

Н. Г. Федорец, М. В. Медведева



**МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ ПОЧВ
УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ**



Н. Г. Федорец, М. В. Медведева

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ ПОЧВ УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ

*(учебно-методическое пособие для студентов
и аспирантов эколого-биологических специальностей)*

Петрозаводск
2009

УДК 630*114.521(075)

Федорец Н. Г., Медведева М. В. **Методика исследования почв урбанизированных территорий.** Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2009. 84 с.

ISBN 978-5-9274-0383-7

В работе даны методики полевых и лабораторных исследований почв урбанизированных территорий, а также способы микробиологического диагностирования почв, находящихся на разном уровне антропогенной дигрессии. Приводятся методы оценки уровня загрязнения почв тяжелыми металлами. Учебно-методическое пособие предназначено для студентов и аспирантов эколого-биологических специальностей.

Научный редактор: к.б.н. О. Н. Бахмет

Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 09-04-06089)

УДК 630*114.521(075)

ISBN 978-5-9274-0383-7

© Институт леса КарНЦ РАН, 2009

© Карельский научный центр РАН, 2009

СОДЕРЖАНИЕ

ГЛАВА 1. Общетеоретические основы изучения почв урбанизированных территорий	4
ГЛАВА 2. Основные этапы полевых исследований	9
2.1. Рекогносцировочное обследование выбранной территории	9
2.2. Методика закладки почвенных разрезов	13
2.3. Морфологическое описание почв	13
2.4. Определение плотности почвы	27
2.5. Отбор почвенных образцов для лабораторных исследований	29
ГЛАВА 3. Лабораторные методы исследования	30
3.1. Определение влажности почвы	30
3.2. Определение физических параметров почвы (плотность твердой фазы, порозность)	32
3.3. Определение гранулометрического состава почвы	34
3.4. Определение химических показателей почв	40
3.4.1. Определение кислотно-щелочных свойств	46
3.4.2. Определение содержания элементов минерального питания	49
3.4.3. Определение содержания в почве гумуса	62
3.4.4. Определение содержания в почве тяжелых металлов	65
ГЛАВА 4. Определение биологической активности почв	70
4.1. Определение целлюлозолитической активности почв	70
4.2. Определение ферментативной активности почв	72
4.2.1. Определение активности каталазы	72
4.2.2. Определение активности уреазы	72
4.3. Определение дыхания почв	76
ГЛАВА 5. Оценка экологического состояния почв	79
ЛИТЕРАТУРА	82

ГЛАВА 1

ОБЩЕТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ИЗУЧЕНИЯ ПОЧВ УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ

Приоритетным направлением рационального природопользования урбанизированных территорий, как известно, является комплексная оценка природной среды. Наиболее важным компонентом формирующейся в условиях урбанизации геосистемы является почва, так как она, в отличие от воздушной и водной сред, испытывает наиболее сильное влияние урбанистического процесса, быстро поглощает поллютанты и очень медленно их трансформирует.

Городская почва является биокосной многофазной системой, состоящей из твердой, жидкой и газовой фаз, с непременным участием живой фазы. Почвы в городе развиваются под воздействием тех же факторов почвообразования, что и естественные почвы, но антропогенный фактор здесь оказывает существенное влияние.

В широком понимании городская почва – это любая почва, функционирующая в окружающей среде города, в узком смысле этот термин подразумевает специфические почвы, сформированные деятельностью человека в городе. Впервые термин «городские почвы» был введен Бокгеймом в 1974 г., который определял его как «почвенный материал, содержащий антропогенный слой несельскохозяйственного происхождения более 50 см, образованный путем перемешивания поверхности земли в городских и пригородных территориях».

В настоящее время принято следующее определение:

городские – это антропогенно измененные почвы, имеющие созданный в результате человеческой деятельности поверхностный слой мощностью более 50 см, полученный перемешиванием, насыпанием или погребением материала урбаногенного происхождения, в том числе строительного-бытового мусора.

Общие черты городских почв следующие:

- материнская порода – насыпные, намывные или перемешанные грунты или культурный слой;

- включения строительного и бытового мусора в верхних горизонтах;
- нейтральная или щелочная реакция (даже в лесной зоне);
- высокая загрязненность тяжелыми металлами (ТМ) и нефтепродуктами;
- особые физико-механические свойства почв (пониженная влагоемкость, повышенная объемная масса, уплотненность, каменистость);
- рост профиля вверх за счет постоянного привнесения различных материалов и интенсивного эолового напыления.

Некоторые из вышеперечисленных свойств характерны и для определенных внегородских почв, например: вулканических, аллювиальных. Специфика городских почв состоит в сочетании перечисленных свойств.

Для городских почв характерен специфический диагностический горизонт урбик (от слова *urbanus* – город).

Горизонт «урбик» – поверхностный органо-минеральный насыпной, перемешанный горизонт, с урбоантропогенными включениями (более 5% строительного-бытового мусора, промышленных отходов), мощностью более 5 см.

Характеристика горизонта урбик:

- *Расположение и возраст* – формируется в городах и населенных пунктах в течение столетий, но может быть сконструирован при образовании газонов, скверов и т. д.

- *Почвообразующим материалом* служит культурный слой, насыпные или перемешанные грунты и фрагменты (осколки) естественных почв.

- *Цвет* – различные оттенки темно-бурых тонов.

- *Сложение* – рыхлый, слоистый; верхняя часть бывает переуплотнена из-за повышенной рекреационной нагрузки.

- *Гранулометрический состав* – преобладает легкий или облегчен за счет включений.

- *Структура* выражена слабо.

- *Каменистость* – формируется за счет строительного-бытовых включений.

- Характерно *нарастание горизонта* вверх за счет пылевых выпадений из атмосферы и антропогенного привноса материала.

• Наблюдается *высокая переменчивость свойств* в горизонте по текстуре, плотности сложения, по обилию включений, по химическим свойствам.

• *Величина рН* преимущественно более 7.

• *Содержание гумуса* варьирует, но чаще высокое (5–10%), состав гумуса чаще гуматный.

Присутствие горизонта урбик является основным отличием собственно городских почв от естественно-исторических. Материал, из которого сформирован горизонт урбик, можно представить следующей схемой (рис. 1).

