применяют двухфакторный дисперсионный анализ по алгоритмам 23-29 Н. А. Плохинского (1970) или по Г. Н. Зайцеву (1984, §4.16, §4.18, §4.19).

4.6. Сравнение количественных показателей. Сравнение средних арифметических и дисперсий.

Установление статистически достоверной разницы между двумя выборками проводится сравнением средних арифметических, дисперсий и их ошибок по критериям Фишера F и Стьюдента t .

$$t = \frac{M_1 - M_2}{\sqrt{m_1^2 + m_2^2}}, \quad \text{число степеней свободы } \nu = N_1 + N_2 - 2$$

$$F = \frac{\sigma_1^2}{\sigma_2^2}, \quad \text{число степеней свободы } \nu_1 = N_1 - 1; \quad \sigma_2^2 = N_2 - 1;$$

где M_1 и M_2 - средние арифметические двух выборок; m_1 и m_2 - ошибка средних; σ_1 и σ_2 - средние квадратические отклонения; N_1 и N_2 - объемы выборок; ν - число степеней свободы.

Пример 1. Сравнивается биомасса водорослей выщелоченного чернозема в разные сроки наблюдений: средняя арифметическая из $N = 12$ выборок в июле составила $M_1 = 376$ мг/м², ее ошибка $m_1 = 42$ мг/м², а в августе - соответственно $M_2 = 432$ мг/м² и $m_2 = 68$ мг/м².

$$t = \frac{432 - 376}{\sqrt{68^2 + 42^2}} = 1,05$$

Из таблицы $t_{st} = 2,04$ ($P=95\%$) при $\nu = 12+12-2=22$. Следовательно, разница между биомассой водорослей в июле и в августе недостоверна и судить о влиянии сроков наблюдений на биомассу неправомерно.

Пример 2. Сравним дисперсии двух выборок из раздела 4.1.3.

$$M_1 = M_2 = 39,1; \quad \sigma_1 = 8,36; \quad \sigma_2 = 2,33.$$

$$F = \frac{8736}{2733} = 12,87; \quad \text{при } \nu_1 = 10 - 1 = 9 \quad \text{и } \nu_2 = 10 - 1 = 9$$

$$F_{st} = 10,37 \quad \text{при } P=99,9\%$$

Следовательно, при равных значениях средних арифметических по вариабельности числа клеток эти выборки достоверно различаются.

Расчеты количественных показателей проводятся по программам STATGRAPHICS, Microsoft Excel на ПК или же по программам для микроЭВМ (Кузяхметов, 1986).

5. МЕТОДЫ ИЗУЧЕНИЯ ЦЕНОТИЧЕСКОЙ ОРГАНИЗАЦИИ ПОЧВЕННЫХ ВОДОРΟΣЛЕЙ.

5.1. Ценотическая организация почвенных водорослей.

При характеристике водорослей обычно используются понятия "группировка", "сообщество" ("ценоз"), "синусия". Мы характеризуем их как альгосинусии определенных растительных сообществ. Затруднения вызывают случаи, когда отсутствуют растительные сообщества или они представлены фрагментами, микрогруппировками. Водорослевые группировки при отсутствии высших растений названы Л. Н. Новичковой-Ивановой (1980) альгоценозами, когда они являются сериальными сообществами начальных стадий сукцессии растительности. Это понятие не распространяется автором на иные группировки водорослей, заселяющие биотопы, где временно отсутствуют вегетирующие растения или они представляют антропогенные группово-зарослевые и диффузные сообщества (гари, паровые поля, газоны, теплицы и т.п.). В таких случаях альгосинусии ошибочно относят к другим совокупностям экосистем; в альгологической литературе мы можем встретить синусии водорослей пахотных земель, альгосинусии карбонатных черноземов, эродированных почв, муравейника и даже в гидробиологии -

альгосинузии мелководий. Поэтому наряду с ценозами пионерной растительности понятие "альгоценоз" целесообразно использовать и для приведенных выше случаев (Кузяхметов, 1999).

При изучении влияния нанорельефа на водоросли посевов многолетних трав на нанопонижениях мы встречали альгогруппировки с доминированием влаголюбивых видов. Они явно не вписываются в альгосинузии, характерные для посевов многолетних трав и мезофильные по гидрологическому режиму почвы. Кроме того, такие автономные сообщества с гидрофильными видами в доминантном комплексе мы выявляли на нанопонижениях даже в степных сообществах, что показывает их высокую чувствительность к факторам среды и, вследствие этого, их более тонкую дифференциацию по биотопам. При этом высшие растения на таких элементах нанорельефа реагировали на режим увлажнения лишь усилением роста, их состав не изменялся.

Исходя из вышеизложенного, мы предлагаем выделить и сделать общим понятие "альгоценоз" ("сообщество водорослей") для всех случаев обнаружения и выявления группировок водорослей, которые можно характеризовать по видовому составу, составу доминантов, жизненным форм, пространственной структуре, функциональным особенностям (численности, биомассе, продуктивности). Альгосинузии следует выделять в случаях характеристики их как составных частей фитоценозов.

5.2. Методы анализа структурно-функциональной организации почвенных альгоценозов

При анализе полученных данных, сведенных в матрицу (табл.1), применяются принципы и методы изучения ценотической организации водорослей (Новичкова-Иванова, 1967; Штина, 1972; Штина, Голлербах, 1976; Кузяхметов, 1997 и др.). Для характеристики почвенных альгоценозов использовали следующие признаки:

1) Видовой состав.

Основной характеристикой альгоценозов является их видовой состав: виды, встреченные на стеклах обростания с баллами обития 4, 5 и 6 являются доминирующими.

2) Соотношение систематических групп.

Соотношение систематических групп обычно выявляют на уровне следующих таксонов: отделов, классов, порядков, семейств, родов. Часто ограничиваются двумя уровнями (отдел, порядок). Целесообразно привести их соотношение в процентах.

3) Состав и соотношение доминантов, экобиоморф (жизненных форм).

Экобиоморфы (жизненные формы) характеризуют экологические особенности водорослей, независимо от систематической принадлежности (Штина, Голлербах, 1976). В настоящее время в почвенной альгологии принята следующая классификация экобиоморф:

1. **Ch-форма:** одноклеточные и колониальные зеленые и частично желтозеленые водоросли, обитающие в толще почвы, но при благоприятной влажности дающие разрастания и на поверхности почвы. Эти виды отличаются исключительной выносливостью к различным экстремальным условиям и обычно обозначаемые как убиквисты. Название происходит от родов *Chlorella*, *Chlorococcum*. Из нитчатых в эту группу включаются виды рода *Stichococcus*, представленных в почве одноклеточными фрагментами.
2. **C-форма** включает одноклеточные, колониальные или нитчатые формы, которые могут образовывать обильную слизь. В отличие от Ch-формы, относящиеся сюда виды более требовательны к влаге. Род *Chlamydomonas* и некоторые другие могут легко переходить в пальмеллевидное состояние. В пределах этой жизненной формы выделена Cf- форма, включающая микроскопические талломы азотфиксирующих синезеленых водорослей: *Nostoc*, *Anabaena*, *Cylindrocapsa*, способные давать слизистые разрастания на поверхности почвы.
3. **X- форма** – одноклеточные желтозеленые (название от *Xanthophyta*) и многие зеленые водоросли, живущие среди почвенных частиц, теневыносливые, но неустойчивые против засухи и экстремальных температур.
4. **B- форма** - диатомовые (название от *Bacillariophyta*) – подвижные клетки, живущие в самых поверхностных слоях влажной почвы или в слизи других водорослей. Холодостойкие, светолюбивые, многие формы солевые, но неустойчивые против высыхания.
5. **P- форма** – нитевидные синезеленые (*Phormidium*, *Plectonema*), не образующие значительной слизи. Большинство из них – типичные ксерофиты, преобладающие в аридных почвах. Сюда относятся некоторые азотфиксирующие виды, обозначаемые как **Pf- форма**.
6. **M- форма** – синезеленые в виде более или менее слизистых нитей, образующие макроскопически заметные корочки или дерновинки на поверхности почвы (*Microcoleus* – отсюда название,

Schizothrix, Hydrocoleus). Отличаются исключительной засухоустойчивостью и теплоустойчивостью.

7. *H-* форма – нитевидные зеленые и желтозеленые (Heterorhithrix, Chlororhithmum, Ulothrix, Stichococcus, Bumilleria и др.) неустойчивые против засухи и сильного нагревания.
8. *Nf-* форма – виды рода Nostoc, образующие наземные макроскопические галломы: N. commune, N. microscopium. Световыносливые и засухоустойчивые виды – психрохалофилы.
9. *V-* форма – нитевидные водоросли, преимущественно Vaucheria, образующие войлокообразные налеты на поверхности влажных почв.
10. *amph.* - форма – достаточно часто встречаются в почвах, но явно тяготеющие к обитанию в воде или почвах, но явно тяготеющие к обитанию в почвах, хотя бы временно переувлажненных (Штина и др., 1981). Это виды рода Botrydium, Gongrosira debaryana.
11. *hydr.* - форма – обитающие в водоемах и случайно оказавшиеся в почве, виды родов Cosmarium, Closterium, Spirogyra.

Располагая индексы жизненных форм в порядке убывания числа видов, мы получаем спектр жизненных форм, например $Ch_5X_4H_4P_1B_1$.

4) Состав специфических (характерных) видов

Специфические (характерные) виды выявляются на основании присутствия-отсутствия в определенных местообитаниях. Они могут быть индикаторами факторов среды: увлажнения (влаголюбивые диатомовые из родов Pinnularia, Nitzschia), заболачивания и подкисления (десмидиевые из родов Cosmarium, Closterium), органического загрязнения почвы вокруг животноводческих ферм (виды из рода Euglena) и др.

5) Пространственная структура: горизонтальное и вертикальное распределение водорослей в (на) почве.

Водоросли чутко реагируют на неоднородность среды. Мелкие неровности почвы (нанорельеф), фитогенные поля, локальные загрязнения вызывают изменение состава и структуры альгоценозов, поэтому желательно специально изучить их влияние или сивелировать взятием усредненных образцов. Вертикальное распределение водорослей изучается по почвенным горизонтам и желательно, учитывая фототрофию водорослей, при маршрутных исследованиях ограничиться поверхностным слоем 0-1 см. В агроэкосистемах следует брать пробы почвы в пахотном слое 4-5 см, 10-11 см и 24-25 см.

6) Функциональная организация: временное состояние популяций (ежесуточная, сезонная, многолетняя динамика численности, биомассы, продукции, обилия, встречаемости, сукцессии альгоценозов).

Данный признак характеризует альгоценоз по фиксированным по срокам наблюдений количественным показателям, среди которых важными являются численность, биомасса и продукция. Для вычисления продукции водорослей почвенные образцы берутся ежедневно в течение 10-15 дней в разные сезоны года или месяцы. Сезонная динамика должна включать не менее 5 сроков отбора проб: начало весны (начало мая), начало лета (июнь), середина лета (июль), начало осени (начало сентября), глубокая осень (конец октября). В связи с антропогенной трансформацией экосистем большое значение имеет изучение многолетней динамики и смены альгоценозов во времени – сукцессии. Длительные сроки исследований имеют важное значение в организации альгомониторинга окружающей среды.

6. МЕТОДЫ ФЛОРИСТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА.

Характеризуя флору водорослей почв, мы не придерживаемся того строгого понятия флоры, принятого во флористике (Голмачев, 1974), и включающего всю совокупность видов определенной территории. Тогда нам пришлось бы включить в эту совокупность и виды водорослей, обитающие в водоемах, болотах и т.п. местообитаниях исследуемой территории. В почвенной альгологии видовой состав водорослей, т.е. альгофлора, традиционно анализируется как совокупность видов определенно сгруппированных по сходным экологическим признакам вневодных местообитаний: пойма, пашня, степь, лес, дуг и т.д.

Для выяснения систематического состава водорослей водоемов и почв различных природных зон и регионов применяются критерии сравнительной флористики, разработанные для видовой состава сосудистых растений. При изучении альгофлоры почв традиционно дается сравнительный анализ видовой богатства (по числу видов и внутривидовых таксонов), процентного распределения видов по крупным систематическим группам, изредка анализируются “пропорции флор”: среднее число видов в роде, семействе, среднее число родов в семействе, т.е. анализируется систематическое разнообразие и структура флор.

Богатство и степень представленности того или иного крупного таксона во флорах указывает на длительность этапа освоения территории суши предками и последующими потомками, на скорость видообразования, хотя последняя очень низка в условиях вневодных местообитаний, являющихся

крайне неблагоприятными для представителей многих систематических групп водорослей. Вместе с тем в природе широко осуществляется перенос зачатков и покоящихся стадий водорослей атмосферным воздухом, возможны гидро-, зоо-, антропохории. Флористические различия определенных территорий всецело обусловлены экологическими различиями участков и сопротивлением аборигенного населения внедрению экологически чуждых элементов. Отсюда, на очень малых по площади экотопах возрастает роль случайных факторов в заселении их водорослями. Поэтому иногда различия в видовом составе небольших участков бывают большими, нежели более крупных территорий: ландшафтов, геоботанических районов и выше.

При исследовании и сравнении флор А. И. Толмачев (1986) большое значение придавал систематической структуре и, учитывая ее консервативность и определенную независимость от других показателей и факторов, считал одним из существенных диагностических признаков. Систематическая структура флор менее зависима от степени изученности и различий в видовом богатстве и в площадях регионов. В сравнительной флористике разработаны и широко применяются количественные методы анализа: коэффициенты сходства, ранговой корреляции, показатели пространственного разнообразия, плотности флоры, меры включения и т.д.

В почвенно-альгологических исследованиях используются разнообразные коэффициенты сходства, основанные на абсолютном числе видов в сравниваемых флорах: Жаккара, Сэрнсена, Стутрена-Радулеску и др. (Новичкова-Иванова, 1980; Штина и др., 1981; Дубовик, 1995 и др.), или же основанные на значимости видов (численности особей, обилии, активности и т.д.: Штейнгауза (Кузяхметов, 1981), Груи (Grui, 1980), Стандера (Sullivan, 1977), расстояние Василевича (Кузяхметов, 1985), евклидово расстояние (Кузяхметов, 1986) и др.