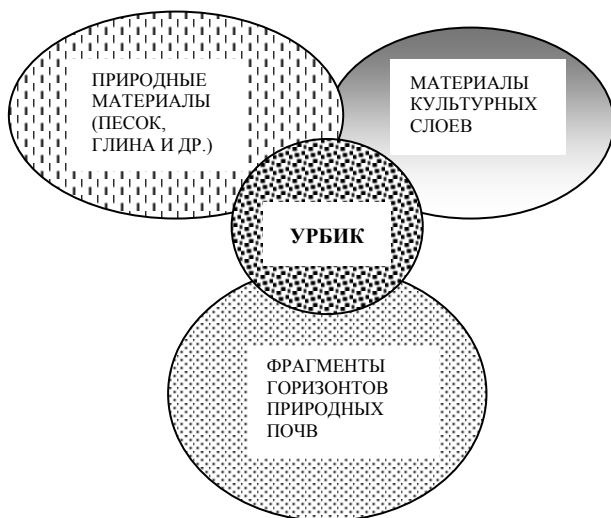


Рис. 1. Состав горизонта урбик

Специфичными факторами, влияющими на почвообразование в городе, являются:

• структура и характер хозяйственного землепользования в городе;

• особый городской микроклимат, эквивалентный широтному сдвигу на 200–300 км;

• насыпные природные субстраты и культурный слой, наличие в них строительно-бытовых включений;

- изменения растительности, связанные с особенностями городского микроклимата;

- аэрозольное и внутрипочвенное загрязнение.

Биологическая диагностика почв вообще, а антропогенно нарушенных в частности, в дефинитивном своем понимании представляет реализацию двух взаимосвязанных задач: индикацию и классификацию почв. При этом если первая решается на основе использования разнообразных биологических объектов (микроорганизмы, почвенные животные, растения, водоросли и пр.), то вторая классификация подчинена более строгим критериям, имеет определенные ограничения. Классификация городских почв постоянно усовершенствуется, так как меняется спектр антропогенного воздействия и необходимо ее «адаптировать» к определенным условиям антропогенеза. В этой связи в данной работе она носит описательный характер, представлена очень кратко, без ее детального анализа.

Почва – это гетерогенная среда, в которой одновременно идут процессы катаболизма/анаболизма различных органоминеральных соединений; функционируют разнообразные живые организмы, формируются сложные аллелопатические связи между фито-, зоо- и микробиотой; процессы гумификации. Вследствие своей биокосной природы почва менее чувствительна к изменениям во внешней среде, она более консервативна по сравнению с микробиотой, которая хорошо зарекомендовала себя в качестве индикатора состояния почв, находящихся в урбанизированной среде.

Согласно современному представлению о строении биологических систем, биоиндикаторы должны отражать антропогенное влияние на различных уровнях:

- 1) доклеточный уровень предполагает определение различных биохимических показателей, в том числе ферментативной активности почв;

- 2) клеточный – исследование мутагенного действия тяжелых металлов на микробную клетку. В данном случае работа допускает использование тест-культур микроорганизмов;

- 3) популяционный – изучение реакции отдельных культур, например стрептомицетов, на загрязнение;

4) ценотический – рассматривает численность и соотношение основных таксономических и эколого-трофических групп микроорганизмов, активность микробиологических процессов.

При выборе индикаторов в каждом конкретном случае необходимо подходить индивидуально, учитывая орографические, эдафические, антропогенные и прочие абиотические факторы.

Главной специфической особенностью городских почв является пестрота морфологического строения, резкая контрастность физико-химических и биологических свойств, мозаичность контуров. Это обусловлено, с одной стороны, их различным антропогенным происхождением, когда утрачивается генетическая связь с почвообразующими породами (например почвы газонов, парков, насыпные почвы и пр.). С другой стороны, самим антропогенным влиянием, которое испытывают почвы. Оно зависит от местоположения источника загрязнения, от вида загрязнителя и пр. Свойства городских почв можно условно разделить на две большие группы. Первая группа включает в себя общие свойства, характерные для почв, расположенных в таежной зоне Карелии. Они обусловлены первичными факторами почвообразования, биоклиматическими условиями, спецификой почвообразующих пород. Вторая группа включает специфические свойства, которые определяются уровнем антропогенного воздействия и его типом. При этом именно последняя группа во многом определяет резкое отличие почв урбосферы от их естественных аналогов.

В данной работе приводится общая методика проведения исследования антропогенно нарушенных почв в городских условиях, последовательность выполнения ее основных этапов, включая биологическую диагностику (на примере г. Петрозаводска).

ГЛАВА 2

ОСНОВНЫЕ ЭТАПЫ ПОЛЕВЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

При изучении городских почв применяется методический подход с использованием полевых (сравнительно-географический, стационарный) и лабораторно-аналитических методов исследования. Полевые методы составляют наиболее важную группу в общей системе исследования естественных и антропогенно нарушенных почв. Их проводят в соответствии с принятыми в почвоведении методиками. Однако прежде чем перейти к их описанию, необходимо отметить следующие особенности проведения полевых исследований почв в условиях города. Прежде всего необходимо соблюдать личную гигиену при выполнении всех работ (отбирать почвы в перчатках, протирать руки дезинфицирующим раствором после отбора почвенных проб). Это связано с тем, что почвы города испытывают большую антропогенную нагрузку, спектр микроорганизмов в изучаемых почвах иной, чем в лесных почвах. Так например, чистая, незагрязненная почва является неблагоприятной средой для развития патогенных бесспорных микроорганизмов. В почве, особенно загрязненной органическими веществами, они длительное время сохраняют свою жизнеспособность. Дизентерийная палочка сохраняет жизнеспособность до 100 дней, яйца аскариды до 1 года. Почва играет большую роль в распространении биогельминтов – свиного и бычьего цепня. Поэтому работа в условиях города требует более тщательного соблюдения личной гигиены. Кроме того, необходимо помнить, что почва города – это аккумулятор таких загрязнителей антропогенного происхождения, как битое стекло, остатки бутылок, ржавые крышки и пр.

2.1. Рекогносцировочное обследование выбранной территории

Теоретическая часть. Экологические особенности г. Петрозаводска обусловлены: 1) возрастом города; 2) большой протяженностью береговой линии Онежского озера; 3) его расположением на

террасах Онежского озера, каскад которых обращен к озеру; 4) влиянием градообразующих предприятий, оказывающих негативное влияние. В результате в городе формируются почвы, отличительной особенностью которых является мелкоконтурность, пространственное варьирование свойств, низкая буферная способность, утрата плодородия. Поэтому прежде чем производить отбор почв для анализов, необходимо выбрать участок для обследования. В зависимости от целей и задач исследования участки могут располагаться в различных точках города: у ж/д моста, в местах отдыха горожан, в лесном массиве и пр. Как показали наши собственные исследования, системный подход при анализе урбосферы, который является методологической основой выполнения работы, будет наиболее полно реализован при разбивке почв по категориям землепользования. При этом выделяют почвы следующих основных категорий землепользования:

- земли городской и сельской застройки – жилая часть (внутридворовые пространства, скверы, детские сады и школы, газоны вдоль транспортных магистралей);

- земли общего пользования – промышленная зона (заводы, фабрики, автохозяйства, ТЭЦ, склады, АЗС, автомагистрали, аэропорты, железные дороги);

- земли природно-рекреационной и природоохранной зон (городские леса, лесопарки, парки, бульвары, скверы, памятники природы и т. д.);

- земли сельскохозяйственного назначения (пашни, фермы, питомники, опытные поля);

- земли резерва (пустыни, свалки, карьеры, неудобья).