Индексы сходства предполагают равновеликие флоры, что в практике наблюдается редко, а для разновеликих флор значения сходства никогда не достигают своей максимальной величины (100%, $\pm 1,0$) даже при отсутствии специфических видов в одной из сравниваемых флор (Седельников, 1982). Значения индексов отражают усредненное сходство, и их величины определяются не только числом общих видов, но и отношением видового богатства. Сходство тем выше, чем больше число общих видов и меньше разность в количестве видов сравниваемых флор. Поэтому при анализе разновеликих флор с использованием подобных индексов возможны искажения в оценке степени сходства флор. Следует отметить также то, что для анализа сводных данных из работ разных авторов при различных масштабах и степени изученности алгофлор регионов использование ко-

эффициентов сходства является абсолютно неправомерным. Поэтому более полное и единственно возможное в этом случае представление о сравниваемых флорах можно получить используя один из важнейших показателей систематической структуры – порядок расположения ведущих по систематическому разнообразию таксонов разного уровня: порядков, семейств, родов, а также долю их участия в сравниваемых флорах и "пропорции" флор. Для анализа применяются коэффициент ранговой корреляции Кэндала или коэффициент Спирмена. Коэффициент ранговой корреляции Спирмена отличается простотой и доступностью при расчете на небольших счетных машинах (Кузяхметов, 2000). Он вычисляется по формуле

$$r_s = 1 - \frac{6 \sum d^2}{(n-1)n(n+1)}, \text{ где } d - \text{разность рангов, } n - \text{число пар рангов.}$$

При наличии усредненных рангов - $r_s = \frac{C_1 + C_2 - C_d}{2\sqrt{C_1 \cdot C_2}}$, где

$$C_{1,2} = \sum V_{1,2}^2 - \frac{(\sum V_{1,2})^2}{n}; C_d = \sum d^2; V_1 - \text{ранг таксона в первой флоре; } V_2 - \text{ранг таксона во второй флоре.}$$

Пример. Дается анализ почвенной альгофлоры геоботанических районов Предуралья (табл. 3).

Таблица 3

Таксономическая структура альгофлоры почв степной и лесостепной зоны Предуралья

Элементы таксономической структуры	Лесостепь					Степь		Всего
	1	2	3	4	5	6	7	
число видов и внутривидовых таксонов								
Cyanophyta	36	36	63	83	28	36	52	106
Bacillariophyta	11	13	13	15	8	9	12	24
Xanthophyta	9	14	24	30	10	9	14	42
Chlorophyta	34	43	56	85	36	27	50	100
Итого:	90	111	156	213	82	81	128	272
Число видов	84	102	142	199	77	72	116	254
Число родов	43	56	60	76	44	39	53	87
Число семейств	25	26	29	36	24	21	29	40
Пропорция флор: вид/семейств.	3,4	3,9	4,9	5,5	3,2	3,8	4,0	6,4
род/семейств	1,7	2,2	2,1	2,1	1,8	1,8	1,8	2,2
вид/род	1,9	1,8	2,4	2,6	1,7	2,1	2,2	2,9

Примечание. Здесь и в таблицах 4,5,6 и на рисунках 2,3 геоботанические районы: лесостепные: 1 – Буйско-Танышский; 2 – Центрально-Бирский;

3 – Средн-Айский; 4 – Прибельский; 5 – Подгрядный; степные; 6 – Причер-масанский; 7 – Ашкадарский.

Таксономический анализ флор показал существенные различия в представленности различных систематических групп во флорах и тесную связь значений пропорции флор с общим числом видов ($r = 0,97-0,98$). Более устойчивым является отношение род/семейство, для всех флор оно имело близкие значения – 1,7-2,2. Прибельский и Средне-Айский лесостепные районы отличаются многовидовостью семейств и родов, что указывает на сравнительно благоприятные условия для обитания близкородственных видов в почвах этих районов.

Для расчета коэффициента ранговой корреляции составляется списки ведущих, убывающих по рангу (по числу видов) 10 порядков, семейств и родов (табл. 4). Затем составляется матрица значений коэффициента (табл. 5) и дендрит по заданным пороговым значениям (рис. 2).

Таблица 4

Спектр ведущих по числу видов семейств во флорах лесостепных районов Предуралья

Ведущие семейства	% от общего числа видов (а) и ранги семейств (b)							
	1		2		3		4	
	a	b	a	b	a	b	a	b
Oscillatoriaceae	19,1	1	15,3	1	17,9	1	14,1	1
Chlorococcaceae	14,7	2	12,6	2	9,6	2	10,8	2
Nostocaceae	9,5	3,5	8,1	4,5	6,4	6,5	5,6	7
Ulotrichaceae	9,3	3,5	9,0	3	7,0	4,5	5,2	8
Chlamydomonadaceae	7,4	5	7,2	6,5	7,0	4,5	8,9	3
Naviculaceae	6,5	6	7,2	6,5	5,1	8	6,1	5,3
Schizotrichaceae	5,5	7,5	6,3	8	6,4	6,5	7,0	4
Pleurochloridaceae	5,5	7,5	8,1	4,5	7,7	3	6,1	5,3
Chlorellaceae	2,7	9	2,7	9,5	1,9	10	2,3	9,5
Anabaenaceae	1,8	10	2,7	9,5	2,6	9	2,3	9,5

Видно, что в альгофлорах всех исследованных районов лидирует семейства Oscillatoriaceae и Chlorococcaceae, эта черта характерна для альгофлор лесостепи и степи вообще. Положение остальных семейств в спектре определяется географическим положением районов. В альгофлорах северных районов более многочисленны семейства Ulotrichaceae, Nostocaceae. В более увлажненном Средне-Айском районе сравнительно высокое положение занимает семейство Pleurochloridaceae.

Рассчитанные значения коэффициента Спирмена сводятся в матрицу (табл.5).

Таблица 5

Матрица значений коэффициента ранговой корреляции Спирмена, характеризующих степень сходства ведущих по числу видов семейств и родов в альгофлорах районов Предуралья

	1	2	3	4
1		0,92	0,77	0,67
2	0,44		0,89	0,62
3	0,64	0,77		0,79
4	0,66	0,65	0,84	

Примечание. Над диагональю значения r_s для ведущих семейств, под диагональю – для ведущих родов. По краям таблицы номера геоботанических районов. Выделены максимальные значения коэффициента.

Видно, что значения r_s для семейств выше, чем для родов. На основе данной матрицы строятся дендриты сходства флор по структуре ведущих семейств и родов (рис.2). Для этого произвольно выбираются пороговые значения, для семейств можно выбрать верхний порог ниже максимального значения – $\geq 0,90$, далее снижается его значения на 0,10, т. е. $\geq 0,80$, $\geq 0,70$, $\geq 0,60$. Таким же образом рассчитывается r_s для ведущих порядков, жизненных форм.

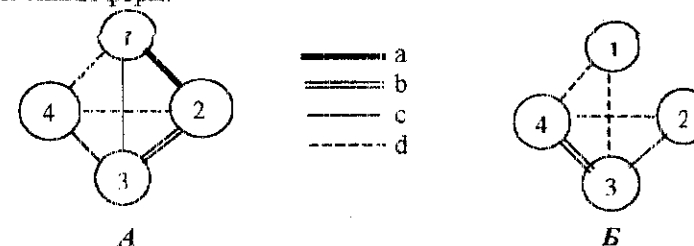


Рис. 2. Дендриты, отражающие степень сходства структуры ведущих по числу видов семейств (А), родов (Б) при пороговых значениях r_s : а $\geq 0,90$; б $\geq 0,80$; в $\geq 0,70$; д $\geq 0,60$.

На дендрите видно, что тесные корреляционные связи на уровне семейств имеют геоботанические районы 1 и 2, а также 2 и 3. На родовом уровне флористические связи сравнительно слабые, большее сходство выявлено только между 3 и 4, а связь между 1 и 2 оказалась ниже минимального порога.

Для сравнительного анализа флористических списков используются коэффициенты сходства Серенсена $K_C = \frac{2C}{A+B}$ и Стюггена-Радудеску

$$K_{C-P} = \frac{3C - A - B}{A + B - C}, \quad \text{а также коэффициент специфичности}$$

$$K_{Cn} = \frac{(A - C) \cdot 100}{A}, \quad \text{где } A - \text{число видов в первой флоре, } B - \text{число}$$

видов во второй флоре, C - число видов, общих для двух флор (Малышев, 1972; Шмидт, 1974; Кузяхметов, 1986). Коэффициент Серенсена K_C принимает значения в долях единицы или в %, умножая на 100. Коэффициент K_{C-P} изменяется от +1 до -1. Положительные значения K_{C-P} указывают на сходство между двумя флорами (сообществами), отрицательные -- на их различия. Значения от 0 до $\pm 0,3$ показывают слабое сходство или различие, от $\pm 0,4$ до $\pm 0,6$ - умеренное, от $\pm 0,7$ до $\pm 1,0$; +1,0 -- полное сходство, -1,0 -- полное различие видового состава альгоценозов (альгофлор).

При анализе разновеликих флор более полную и объективную оценку отношения флор можно получить при использовании мер включения (Семкин, Комарова, 1977; Юрцев, Семкин, 1980; Кузяхметов, 1991), указывающих на полноту включения первой флоры во вторую и второй флоры в первую в паре сравниваемых флор, при этом учитывается и значимость видов. Меры включения вычисляются по формулам (Семкин, Комарова, 1977):

$$K(A, B) = \frac{\sum \min(x_{iA}, x_{iB})}{\sum x_{iB}}, \quad K(B, A) = \frac{\sum \min(x_{iA}, x_{iB})}{\sum x_{iA}}, \quad \text{где}$$

$K(A, B)$ - мера включения флоры В во флору А; $K(B, A)$ - мера включения флоры А во флору В; x_{iA} - активность i -го вида во флоре А; x_{iB} - активность i -го вида во флоре В. Меры сходства Серенсена с учетом активности видов рассчитывали по формуле:

$$K_C = \frac{2 \sum \min(x_{iA}, x_{iB})}{\sum x_{iA} + \sum x_{iB}}.$$

Вместо активности вида можно использовать его обилие или встречаемость.

При сравнении флористических списков по присутствию-отсутствию видов формулы мер включения принимают вид $K(A, B) = \frac{C}{B}$ и

$K(B, A) = \frac{C}{A}$. Полученные цифровые показатели сводятся в матрицы мер сходства и мер включения. По данным матриц строятся графы отношения сравниваемых флор по заданным пороговым величинам.

Для сравнения альгоценозов можно использовать меру различия по баллам обилия, используя евклидово расстояние $ED = \sqrt{\sum (a_i - a_j)^2}$, где a_i - балл обилия вида в первом сообществе; a_j - балл обилия этого же вида во втором сообществе.

По всем этим показателям можно построить дендриты или графы отношений, задавая пороги значений коэффициентов (Кузяхметов, 1991).

Пример 1. Вычислим сходство и меры включения альгофлор лесостепных районов Предуралья. Сначала на основе валового списка видов водорослей составляется рабочая таблица сравниваемых пар флор (табл. 6).

Таблица 6

Расчет коэффициентов сходства и мер включения по присутствию-отсутствию видов ($K \times 100$) для лесостепных районов Предуралья

Сравниваемые пары	A	B	C	K_C	K_{C-P}	$K(A, B)$	$K(B, A)$
1-2	90	111	57	57	-21	51	63
1-3	90	156	76	62	-34	49	84
1-4	90	213	81	53	-27	38	90
1-5	90	82	45	52	-29	55	50
2-3	111	156	86	64	-25	55	77
2-4	111	213	95	59	-17	45	85
2-5	111	82	50	52	-30	61	45
3-4	156	213	130	70	+9	61	83
3-5	156	82	65	55	-25	79	42
4-5	213	82	74	50	-33	90	35

Примечание. выделены максимальные значения коэффициентов

Из таблицы 5 строится матрица мер сходства и включения по флористическому составу (табл. 7).

Таблица 7

Матрица сходства и мер включения по присутствию-отсутствию видов

	1	2	3	4	5
1	90	<u>57</u> 57	<u>76</u> 62	<u>81</u> 53	<u>45</u> 52
2	<u>51</u> 63	111	<u>86</u> 64	<u>95</u> 59	<u>50</u> 52
3	<u>49</u> 84	<u>55</u> 77	156	<u>130</u> 70	<u>65</u> 55
4	<u>38</u> 90	<u>45</u> 86	<u>61</u> 83	213	<u>74</u> 50
5	<u>55</u> 50	<u>61</u> 45	<u>79</u> 42	<u>90</u> 35	82

Примечание. На диагонали жирным курсивом выделены число видов в сравниваемых флорах; над диагональю в числителе – число общих для сравниваемых пар флор видов C ; в знаменателе – значения коэффициента Серенсена K_C ; под диагональю в числителе – значения меры включения флоры B во флору A ; в знаменателе – значения меры включения флоры A во флору B . По краям таблицы номера геоботанических районов лесостепи Предуралья.

Существенные различия по числу видов отразились на сходстве флор: большие значения числа общих видов C не всегда дают соответствующие значения K_C . Значения коэффициента K_C указывают на слабые различия между флорами, за исключением 3 и 4.

По данным матрицы строятся графы отношений сравниваемых флор. Выбираются пороговые величины по максимальным значениям и интервалы между ними (рис. 3). На графе А (рис. 3) Средне-Айский район (3) имеет четыре связи выше пороговых значений коэффициента сходства Серенсена, а богатый альгофлорой Прибельский район (4) – только две сильные связи. Такое распределение значений коэффициента сходства отражает не только степень сходства, но и в некоторой степени выравнивание флор по числу видов (90, 111, 156, 82), а в альгофлоре Прибельского района оно значительно выше.

Метод мер включения даст количественную оценку степени представления видов меньшей флоры в большей, в этом плане он лишен недостатков коэффициента сходства. На графе Б (рис. 3) видно, что для многих пар флор отношения мер включения по сравнению с мерами сходства значительно превышает выбранные нами значения пороговых величин. Узло-

вос место в Предуралье занимает Прибельский район (4), на графе А (рис. 3) к нему направлены все стрелки. Вторым узел богатой альгофлоры – Средне-Айский район (3), к нему направлены три стрелки.

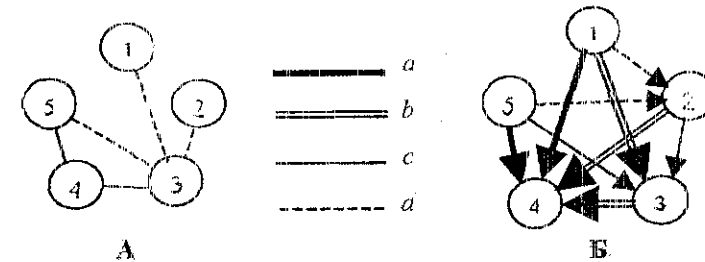


Рис. 3. Графы отношений сходства (А) и мер включения (Б) по присутствию-отсутствию видов в альгофлорах лесостепи Предуралья при $K \geq 90(a)$, $K \geq 80(b)$, $K \geq 70(c)$, $K \geq 60(d)$.

При анализе сходства и мер включения с учетом "веса" видов (баллов обилия, встречаемости и активности) суммируются минимальные значения значимости видов в сравниваемых парах флор, затем эта сумма делится на сумму баллов значимости одной из флор.

Пример 2. По валовому списку видов суммируются все баллы обилия во всех выборках, потом суммируются минимальные значения, учитывая в нули (табл. 8). При этом равнозначные баллы принимаются за нуль.