Разбивка земель по категориям землепользования позволяет, с одной стороны, более полно изучать проблему, с другой, интерпретировать полученные результаты, а значит, давать правильные рекомендации по проведению почвоохранных мероприятий. К примеру, при исследовании почв территорий детских садов наибольший акцент необходимо делать на анализе микробиально-биохимических параметров; расположенных в районе промышленных предприятий – содержании тяжелых металлов, серы; скверов, парков, бульваров, испытывающих высокую рекреационную нагрузку – физических свойств почв.

В лаборатории, используя карту города, необходимо уточнить расположение участков.

Практическая часть. После того как был выбран участок для исследования и составлена схема маршрута, мы переходим к работе в «поле». Для этого нам понадобится следующее оборудование:

- лопата, совок;
- средства индивидуальной защиты;
- линейка, карандаш;
- полиэтиленовые пакеты;
- полиэтиленовая пленка (0,8 × 0,8 м);
- полевой журнал;
- прибор для установления координат участка (GPS-система навигации).

На выбранном участке необходимо выполнить нижеследующий перечень работ.

1. Определить координаты участка по GPS-системе навигации. Это необходимо сделать, поскольку при мониторинговых исследованиях урбозкосистем следует производить отбор почв периодически. Географическая привязка точек опробования позволит в дальнейшем составить карту почв исследуемой территории.

2. Сделать описание близко расположенных домов, построек, дорог, заводов и прочих элементов геотехсистемы.

3. Выполнить описание растений, при этом указав состояние деревьев и проективное покрытие растений напочвенного покрова.

4. Заложить почвенный разрез.

5. Выполнить морфологические описания почв.

6. Определить плотность почв.

7. Провести отбор почв для химических анализов в лабораторных условиях.

8. Подготовить этикетки.

9. Заложить модельный опыт по разложению льняного полотна.

В результате проделанной работы мы имеем: описание участка, описание почв, образцы почвы для химических, биохимических исследований, а по прошествии определенного времени результаты опыта по изучению целлюлозолитической способности почв.

Записи в полевом журнале:

1. Число.
2. Адрес работ.
3. № точки.
4. Категория землепользования.
5. Координаты по GPS.
6. Описание окружающей территории, прилегающих строений и дорог.
7. Описание древесной растительности.
8. Описание растений напочвенного покрова.
9. Место закладки почвенного разреза (элемент рельефа).
10. Морфологические признаки почвы.
11. Плотность почвы.
12. Характеристика отобранных образцов (№ почвенного горизонта, глубина отбора).
13. Место закладки модельного опыта.

Пример записи в полевом журнале:

1. 26.05.07
2. г. Петрозаводск, ул. Судостроительная
3. 56.
4. Территория промпредприятия. Завод «Авангард»
5. N 61 45.440` E34027.315`; h = 33 м
6. Участок расположен в конце ул. Судостроительной, в районе завода «Авангард», расстояние от главной трубы 500 м, поляна, открытое место, рядом расположена ж/д насыпь, автодорога, уровень антропогенного воздействия высокий
8. Растения напочвенного покрова:

Пузыреплодник калинолистный (кустарник) <i>Physocarpus opulifolius</i> *	Сныть обыкновенная (доминант) <i>Aegopodium podagraria</i>
Костер безостый (содоминант) <i>Bromus inermis</i>	Крапива двудомная <i>Urtica dioica</i>
Одуванчик лекарственный <i>Taraxacum officinale</i>	Пырей ползучий <i>Elytrigia repens</i>
Лопух войлочный <i>Arctium tomentosum</i>	

* Примечание. В лаборатории уточняем латинские названия.

9. Проективное покрытие – 30%

10. Небольшое повышение

10. Морфологическое описание почв:

U t 0–0,5 – плотный, темно-серый, спекшийся слой пыли и грязи, тонкая корка, бесструктурный, плотный, сухой; переход в нижний горизонт ясный;

Uh 0,5–5 – темно-серый, густо пронизан корнями, много включений антропогенного характера, плотный, переход в нижележащий горизонт не ясный;

E (5–12) – светло-серый, песчаный, много включений антропогенного характера, пронизан корнями, растянут, не однородный по цвету и механическому составу.

2.2. Методика закладки почвенных разрезов

Городские почвы находятся в зоне коммуникационной инфраструктуры, которая достаточно сложна, область ее проникновения в глубь почвенной толщи имеет широкий диапазон. В этой связи закладка полнопрофильных разрезов является достаточно проблематичной даже на глубину 0,5 м. Поэтому сделать хорошее морфологическое описание почв, расположенных в центре города, можно только в местах работы коммунальных служб. Также необходимо отметить, что обследование антропогенно трансформированных почв проводится на довольно значительной территории, а значит, отбирается большое количество образцов. В этой связи наиболее удобным способом исследования почв является закладка прикопок глубиной до 20–40 см.

2.3. Морфологическое описание почв

Вертикальная толща всякой почвы, которая называется почвенным профилем (рис. 2), расчленяется на ряд генетически связанных между собой горизонтов. Каждый горизонт характеризуется совокупностью внешних (морфологических) признаков. Как совокупность горизонтов, из которых состоит профиль почвы, так и внешние признаки каждого горизонта отражают характер почвообразовательного процесса, поэтому-то различные типы

почв по совокупности внешних признаков можно отличить друг от друга.

К числу внешних (морфологических) признаков почвы относятся: цвет, структура, сложение, новообразования, включения, гранулометрический состав, строение и мощность. Первые шесть признаков изучают в каждом генетическом горизонте профиля; строение и мощность исследуют в пределах профиля в целом. Кроме того, при изучении морфологических признаков определяют вскипание почвы.