Таблица 8

№№ видов	Валовой список видов по баллам обилия				
	Баллы обилия в альгоценозах (1-5)				
	1	2	3	4	5
1	3	4	2	0	1
2	0	1	0	1	1
3	4	3	4	2	2
4	4	2	0	4	4
5	2	2	1	0	4
6	0	1	0	2	0
7	1	0	1	0	2
Σ	14	13	8	9	14

Вычислим для альгоценозов 1 и 2 $\sum \min(a_{i1}; a_{i2}) = 3+0+3+2+0+0+0=8$; для 1 и 3 – $2+0+0+0+1+0+0=3$; для 2 и 3 – $2+0+3+0+1+0+0=6$ и т. д.

Затем вычисляются значения коэффициентов сходства или мер включения, составляется матрица и строятся графы отношений (Кузяхметов, 1991).

7. МЕТОДЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПОЧВЕННЫХ АЛЬГОЦЕНОЗОВ И ПОПУЛЯЦИЙ ВОДОРосЛЕЙ ДЛЯ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ.

Для оценки состояния среды можно использовать разные уровни организации почвенных водорослей: организменный, уровень штаммов, популяционный, ценотический, уровень альгологических (альгофлористических) комплексов в масштабе ландшафта, района, региона, флористических областей. Почвенные альгоценозы способны быстро реагировать на происходящие процессы и изменения в окружающей среде, и занимают поэтому важное место в биомониторинге.

Под действием тех или иных интенсивно действующих антропогенных факторов наблюдаются изменения на уровне клеток водорослей, их размерно-морфологических показателей, аномалий в протопластах, оболочках клеток. Это может быть появление слизи или резкое увеличение слизистого чехла (Кабиров, 1995). Иногда наблюдается минимизация клеток в среде с высоким содержанием поверхностно-активных веществ – ПАВ (Ханисламова и др., 1988), при проявлении водно-эрозионных процессов (Дубовик, 1998) или наоборот аномальное увеличение их размеров в качестве реакции водорослей на загрязнение нефтью (Штина, Некрасова, 1988).

Под действием факторов среды изменяются различные характеристики водорослевых популяций: численность, биомасса, обилие, возрастной состав, соотношение живых и мертвых клеток. Для целей индикации рекомендуется использовать популяции широко распространенных, легко определяемых видов водорослей. В современных условиях сильного антропогенного пресса информацию о состоянии среды можно получать, используя такие эврибонтные виды, как *Hantzschia amphioxys*, *Chlorella vulgaris*, *Navicula mutica*, *Phormidium autumnale*.

Для целей индикации можно использовать изменения состава, структуры и характера функционирования природных водорослевых ценозов. При этом рекомендуется изучать водоросли различающиеся по генезису почв, например, серых лесных и черноземных почв.

В альгсмониторинге окружающей среды наиболее информативными являются состояние и реакция популяций и сообществ водорослей. Мы приводим примеры некоторых методов использования водорослей.

7.1. Изучение интенсивности действия факторов среды токсичности пестицидов.

Почвенные культуры со “стеклами сбрастания” являются удобным объектом в экологическом моделировании, в создании экспериментальных микрокосмов (Кузяхметов, 1996). В чашках Петри с почвенным образцом, содержащим альгоценоз той или иной почвы, можно смоделировать и изучить влияние как абиотических (температура, влажность и т. д.) и биотических (пресс альгофагов, антибиоз, конкуренция), так и антропогенных (технология земледелия, ядохимикаты, тяжелые металлы и др.) факторов. Нами разработан способ оценки состояния почв при их антропогенном загрязнении, способы выявления границ толерантности, и их можно применять в оперативном контроле за состоянием окружающей среды. Полученные данные по значимости этих групп в виде встречаемости на полосах стекол сбрастания можно анализировать, используя статистические методы: расчеты асимметрии, эксцесса, информационных индексов разнообразия, параметрических и непараметрических критериев сравнения выборочных данных, дисперсионный анализ и т. д. (Зайцев, 1984; Кузяхметов, 1986; Одум, 1986).

Для изучения действия факторов среды используются богатые альгофлорой целинная почва или же почва под озимой рожью или посевами многолетних трав. Устойчивость почвенной биоты связана с буферностью самой почвы. Поэтому при изучении действия того или иного фактора на почвенные водоросли необходимо брать различающиеся по генезису серые лесные и черноземные почвы.

Пример. Объектами исследования служили альгоценозы серых лесных почв и выщелоченных черноземов. Почвенные образцы были взяты под озимой рожью. Изучали действие сернокислой меди и хлорокиси меди, используемых в сельском хозяйстве в борьбе с болезнями растений, на почвенные водоросли. Содержание меди в них 24,5 и 50-52% соответственно. Испытывались производственные (0,5-15 кг/га CuSO_4 и 1,5-9 кг/га хлорокиси меди) и повышенные дозы препаратов. В модельных опытах в чашки Петри, содержащей 40 г почвенного образца, просеянного через сито в 3 мм, вносили однократно в виде водного раствора (хлорокись меди в виде водной эмульсии) по 35 мл раствора. Такой эмпирически рассчитанный объем дает возможность равномерному увлажнению почвы в чашке и соответствует поддерживаемой в ходе эксперимента влажности в 80-100% от полной влагоемкости. Расчет необходимого количества препаратов меди на чашку Петри с площадью 71 кв.см проводили следующим образом (пример с максимальной дозой медного купороса в 60 кг/га):

$$1 \text{ га} = 10000 \text{ кв.м} - 60 \text{ кг} = 6000 \text{ г}$$

$$71 \text{ кв.см} = 0,0071 \text{ кв.м} - x \text{ г}$$

$$\bar{x} = \frac{0,0071 \cdot 60000}{10000} = 0,426 = 42,6 \text{ мкг}$$

Исходя из этого, навеску соли з 42,6 мг растворили в 35 мл воды. Для сравнения с литературными данными можно рассчитать также содержание ионов меди в 1 л приготовленных растворов (табл. 9).

Таблица 9

Препарат	Доза					
$\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$, кг/га	0,5	2,5	5,0	15,0	30,0	60,0
Cu^{2+} , мг/л	2,5	12,7	25,4	76,1	152,2	304,2
$3\text{Cu}(\text{OH})_2 \cdot \text{CuCl}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$	1,5	3,0	6,0	9,0	18,0	36,0
кг/га Cu^{2+} , мг/л	11,8	23,6	47,2	94,4	188,8	377,6

В контрольные чашки вносили такой же объем дистиллированной воды. Повторность опыта четырехкратная. В чашки на влажную поверхность почвы помещали по 3-4 стерильные покровные стекла. Чашки ставили под люминистат с освещением в 3000-4000 люкс, влажность поддерживали на уровне 80-100% от полной влагоемкости, добавляя при необходимости стерильную дистиллированную воду. Через 12-14 дней и повторно через месяц инкубирования на свету проводили просмотр обросшую водорослями нижнюю поверхность покровных стекол.

Для характеристики состояния альгоценозов и развития водорослей использовали показатели их обилия на стеклах обрастания путем просмотра четырех полос по краю стекла, где складываются наиболее благоприятные условия для роста водорослей, по четырех балльной шкале (разд. 2.1).

Полученные данные статистически обрабатывали, рассчитывали индексы разнообразия Шеннона-Уивера, доминирования Симпсона (разд. 4.2). Кроме того, рассчитывали степень токсичности препаратов меди для почвенных водорослей по формуле:

$$K_T = \frac{(B - A)}{B}, \text{ где } B - \text{сумма баллов обилия видов в контроле; } A -$$

сумма баллов обилия при испытанной дозе препаратов меди.