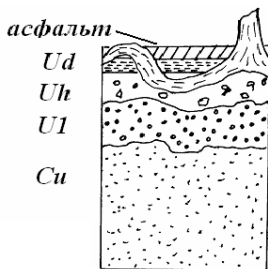


Рис. 2. Морфологический профиль городской почвы (г. Петрозаводск, ул. Калинина)

Цвет. Основными соединениями, обуславливающими цвет отдельных горизонтов почвы, являются: гумусовые вещества, окрашенные в черные и коричневые тона; окисные соединения железа и соединения марганца, дающие гамму желтых, оранжевых, красных и фиолетовых оттенков; кремнезем, углекислая известь, каолинит, гидрат окиси алюминия и легкорастворимые соли (хлориды и сульфаты), окрашенные в белый цвет; закисные соединения железа, имеющие сизоватую и голубоватую окраску, характерную для глеевых горизонтов болотных почв.

Необходимо отметить, что окраска горизонтов почвы обычно не имеет ярких, чистых тонов, преобладают смешанные, тусклые тона. При описании окраски поэтому приходится детализировать тон словами «темно» и «светло» или отмечать тон двойным названием (например светло-серая, белесовато-палевая, черная с буроватым оттенком и т. д.). Нужно указать сравнительную характеристику цвета горизонта, пользуясь выражениями «светлее» или «темнее», чем

предыдущий горизонт. Окраска горизонта может быть однородной и равномерной для всей его толщи, или неоднородной и неравномерной. Окраска почв имеет большое агрономическое значение. Мощный темноокрашенный верхний горизонт свидетельствует о высоком плодородии почвы вследствие накопления значительного количества гумуса. Появление белесого мучнистого на ощупь горизонта, лишенного карбонатов кальция, указывает на обеднение почвы элементами питания и развитие подзолообразовательного процесса. Голубая или сизая окраска горизонтов в средней или нижней части профиля указывает на заболоченность почв.

Многие почвоведы для сравнения цветовых различий между горизонтами применяют «примазки», делаемые на бумаге почвой, растертой с водой до жидкого мажущего состояния. Для определения цвета почвенных горизонтов возможно использование цветowych шкал (Munsell Soil Color Charts, 1990).

Структура. Структурой называют отдельности (агрегаты), на которые расчленяется масса почвы. Различные почвы, а в пределах одного профиля и различные горизонты могут иметь неодинаковую структуру.

Важным свойством структуры является степень ее водопрочности, т. е. устойчивости против размывающего действия воды. Водопрочная структура придает горизонту благоприятные для растений водно-воздушные свойства и улучшает питательный режим. Высокой степенью водопрочности обладают зернистая и ореховатая формы структуры, меньшей – комковатая структура; неводопрочны плитовидная и призмовидная структуры.

Агрономически ценной структурой для пахотных горизонтов почв являются все виды зернистой, средне- и мелкоореховатая и среднекомковатая структуры.

Существенным признаком при определении характера структуры почв является степень ее выраженности и однородности. В одних почвах структура выражена хорошо и представлена агрегатами одинаковой величины и формы, в других почвах структура выражена плохо и неоднородна, структурных агрегатов мало, они имеют различную величину. В некоторых почвах профиль или отдельные горизонты его лишены структуры и представлены массой

песчаных, пылеватых и иловатых частиц, не соединенных в агрегаты. Такие почвы называются бесструктурными. Состояние твердых частиц в них может быть раздельночастичным или сцементированным в сплошную массу. Раздельночастичное состояние твердых частиц характерно для песчаных почв, сцементированное – для бесструктурных глинистых и суглинистых почв. При изучении структурности необходимо определить степень выраженности и однородности, форму и величину структуры и водопрочность.

Степень выраженности отмечают двумя градациями: хорошо и плохо; степень однородности – также двумя градациями: однородная или неоднородная. Далее определяют тип структуры, тщательно исследуя отдельные наиболее типичные агрегаты по форме и степени выраженности граней и ребер. Наконец, на миллиметровой бумаге измеряют величину агрегатов и уточняют название.

Для определения водопрочности несколько структурных отдельных помещают в фарфоровую чашечку и заливают воду. Водопрочные структурные отдельные длительное время (иногда несколько часов) остаются без изменения, неводопрочные структуры распадаются при пропитывании водой на элементарные частицы песка, пыли, ила.

Определение структурности отдельных горизонтов профиля имеет большое значение для установления как типа почвы, так и степени ее плодородия.

Зернистая структура образуется в богатых гумусом почвах, поглощающий комплекс которых насыщен кальцием. Эта структура характерна для черноземов. В серых лесных почвах горизонты имеют ореховатую структуру. Хорошо выраженной комковатой структурой обладают пахотные горизонты хорошо окультуренных дерново-подзолистых почв. Она является признаком высокого плодородия. Образование столбчатой и призматической структуры характерно для солонцов и связано с пептизирующим действием поглощенного натрия на коллоидальную часть почвы. Плитчатая, пластинчатая и листоватая структуры характерны для горизонтов вымывания подзолистых, солонцеватых и осолоделых почв. Эти горизонты обеднены коллоидами и легко расслаиваются на горизонтальные отдельные в период зимнего промораживания почвы.

Сложение. Под сложением понимают внешнее выражение степени плотности, пористости и трещиноватости почвы. Характер сложения зависит от механического состава и структуры почвы, а также деятельности почвенной фауны и корней растений. Сложение определяют по степени плотности, характеру пор и трещин между твердыми частицами и структурными агрегатами.

По степени плотности различают: слитное (очень плотное), плотное, рыхлое и рассыпчатое сложение.

При слитном сложении почва образует плотную сцементированную массу, куски которой в сухом состоянии не разламываются руками. На такой почве нож оставляет узкую блестящую черту. Слитное сложение характерно для столбчатых солонцов, встречается часто в бесструктурных глинистых почвах. Плотное сложение также характеризуется плотным прилеганием твердых частиц друг к другу; сухой образец с трудом разламывается руками, черта от ножа шероховатая, с изорванными краями. Плотное сложение типично для нижних горизонтов глинистых по гранулометрическому составу почв. При рыхлом сложении между структурными отдельностями хорошо заметны поры и трещины, почва при высыхании распадается на отдельные агрегаты. Этот тип сложения характерен для почв с ореховатой, зернистой или комковатой структурой суглинистого или глинистого гранулометрического состава. При рассыпчатом сложении отдельные частицы почвы не связаны между собой; масса почвы состоит из отдельных песчинок, хорошо видимых невооруженным глазом; при высыхании масса почвы сыпуча. Рассыпчатое сложение характерно для песчаных по гранулометрическому составу почв. По характеру пор внутри структурных отдельностей различают следующие виды сложения: тонкопористое – поры меньше 1 мм, пористое – 1–3 мм, губчатое – 3–5 мм, ноздреватое – 5–10 мм, ячеистое – больше 10 мм.