Коэффициент токсичности показывает гибель видов водорослей в долях единицы. При полной гибели водорослей $K_T=1,0$. Вместо сумм значимости (баллов обилия) возможно использование числа видов, тогда при

гибели половины числа видов $K_T=0,5$. Сравнение K_T с летальной дозой ЛД₅₀ для теплокровных животных показало отсутствие связи между ними.

Полученные данные сводили в таблицы и диаграммы, дана интерпретация полученных данных (Кузяхметов, 1998).

7.2. Изучение степени эродированности почв.

Исследования, проведенные на участках, различающихся по степени смытости почвы, по эдификаторам агроэкосистем, показали, что количественные показатели альгоценозов в эродированных почвах, как правило, всегда значительно ниже, чем в неэродированных. Альгоценозы здесь быстрее приходят в критическое состояние, при котором клетки водорослей не обнаруживаются прямым методом учета. С увеличением степени эродированности наблюдается устойчивое снижение численности и биомассы водорослей. Выявленная закономерность проявляется в пахотных и целинных почвах.

Обработка экспериментальных данных показала, что показателем эродированности почв может служить коэффициент $K_э$, который рассчитывается по формуле:

$$K_э = \frac{B_э}{B_K}, \text{ где } B_э - \text{биомасса водорослей участков различной сте-}$$

пени эродированности; B_K - биомасса водорослей неэродированного участка. Так, если $K_э$ имеет значение в пределах 0-0,5, то почву можно отнести к сильноэродированной, среднеэродированная характеризуется значением $K_э$ 0,50-0,75. Коэффициент $K_э$, равный 0,75-1,00, указывает на слабое развитие эрозионных процессов (Дубовик, 2000). Возможность использования данного коэффициента была проверена другими исследователями в условиях горных тундр (Гецен и др., 1994), где параллельно были проведены исследования физико-химических и микроструктурных особенностей почв, которые подтвердили правомерность использования альгологического критерия в качестве диагностического показателя для эрозионного контроля почв.

Весьма информативным показателем оценки влияния степени эродированности на альгоценозы явилось среднее значение числа видов водорослей в пробе, показано четкое уменьшение этого показателя с увеличением интенсивности эрозионных процессов в пахотных почвах.

7.3. Способы оценки загрязнения почв по морфометрическим показателям популяций водорослей.

С целью ускорения анализа состояния водорослевого населения почвы традиционные методы инкубирования водорослей на покровных стеклах в культурах исследуемых образцов почвы можно значительно упростить, ограничиваясь разовыми микроскопированием через 14-15 дней инкубирования и выявлением морфологически различающихся групп из основных, представленных в почве четырех отделов: синезеленых, зеленых, желтозеленых и диатомовых. Для этого ставятся обычные почвенные культуры со стеклами обростания. Через 14-15 дней культивирования стекла, обросшие водорослями просматриваются по трансектам (разд. 2.2). При этом отмечается присутствие в поле зрения микроскопа клеток и нитей водорослей, имеющих морфологические различия в форме, окраске и размерах. Подсчет встреченных особей при этом не проводится, что ускоряет процесс микроскопирования. При этом видовой идентификации водорослей не требуется, проводится учет присутствия размерно-морфологических групп на стеклах обростания и, сравнивая их встречаемость в загрязненных и незагрязненных образцах почвы, по достоверной разности величин встречаемости групп, судят о состоянии почв. Размерно-морфологические группы выделяются отдельно для каждого из отделов водорослей, при этом в сходные группы можно объединить зеленые и желтозеленые водоросли, имеющие трудно различимые отличия в окраске и строении клеток (Кузяхметов, 1993).

Полученные данные по значимости этих групп в виде встречаемости на трансектах анализируются с использованием статистических методов.

Пример. Предлагаемый метод был использован для оценки состояния почв при нефтяном загрязнении. Усредненные почвенные образцы, взятые с 8-10 точек в слое 0-5 см на загрязненных и незагрязненных (контрольных) участках, исследовали отдельно. На слабо загрязненных участках встречались единичные растения, на сильно загрязненных – растения отсутствовали. Были выделены 12 размерно-морфологических групп водорослей. Необходимое число просматриваемых трансект определялось статистически (разд. 4.3.1). В данном случае оно равно 9. Полученные данные были подвергнуты однофакторному дисперсионному анализу (разд. 4.4).

Результаты расчетов для серой лесной почвы приведены на таблице 10.

Таблица 10

Изменение размерно-морфологических групп водорослей под действием различных концентраций нефти

Размерно-морфологическая группа водорослей	Относительная встречаемость			Интенсивность влияния фактора
	незагрязненная (контроль)	слабо загрязненная	сильно загрязненная	
Синезеленые				
Тонкие нити (формидиум, плектонема)	48,2	44,5	38,1	0,121*
Толстые нити (микроклеус, формидиум)	49,7	42,2	38,8	0,151*
Нити с гетероцистой (носток, анабена)	59,1	58,5	34,1	0,642
Зеленые				
Мелкие одноклеточные (хлорелла, коккомикса)	68,6	53,8	22,9	0,427
Крупные одноклеточн. с пиреноидом (хлорококк)	48,6	40,5	2,8	0,519
Крупн.одноклеточн. без пиреноида (брактеекокк)	37,1	24,0	0,8	0,630
Подвижные одноклеточные (хламидомонада)	48,0	16,9	0,9	0,712
Нитчатые зеленые	27,2	10,9	0,4	0,649
Желтозеленые				
Одноклеточные с капельками жира	30,2	0,5	0,0	0,897
Желтозеленые нитчатые	30,1	4,5	0,0	0,912
Диатомовые				
Крупные клетки (ханцшия, пиннулярия)	80,4	25,0	0,5	0,955
Мелкие клетки (навикула)	50,4	23,1	0,1	0,871
Сумма встречаемостей	574,6	346,5	139,1	0,687

* - интенсивность влияния фактора недействительна.

Как видно влияние нефти на синезеленые не всегда достоверно. С помощью дисперсионного анализа можно сократить число размерно-

морфологических групп для исследованных почв до 5. Весьма информативной является суммарная встречаемость всех морфологических групп. При сильном загрязнении нефтью она уменьшилась более чем в четыре раза.

Для определения токсичности нефти в серой лесной почве составлена эталонная формула (табл. 11).

Таблица 11

Эмпирическая оценка токсичности нефти в серых лесных почвах

Размерно-морфологическая группа водорослей	Относительная встречаемость		
	контроль	слабо загрязненная	сильно загрязненная
Синезеленые	68,6	53,8	43,6
Хламидомонадовые	48,0	16,9	0,9
Нитчатые зеленые	27,2	10,0	0,4
Желтозеленые	34,6	4,5	0,0
Диатомовые	76,4	23,8	0,4
Сумма встречаемостей	254,8	109,0	45,4

Без сложных расчетов, используя таблицу, можно оценить состояние почвы при нефтяном загрязнении. В данном случае сильно загрязненные почвы оказались в высокой степени токсичными для хламидомонадовых, нитчатых зеленых, желтозеленых и диатомовых водорослей.

Метод отличается простотой и доступностью для широкого круга специалистов, занимающихся изучением почв, позволяет повысить эффективность оценки состояния почв при загрязнении, в оперативном мониторинге окружающей среды. Учет размерно-морфологических групп водорослей на стеклах обростания исключает необходимость владения навыками по определению видов водорослей или помощи со стороны специалистов-альгологов.

7.4. Использование водорослей для биотестирования и альгоиндикации

Биотестирование – один из приемов исследования в области токсикологии, используемый с целью установления степени токсичности действия химических, физических и биологических неблагоприятных факторов среды, потенциально опасных для живых компонентов экосистемы. Альготестирование является одной из разновидностей биотестирования, когда в качестве тест-объекта применяются водоросли. (Кабилов, 1995). При альготестировании чаще всего используют чистые культуры водорослей.

Для оценки влияния исследуемых факторов судят по их воздействию на жизнедеятельность тест-культуры. Проводят оценку скорости роста колоний на твердом субстрате или в жидкой среде, скорости накопления биомассы, изменения численности, интенсивности дыхания, фотосинтеза. Часто для данных целей применяют мембранные фильтры, которые помещают на стерильный песок в чашки Петри, затем сюда вносится испытуемое вещество и в центр фильтра высаживается колония водорослей. В течение 2-3 недель проводится измерение роста колоний.

Для получения сопоставимых результатов по итогам тестирования рассчитывают индекс токсичности по формуле: $ИТФ = Тфо/ТФк$, где ИТФ – индекс токсичности оцениваемого фактора; Тфо – значение регистрируемой тест-функции в опыте; ТФк – значение регистрируемой тест-функции в контроле. Величина ИТФ изменяется от 0 до М, где М – любая положительная величина. На основании проведенных экспериментов разработана шкала токсичности (табл. 12), состоящая из 6 классов (Кабилов, 1995).

Таблица 12

Шкала альготоксичности

Класс токсичности	Величина индекса токсичности (ИТФ)	Пояснения
У1 класс Стимуляция	>1,10	Фактор оказывает стимулирующее воздействие на тест-объект, величина тест-функции в опыте превышает контрольные значения
У класс Норма	0,91-1,10	Фактор не оказывает существенного влияния на развитие тест-объекта, величина тест-функции находится на уровне контроля
IУ класс Низкая	0,71-0,90	Разная степень снижения величины тест-функции в опыте
III класс средняя	0,50-0,70	„ „
II класс Высокая	<0,50 (ниже индекса LD, принятого в токсикологии)	„ „
I класс Сверхвысокая	Среда не пригодна для жизни тест-объекта	Наблюдается обесцвечивание клеток тест-организма, их полная гибель

Схема проведения сравнительного альготестирования (по Кабирову, 1995)

1. Около обследуемых источников загрязнения берут пробы почвы или снега и готовят их к анализу.
2. Исходя из поставленных задач, выбирают соответствующий тест-объект и выполняют процедуры тестирования почвы или стаявшего снега.
3. На основании результатов тестирования рассчитывают значения индекса токсичности, используя аналитический контроль. И строят график зависимости величины ИТФ от расстояния до источника загрязнения.
4. Выбирают определенную величину ИТФ (своеобразный «порог чувствительности»). По графику, построенному ранее, определяют границы зоны распространения почв (снега) с данным уровнем токсичности и наносят их на миллиметровку. В итоге получается геометрическая фигура, ограничивающая определенную площадь. По величине этих площадей и оценивают «природоразрушающее влияние» каждого источника загрязнения

ЛИТЕРАТУРА

Алексахина Т. И., Штина Э. А. Почвенные водоросли лесных биогеоценозов. – М.: Наука, 1984. – 150 с.

Андреева В. М. Почвенные и аэрофильные зеленые водоросли (Chlorophyta: Tetrasporales, Chlorococcales, Chlorosarcinales). – СПб: Наука, 1998. – 351 с.

Василевич В. И. Изменения разнообразия сообществ в ходе сукцессии лесной растительности в пойме // Анализ закономерностей растительного покрова речных пойм : Уч. зап. Башк. ун-та. – 1971. – Вып. 52. – № 8. – С. 116-123.

Визначник прісноводних водоростей УРСР. Вип. 1-12. – Киев: Наук. думка, 1938-1993.

Гецен М. В., Стенина А. С., Патова Е. Н. Альгофлора Большеземельской тундры в условиях антропогенного воздействия. – Екатеринбург: УИФ "Наука". 1994. – 147 с.

Голлербах М. М., Штина Э. А. Почвенные водоросли. – Л.: Наука, 1969. – 228 с.

Домрачева Л. И., Лебедева О. А., Кожеев П. А. Особенности альго-бактериального комплекса при "цветении" почвы // Вестн. Моск. ун-та. Сер. 17. Почвоведение. – 1986. – 1986. – № 3. – С. 38-43.

Дубовик И. Е. Водоросли эродированных почв и альгологическая оценка почвозащитных мероприятий. – Уфа: Изд. Башк. ун-та, 1995. – 156 с.

Дубовик И. Е. Водоросли эродированных почв и альгологическая оценка почвозащитных мероприятий: Автореф. дис. ... д-ра биол. наук. – Сыктывкар, 1998. – 45 с.

Дубовик И. Е. Трансформация альгоценозов эродированных почв лесостепи // Почвоведение. – 2000. – № 8. – С. 966-972.

Зайцев Г. И. Математическая статистика в экспериментальной ботанике. – М.: Наука, 1984. – 424 с.

Кабиров Р. Р. Альготестирование и альгоиндикация (методические аспекты, практическое использование. – Уфа: Башкирск. педин-т, 1995. – 125 с.

Кузяхметов Г. Г. Анализ горизонтальной неоднородности альгосинузий, связанной с нанорельефом // Ботан. журн. – 1981. – Т. 66. – № 6. – С. 815-825.

Кузяхметов Г. Г. Почвенные альгосинузии некоторых растительных сообществ лесостепи Башкирского Предуралья. БашГУ. Уфа, 1985. – 11 с. – Деп. в ВИНТИ 09.04.1985а, № 2380-85.

Кузяхметов Г. Г. Методические указания по изучению почвенных водорослей: Для студ. 3-5 курсов биол. фак-та. – Уфа: БашГУ, 1986. – 32 с.

Кузяхметов Г. Г. Анализ альгофлоры степей Башкирского Предуралья // Экол.-флористич. исслед. по спорным раст.: Сб. научн. тр. – Свердловск, 1990. – С. 8-13.

Кузяхметов Г. Г. Анализ альгофлоры почв лесостепной и степной зон Предуралья с использованием мер включения и сходства // Научн. докл. высш. шк. Биол. науки. – 1991. – № 8 (332). – С. 142-150.

Кузяхметов Г. Г. Способ оценки загрязнения почв по морфологическим показателям популяций водорослей // Почвоведение. – 1993. – № 8. – С. 114-117.

Кузяхметов Г. Г. Изучение ценогической организации почвенных водорослей, использование педоальгоценозов как экспериментальных микрокосмов в учебно-исследовательской работе // Сб. статей и тез. докл. научн. конф. по научн.-технич. программам Госкомвуза России. – Уфа: БашГУ, 1996. – С. 141-143.

Кузяхметов Г. Г. Структурно-функциональная организация почвенных водорослей // Результаты научн. исслед. преподавателей биол. ф-та Башкир. гос. ун-та – Уфа: БашГУ, 1997. – С. 60-63.

Кузяхметов Г.Г. Альгологическая оценка токсичности препаратов меди в серой лесной почве и выщелоченном черноземе //Почвоведение. - 1998. - № 8. - С. 968-973.

Кузяхметов Г. Г. Ценотическая организация почвенных водорослей //Альгология. - 1999. - Т. 9. - № 2. - С. 67.