По характеру трещин между структурными отдельностями выделяют сложение: тонкотрещиноватое – трещины уже 3 мм, трещиноватое – 3–10 мм, щелеватое – шире 10 мм.

Необходимо отметить, что трещины между структурными отдельностями заметны лишь в сухое время года на стенке почвенного разреза или в монолитном образце почвы. В коробочных образцах природное сложение в значительной степени утрачивается,

так как вынутый из разреза образец при высыхании распадается на структурные отдельности.

При изучении сложения нужно определить как тип сложения по плотности, так и характер его порозности и трещиноватости, тщательно исследуя отдельные агрегаты почвы при помощи лупы.

Новообразования. Новообразованиями называются скопления разнообразных веществ, выделившихся в результате почвообразовательного процесса на поверхности твердых частиц почвы или в порах и пустотах между ними. Они резко отличаются от массы почвы по цвету и химическому составу.

Различают новообразования химического и биологического происхождения.

Химические новообразования. 1. Легкорастворимые соли (NaCl , $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$, MgCl_2 , CaCl_2) – белого цвета, встречаются в виде выцветов и корочек на поверхности почвы или в форме налетов, прожилок, крупинок в толще профиля. Характерны для группы засоленных почв (солончаков и солонцов).

2. Гипс ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) – белого и желтоватого цвета, встречается в виде отдельных прожилок, псевдомицелия (густой сети очень тонких прожилок), конкреций (т. е. скоплений кристаллов) в тонких или более крупных порах и пустотах почвенной толщи. Иногда гипс образует корочки или выцветы на поверхности почвы. Характерен для каштановых и бурых почв, сероземов, засоленных почв.

3. Углекислая известь (CaCO_3) – белого цвета, встречается в очень разнообразной форме в толще профиля, где заполняет как тонкие поры, так и более крупные пустоты. Различают следующие наиболее распространенные формы новообразований углекислого кальция: 1) пятна и выцветы неопределенных, расплывчатых очертаний; 2) плесень из скоплений очень тонких игольчатых кристаллов; 3) белоглазку – яркие, компактные, резко очерченные пятна; 4) прожилки и псевдомицелий по тонким порам почвы; 5) трубочки из массы кристаллической или мучнистой извести по ходам корней; 6) конкреции из плотных стяжений CaCO_3 различной величины и формы, заполняющие пустоты между твердой массой почвы. Размеры конкреций колеблются от нескольких миллиметров до нескольких сантиметров, форма

очень разнообразна, а иногда и причудлива, вследствие чего их называют куколками, погремками, дутиками и т. д.; 7) прослойки лугового мергеля, достигающие нескольких десятков сантиметров в толщину.

Распознаются по вскипанию с разбавленным раствором HCl. Характерны для черноземов, каштановых, бурых и засоленных почв, сероземов.

4. Гидроокиси железа, алюминия, марганца в комплексе с органическими веществами и соединениями фосфора, ржаво-бурого, охристого, кофейного или черного цвета. Они образуют: 1) натёки (пленки, примазки) – тонкие глянцевитые пленки по трещинам и ходам корней на поверхности структурных отдельностей; 2) пятна расплывчатой формы, неравномерно пропитывающие почву; 3) конкреции, бобовины, округлые твердые стяжения от нескольких миллиметров до 1–2 см, часто обнаруживаемые лишь при растирании массы почвы между пальцами, в изломе они темно-бурого или черного цвета; 4) трубочки (рыхлые или твердые) ржавого цвета по ходам корней; 5) ортзанды – уплотненные сцементированные прослойки в песчаных почвах; 6) ортштейны – округлые, состоят из оксидов железа и марганца. Все эти новообразования характерны для подзолистых, дерново-подзолистых, заболоченных и болотных почв.

5. Соединения закиси железа $[\text{FeCO}_3; \text{Fe}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}]$ голубоватого, сизоватого или зеленоватого цвета, образуют расплывчатые пятна и выцветы в профиле болотных и заболоченных почв. На свежих образцах распознаются легко. В сухих образцах исчезают, так как закисные соединения на воздухе окисляются.

6. Кремнезем (SiO_2) – беловатого цвета, образует присыпку (налет) на поверхности структурных отдельностей. Характерен для серых лесных почв, оподзоленных черноземов, солонцов. Распознается начинающим исследователем с трудом, рекомендуется разломать структурную отдельность, сравнить окраску ее поверхности и внутренней массы.

7. Гумусовые вещества – черного или темно-бурого цвета, образуют натёки, корочки и пятна на поверхности структурных отдельностей, придавая последним глянцеватый вид. Встречаются в нижних горизонтах подзолистых и солонцеватых почв, солонцов.

Биологические новообразования. 1. Копролиты – экскременты червей и личинок насекомых, состоящие из частиц почвы, прошедших через пищеварительный тракт последних и пропитанные выделениями клеточных стенок кишечника. Встречаются в виде хорошо склеенных водонепроницаемых комочков почвы в пустотах, проделанных ходами животных, и на поверхности почвы. Характерны для всех типов почв с богатой почвенной фауной.

2. Кротовины – ходы землероев (кротов, сусликов, сурков, хомяков), засыпанные массой почвы. В вертикальном разрезе почвы они представлены крупными пятнами округлой, овальной или вытянутой формы, по цвету и сложению отличающимися от остальной массы почв.

3. Корневины – следы сгнивших крупных древесных корней. Характерны для лесных почв.

4. Червоточины – извилистые ходы-каналы червей. Встречаются во многих почвах.

5. Дендриты – отпечатки мелких корешков на поверхности структурных отдельностей в виде прихотливо извивающегося узора. Отпечатки часто окрашены в темный цвет за счет гумуса, образовавшегося при разложении корешков. Встречаются в различных почвах.

При изучении новообразований необходимо определить их состав и форму, для чего нужно тщательно рассмотреть исследуемый образец невооруженным глазом и в лупу, осторожно разламывая структурные отдельности и растирая между пальцами рыхлую массу почвы. Для определения химического состава новообразований белого цвета (легкорастворимые соли, гипс, углекислая известь) делают ряд качественных реакций. Для этого ножом или скальпелем счищают на часовое стекло найденные новообразования и растворяют их в воде, а затем в одной части пробы делают реакцию на Cl^- , в другой – на SO_4^{2-} . Если новообразования не растворяются в воде, их обрабатывают 5%-ным раствором HCl . При этом все формы новообразований углекислой извести бурно вскипают вследствие разрушения CaCO_3 и выделения CO_2 ; гипс не вскипает, но растворяется в соляной кислоте и может быть обнаружен качественной пробой на SO_4^{2-} .

Состав новообразований обусловлен характером почвообразовательного процесса и является одним из характерных признаков при определении типа почвы и ее агрономических свойств. Наличие легкорастворимых солей на поверхности почвы свидетельствует об интенсивном развитии процессов засоления почвы и непригодности ее для культурных растений без коренной мелиорации. По глубине залегания новообразований углекислого кальция можно судить о степени выщелоченности и глубине промачивания почвы атмосферными водами. Железистые новообразования являются признаком разрушения ряда минералов и передвижения продуктов их разрушения по профилю. Темноокрашенные потеки гумусовых веществ свидетельствуют о передвижении органических веществ в толще почвы. Наличие сизоватых и ржаво-охристых пятен указывает на заболоченность почвы.

Включения. Включениями называются инородные тела в профиле почвы, присутствие которых не связано с характером почвообразовательного процесса.

Каменистые включения – обломки горных пород, находящиеся в почве вследствие особенностей материнской породы. По форме они делятся на угловатые и окатанные. Среди угловатых форм различают: дресву, щебень и камни. Окатанные обломки делятся на гравий, хрящ, гальку и валуны.

Оригинальной формой каменистых включений являются «тени валунов», т. е. вкрапления в виде гнезд из зерен минералов, образовавшихся при разрушении находившегося на этом месте валуна. К этой же группе можно отнести линзы песка или гальки, вкрапленные в массу иной по гранулометрическому составу материнской породы. Характерны для почв, формирующихся на моренных наносах, щебнистом элювии каменистых горных пород.

Останки животных и растений в виде раковин, костей, корней, обрывков стеблей, листьев, хвои, не потерявших еще анатомического строения, могут встречаться в различных почвах.

Для почв, расположенных в условиях городской среды, показательны как включения растительного происхождения, так и **включения антропогенного происхождения** – обломки битого кирпича

и стекла, кусочки угля, черепки посуды, гвозди, банки, пластиковые бутылки и различные археологические находки.

При определении включений необходимо отмечать их количество (много, мало).

Гранулометрический состав представляет собой важнейшую характеристику, на основании которой устанавливаются низшие таксономические подразделения почв, так называемые «разновидности», выделение которых очень важно для их характеристики. Гранулометрический состав определяется для каждого генетического почвенного горизонта, вплоть до основания разреза. Название разновидностей большинства почв дается по гранулометрическому составу верхнего горизонта, за исключением подзолистых почв, в которых верхние горизонты А1 и А2 сильно изменены в процессе почвообразования.

Для ориентировочного определения гранулометрического состава берут небольшую щепотку почвы и растирают ее пальцем или ногтем на ладони. Если почва структурна и мелкие агрегаты не размельчаются ногтем, их нужно осторожно раздавить в фарфоровой ступке, так как нерастертые агрегаты можно принять за песчаные частицы. Растертую почву рассматривают на ладони в лупу и определяют наличие или отсутствие песчаных частиц.

Определить гранулометрический состав почвы можно в поле. Для этого небольшое количество почвы насыпают в фарфоровую чашку и смачивают водой до тестообразного состояния. Из полученного теста пытаются скатать шнур. Глинистые пластичные почвы раскатываются в длинный тонкий шнур, который можно согнуть в кольцо без излома. Тяжелосуглинистые почвы также раскатываются в тонкий шнур, но при сгибании его в кольцо диаметром 2–3 см образуются переломы. Среднесуглинистые почвы скатываются в более толстые шнуры, которые при дальнейшем раскатывании или сгибании в кольцо разламываются. Легкосуглинистые почвы при раскатывании шнура образуют короткие цилиндрики. Супесчаные почвы не раскатываются в шнур, а образуют непрочные шарики. Песчаные почвы не скатываются совсем. Этот метод дает хорошее совпадение полевых определений с последующими лабораторными анализами.

Точное определение гранулометрического состава почвы производится путем специального лабораторного анализа.

Вскипание. Вскипание свидетельствует о наличии в почве карбонатов (солей углекислого кальция), разрушающихся при взаимодействии с кислотой по реакции:



Углекислый газ выделяется из почвы в виде пузырьков с характерным шипением, а при небольшом количестве – с потрескиванием.

Необходимо помнить, что отсутствие в образце видимых невооруженным глазом новообразований углекислой извести еще не дает возможности сделать вывод об отсутствии карбонатов. Карбонаты могут содержаться в почве в виде очень мелких кристаллов, невидимых глазом, равномерно распределенных в массе твердых частиц.

Для определения вскипания берут щепотку почвы на часовое стекло или в фарфоровую чашечку, смачивают несколькими каплями воды и обрабатывают несколькими каплями 5%-ного раствора HCl. Предварительное смачивание почвы водой необходимо для вытеснения из нее воздуха, который, выделяясь с потрескиванием, может имитировать незначительное количество карбонатов. Категорически запрещается проводить пробу на вскипание непосредственно в коробке или перекладывать после испытания образец почвы из чашки в коробку. В рабочую тетрадь записывают результаты определения с указанием интенсивности вскипания. В результате последовательного изучения перечисленных выше морфологических признаков составляют полную морфологическую характеристику образца.

Для городских почв, безусловно, важным показателем является показатель захламленности, т. е. степень покрытия поверхности почвы различными наносами (отходами), в том числе токсичными. Эту часть почвы можно назвать балластной. Важным фактором является химический состав материала. При его токсичности происходит химическое загрязнение всей экосистемы.

Строение и мощность профиля. Строением почвы называется общий облик ее вертикального профиля, который состоит из

генетических горизонтов. Каждый горизонт имеет определенную мощность и отличается от другого по ряду морфологических признаков, физических свойств, а иногда по гранулометрическому, химическому и минералогическому составам. Иногда горизонт не вполне однороден и расчленяется на ряд подгоризонтов. Горизонты обозначаются начальными буквами латинского алфавита (А, В, С) и дополнительными цифровыми или буквенными индексами. Верхний горизонт профиля окрашен в темный цвет, так как в нем накапливаются различные формы органических веществ, в некоторых почвах из него вымываются частично растворимые в воде органические и минеральные соединения. В зависимости от свойств горизонт А имеет следующие дополнительные индексы:

А – гумусово-аккумулятивный, в нем накапливаются гумус и элементы питания;

А₀ – подстилочный, состоящий из плохо разложившегося лесного опада;

А₁ – гумусово-элювиальный, где наряду с накоплением гумуса происходит разрушение – частичное вымывание органических и минеральных веществ;

А_{пах} – пахотная часть горизонта А или А₁;

А_т – торфяный горизонт, состоящий из массы полуразложившихся торфообразователей, характерен для болотных и заболоченных почв;

А₂ – элювиальный, горизонт интенсивного разрушения минеральной части почвы и вымывания продуктов разрушения; всегда окрашен в наиболее светлые тона (серые, белесые, палевые), характерен для подзолистых почв, солодей.