Кузяхметов Г. Г. Пространственная организация почвенных альгоценозов степи и лесостепи: Автореф. дис.... д-ра биол. наук. -- Сыктывкар, 2000. - 37 с.

Кузяхметов Г.Г., Шкундина Ф.Б., Дубовик И.Е., Шарипова М.Ю., Сайфуллина З.Н., Митибаев Р.Г. Краткий определитель водорослей Башкортостана. - Уфа: БашГУ, - 157 с.

Новичкова-Иванова Л. Н. Основные принципы и методы фитоценологического изучения почвенных водорослей //Современ. состояние и перспективы изуч. почвенных водорослей в СССР: Тр. межвуз. конф. Киров, 1967. - С. 48-53.

Новичкова-Иванова Л. Н. Почвенные водоросли фитоценозов Сахаро-Гобийской пустынной области. - Л.: Наука, 1980. - 255 с.

Одум Ю. Экология: В 2-х т. Т. 2. Пер. с англ. - М.: Мир, 1986. - 376 с.

Определитель пресноводных водорослей СССР. Вып. 1- 8, 10, 11, 13, 14. - М.-Л., 1951-1986.

Плохинский Н. А. Биометрия. - М., 1970. - 368 с.

Разнообразие водорослей Украины //Под ред. С. П. Вассера, П. М. Царенко //Альгология. - 2000. - 10, №4. - 309 с.

Седельников В. П. К применению мер включения в сравнительной флористике //Нетрадицион. методы в исслед. раст-ти Сибири. - Новосибирск: наука, 1982. - С. 32-35.

Семкин Б. И., Комарова Т. А. Анализ фитоценологических описаний с использованием мер включения (на примере растительных сообществ долины реки Амгуэмы на Чукотке) //Ботан. журн. - 1977. - Т. 62. - № 1. - С. 54-63.

Толмачев А.И. Введение в географию растений. - Л.: Наука, 1974. - 244 с.

Толмачев А. И. Методы сравнительной флористики и проблемы флорогенеза. - Новосибирск, 1986. - 196 с.

Хазиев Ф. Х., Кабиров Р. Р. Количественные методы почвенно-альгологических исследований. - Уфа: БФАН СССР, 1986. - 172 с.

Ханисламова Г. М., Кабиров Р. Р., Хазипова Р. Х. Поверхностно-активные вещества в наземных экосистемах. - Уфа: БНЦ УрО АН СССР, 1988. - 143 с.

Царенко П. М. Краткий определитель хлорококковых водорослей Украинской ССР. - Киев: Наукова Думка, 1990. - 208 с.

Шмидт В. М. Количественные показатели в сравнительной флористике //Ботан. журн. - 1974. - Т. 59. - № 7. - С. 929-940.

Штина Э. А. Основные направления в разработке методов изучения и практического использования почвенных водорослей //Методы изучения и практического использования почвенных водорослей: Тр. Киров. с.-х. ин-та. 1972. - С. 3-19.

Штина Э. А. Почвенные водоросли как экологические индикаторы. //Ботан. журн. - 1990. - Т. 75. - № 4. - С. 441-453.

Штина Э. А., Антипина Г. С., Козловская Л. И. Альгофлора болот Карелии и ее динамика под воздействием естественных и антропогенных факторов. - Л.: Наука, 1981 - 269 с.

Штина Э. А., Голлербах М. М. Экология почвенных водорослей. - М.: Наука, 1976а. - 143 с.

Штина Э. А., Некрасова К. А. Водоросли загрязненных нефтью почв //Восстановление нефтезагрязненных почвенных экосистем. - М.: Наука, 1988. - С. 57-81

Юрцев Б. А., Семкин Б. И. Изучение конкретных и парциальных флор с помощью математических методов //Ботан. журн. - 1980. - Т. 65. - № 12. - С. 1706-1718.

Ettl H., Gärtner G. Syllabus der Boden-, Luft- und Flechtenalgen. - Stuttgart; Jena; Jena-New York: G. Fischer, 1995. - 680 s.

Gruia L. Un nouvel indice écologique de similarité //Hydrobiologia (RSR). - 1980. - V. 16. - P. 19-26.

Komárek J., Fott B. Chlorophyceae (Grünalgen): Chlorococcales //Binnengewässer. Bd. 16. - 1983. - Vol. 7. - N 1. - 1044 s.

Pielou E. C. The measurement of diversity in different types of biological collection //J. Theoret. Biol. - 1966. - Vol. 13. - P. 131-144.

Sullivan M. J. Edaphic diatom communities associated with *Spartina alterniflora* and *S. patens* in New Jersey //Hydrobiologia. - 1977. - V. 52. - N 2/3. P. 207-211.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	3
1. Методика полевых исследований.....	4
1.1. Маршрутные исследования.....	4
1.2. Стационарные исследования.....	6
1.3. Методика отбора проб для качественного анализа.....	6
1.4. Методика отбора проб для количественного учета.....	6
2. Методика изучения видового состава водорослей.....	7
2.1. Прямое микроскопирование почвенного образца.....	7
2.2. Почвенные культуры "со стеклами обрастания".....	8
2.3. Жидкие культуры.....	9
2.4. Агаровые культуры.....	10
2.5. Определение водорослей.....	11
2.6. Составление первичной матрицы.....	11
3. Методика учета численности и биомассы водорослей.....	12
3.1. Учет макроскопических разрастаний.....	12
3.2. Методика прямого учета численности водорослей.....	12
3.3. Определение продукции водорослей.....	17
4. Статистическая обработка эмпирических данных.....	19
4.1. Расчет основных эмпирических параметров.....	19
4.2. Информационные индексы значимости и разнообразия.....	20
4.3. Определение репрезентативности выборочных показателей.....	24
4.4. Расчет коэффициента корреляции.....	26
4.5. Дисперсионный анализ.....	28
4.6. Сравнение количественных показателей.....	30
5. Методы изучения ценоотической организации почвенных водорослей.....	31
5.1. Ценоотическая организация почвенных водорослей.....	31
5.2. Методы анализа структурно-функциональной организации почвенных альгоценозов.....	32
6. Методы флористического анализа.....	35
7. Методы использования почвенных альгоценозов и популяций водорослей для оценки состояния окружающей среды.....	44
7.1. Изучение интенсивности действия факторов среды, токсичности пестицидов.....	45
7.2. Изучение степени эродированности почв.....	47
7.3. Способы оценки загрязнения почв по морфометрическим показателям популяций водорослей.....	48
7.4. Использование водорослей для биотестирования и альгоиндикации.....	50
Литература.....	52

Учебное издание

Кузяхметов Григорий Гильмиярович,
Дубовик Ирина Евгеньевна

МЕТОДЫ ИЗУЧЕНИЯ ПОЧВЕННЫХ ВОДОРΟΣЛЕЙ

Учебное пособие

Редактор Р.М.Гамбарова
Корректор А.Ф.Файзуллина

Лицензия на издательскую деятельность
ЛР № 021319 от 05.01.99 г.

Подписано в печать 10.09.2001. Формат 60х84/16.
Бумага офсетная. Компьютерный набор. Гарнитура Times.
Отпечатано на ризографе. Усл.печ.л 3.22. Уч.-изд.л. 3.61.
Заказ 337. Изд.№ 66. Тираж 100 экз. Цена договорная.

Редакционно-издательский центр Башкирского университета
Отпечатано на множительном участке Башкирского университета
450074. Уфа, ул.Фрунзе, 32. Тел.: (3472)236-710