Горизонты, формирующие среднюю часть профиля и не являющиеся элювиальными, обозначаются индексом В, обычно имеют бурую, желто-бурую или красно-бурую окраску. В зависимости от характера горизонта В он имеет следующие дополнительные индексы:

В – переходный горизонт от гумусового к материнской породе, в котором морфологически незаметны какие-либо новообразования за счет вымывания веществ из верхней части профиля;

В_h – иллювиально-гумусовый, кофейного цвета за счет вымытых сюда железисто-гумусовых веществ;

Vf – иллювиально-железистый, охристого цвета за счет вымытых сюда железистых продуктов разрушения минеральной части верхнего горизонта;

V_т – иллювиально-текстурный, обычно более тяжелый по механическому составу вследствие вымытых высокодисперсных органо-минеральных илистых и коллоидных частиц, образующих пленки на поверхности структурных отдельностей;

V_м – метаморфический – оглиненный за счет процессов внутрипочвенного выветривания на месте (in situ);

V_к – иллювиально-карбонатный, обогащенный новообразованиями карбонатов.

Если горизонты А и В не вполне однородны по сложению, цвету, структуре и т. д., они расчленяются на подгоризонты и обозначаются цифровыми индексами (АТ₁, АТ₂, В₁, В₂ и т. п.).

В болотных почвах под торфяным горизонтом формируется глеевый горизонт, обозначаемый индексом G. Он окрашен в голубоватые, сизоватые тона за счет образующихся здесь закисных соединений железа. Глееватость может проявляться в любом горизонте профиля, и в этом случае к основному индексу добавляется буква g, например А_{2g}, В_g.

Завершается профиль почвы горизонтом материнской породы, обозначаемым индексом С. В верхнюю часть этого горизонта могут вымываться соли (карбонаты, гипс, сульфаты натрия, хлориды). Эти подгоризонты обозначаются индексами С_к, С_г, С_с.

Подстилающая порода обозначается индексом Д.

Для почв города выделяют специфический горизонт урбик (U), который имеет сложное строение. Описание его, как и описание других горизонтов, делается в полевых условиях. Морфологический профиль почв с указанием основных горизонтов представлен на рис. 2.

Переход одного горизонта в другой в различных почвах может быть различным. Горизонты могут резко сменяться в пределах профиля или же очень постепенно переходить друг в друга, причем иногда этот переход осуществляется в виде глубоких затеков. В последнем случае выделяют горизонты двойственной природы, например: CU1, CU2, CU3 и т. д.

Под **мощностью профиля** понимают общую протяженность всех горизонтов, образовавшихся в результате почвообразовательного процесса. Измеряется она в сантиметрах. Мощностью отдельного горизонта профиля называют протяженность последнего в сантиметрах. Естественно, что мощность почвенного профиля и его отдельных горизонтов можно определить только в монолите с ненарушенным строением профиля или в почвенном разрезе. Для определения общей мощности почвы необходимо выделить все горизонты и измерить общую мощность сантиметровой лентой от поверхности до горизонта С. Мощность отдельных горизонтов определяют сантиметровой лентой; выражают ее обычно не в абсолютных цифрах, а в протяженности от поверхности или предыдущего горизонта, например для почв города имеем: Uh 0–19, A₁A₂ 19–27, A₂B 27–33, B₁ 33–52, B₂ 52–88 см и т. д.

Изучение морфологических признаков заканчивается составлением полного морфологического описания с определением типа, подтипа, рода, вида и разновидности почвы по следующей схеме.

Пример морфологического описания почвы:

Дата описания 02.09.2008 г.

Вскипание: нет.

Разрез № ...

A_{пах} 0–22. Серый, однородный по окраске, с комковатой, неоднородной структурой рыхлого, пористого сложения, новообразований нет, встречается в незначительном количестве хрящ, легкосуглинистый, переход в следующий горизонт выражен резко.

A₂ 22–26. Палевый, с белесоватым оттенком, бесструктурный, рыхлый, в нижней части – единичные мелкие железистые конкреции, легкосуглинистый, переход в следующий горизонт глубокими языками.

A₂B 26–40. В верхней части неоднородной желто-бурой окраски с отдельными белесоватыми языками, трещиноватый, распадается на неводопрочные глыбистые отдельные, встречаются мелкие валунчики, суглинистый, переход в следующий горизонт постепенный.

B 40–82. Желто-бурый, однородный по окраске, плотный, слаботрещиноватый, распадается на неводопрочные глыбистые от-

дельности, новообразования в виде слабо выраженных железистых пятен, встречаются мелкие валунчики, суглинистый, переход в следующий, горизонт постепенный.

С 82 и глубже. Желто-бурый, плотный, бесструктурный валунный суглинок.

Дерново-среднеподзолистая, среднекультуренная, суглинистая почва на бескарбонатном валунном суглинке.

2.4. Определение плотности почвы

Плотность сложения почвы (объемная масса, объемный вес почвы) – это масса твердой фазы сухой почвы естественного сложения в единице объема. Эта величина характеризует сложение почвы. Почва, являясь пористым телом, всегда содержит некоторое количество крупных и мелких пор между твердыми частицами, занятых водой и воздухом. Если при определении плотности твердой фазы (удельного веса) узнают массу: 1 см^3 твердых частиц, то при определении плотности (объемного веса) нужно узнать массу 1 см^3 почвы в природном сложении со всеми порами в ней. Поэтому плотность (объемный вес) необходимо определять в образцах с ненарушенным сложением. Плотность (объемный вес) почвы зависит от гранулометрического состава, количества органического вещества и сложения почвы. Песчаные почвы, содержащие мало перегноя, с плохо выраженной структурой, имеют плотность (объемный вес) всегда больше, чем почвы глинистые, с большим содержанием перегноя и хорошо выраженной комковатой или зернистой структурой. Пахотные горизонты, имеющие вследствие обработки более рыхлое сложение, характеризуются меньшей плотностью сложения по сравнению с нижними горизонтами, имеющими более плотное сложение.

Плотность минеральных почв колеблется обычно от 1,0 до $1,8 \text{ г/см}^3$. В гумусовых горизонтах она равна 1,0–1,2; в чисто органических (лесные подстилки, торф) падает до 0,2–0,4. Наиболее высокая плотность почвы $2,0 \text{ г/см}^3$ наблюдается в глеевых горизонтах заболоченных почв. Почва считается рыхлой, если плотность гумусового горизонта равна 0,90–0,96 г/см^3 ; нормальной, если ее плотность равна 0,96–1,15; уплотненной – 1,15–1,25; сильно уп-

лотненной и требующей рыхления – более 1,25. Величина плотности дает возможность рассчитать запасы элементов питания и влаги в почве, а также рассчитать порозность почвы.

Наиболее распространен полевой буровой метод определения плотности почвы, который основан на взятии образца почвы ненарушенного сложения с помощью цилиндра-бура определенного объема. Для пахотных рыхлых горизонтов используются цилиндры объемом 500 см³, для нижележащих плотных – 100–200 см³. В верхних горизонтах определение ведется в пятикратной повторности, в нижних – в тройной.

Ход определения. На неутоптанной площадке рядом с разрезом забивают в почву цилиндр-бур деревянным молотком, предварительно накрыв его плотной пластинкой из дерева или металла. После того как цилиндр полностью погружен в почву, его окапывают вокруг ножом, подрезают снизу под цилиндром и вынимают цилиндр из почвы. Почву в верхней и нижней частях цилиндра подрезают ножом вровень с его краями. Очищают от почвы наружные стенки цилиндра. Почву из больших цилиндров очень аккуратно без потерь переносят в полиэтиленовые мешочки, из маленьких – во взвешенные металлические бюксы. После этого снимают слой почвы, плотность которого определяли, выравнивают площадку на следующем почвенном горизонте и повторяют операцию.

Параллельно определяют влажность почвы. Если определение плотности проводили при помощи маленьких цилиндров, то в этом случае почву, помещенную во взвешенный металлический цилиндр, высушивают всю. Если пользовались большим цилиндром, то почву, помещенную в полиэтиленовый мешок, взвешивают всю без потерь, а затем отбирают из общей массы навеску для определения влажности.

Плотность сложения рассчитывают по формуле:

$$d_v = P/V,$$

где: P – масса сухой почвы, г; V – объем цилиндра, см³ ($V = \pi r^2 \cdot h$, где h – высота цилиндра-бура, см; r – внутренний радиус заостренного конца цилиндра, см).

$$P = 100/(100 + W\%) \cdot a,$$

где: a – масса влажной почвы, г; W – влажность почвы в %.

2.5. Отбор почвенных образцов для лабораторных исследований

Почвенные образцы бывают двух видов: взятые с нарушением естественного сложения (насыпные) и в виде цельных блоков-монолитов. Насыпные образцы отбирают из всех основных разрезов для лабораторного исследования почв, а также для сравнения и уточнения морфологической характеристики почвенных профилей и возможности их сопоставления между собой в период обработки данных полевого обследования. Образцы берутся послойно при помощи почвенного ножа, без пропусков, по всей толще почвенного разреза. Для того чтобы каждый почвенный горизонт был достаточно охарактеризован, образцы берут из верхней и нижней его части. Если мощность горизонта значительная (около 50 см), берут еще один образец из середины горизонта. При незначительной мощности почвенного горизонта (10–20 см) можно ограничиться взятием из данного горизонта одного образца, выбирая для этого наиболее типичную развитую часть горизонта. При мощности горизонта менее 10 см образец отбирают со всей толщи. Масса каждого образца должна быть примерно 0,5–0,7 кг.

Отбор образцов следует производить снизу вверх, в противном случае почва будет осыпаться и засорит нижнюю часть разреза. Самый нижний образец нужно брать лопатой со дна ямы сразу же после ее выкопки. Отобранные почвенные образцы помещают в полиэтиленовые пакеты. Каждый образец снабжается этикеткой, в которой указываются: дата, район работ, № разреза, горизонт и глубина взятия образца, автор исследования.

ГЛАВА 3

ЛАБОРАТОРНЫЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ПОЧВ

3.1. Определение влажности почв

Влажность почвы зависит от количества перегнойной и глинистых частиц, является косвенным показателем ее гранулометрического состава. На фоне урбанистического пресса происходит изменение влажности почв, поэтому исследование данного показателя является необходимым.

Определение гигроскопической влажности

Основные понятия. Гигроскопической влажностью называется то количество воды, которое поглощает почва из воздуха, насыщенного парами воды. Величина гигроскопической влажности зависит от гранулометрического состава почвы, количества коллоидов и гумуса в ней. Этой величиной пользуются для вычисления влажности завядания растений (коэффициента завядания). Она соответствует в большинстве случаев полуторной – двойной максимальной гигроскопической влажности.

Ход определения. Определение гигроскопической влажности проводят следующим образом. Сушильный стаканчик (стеклянный бюкс) высушивают и взвешивают на аналитических весах. Берут навеску почвы в бюкс и взвешивают. Бюкс с навеской почвы помещают в прогретый сушильный шкаф. Высушивание производят при температуре 105 °С до постоянного веса. В процессе сушки нельзя открывать шкаф и ставить в него новые стаканчики.

По окончании высушивания стаканчики вынимают из сушильного шкафа щипцами с резиновыми наконечниками, закрывают крышками и ставят в эксикатор для охлаждения (20–30 мин.). После охлаждения стаканчики взвешивают закрытыми и по потере в весе вычисляют содержание гигроскопической воды в почве.

Определение гигроскопической воды проводят в 2-кратной повторности и вычисляют среднее из этих определений.

Полученные данные вносят в таблицу:

№ п/п	Почва	№ бюкса	Вес пустого бюкса, г	Навеска воздушно-сухой почвы, г	Вес бюкса с почвой после высушивания, г	Вес высушенной почвы, г	Вес воды, г	Гигроскопия, %
-------	-------	---------	----------------------	---------------------------------	---	-------------------------	-------------	----------------

Определение полевой влажности

Основные понятия. Влажностью почвы называют то количество воды, которое содержится в ней в данный момент. Влажность почвы непрерывно изменяется вследствие передвижения влаги по профилю и ее испарения из почвы. Этой величиной пользуются для вычисления запаса влаги в том или ином горизонте почвы и для вычисления коэффициента пересчета с влажной почвы на сухую. Наиболее распространенным является метод высушивания почвы в термостате.

Ход определения. Для определения полевой влажности на месте взятия образца берут буром или ножом массу почвы с заданной глубины. Из пахотного слоя образец берут на всю глубину или из нескольких слоев (0–5, 5–10, 10–15, 15–20 см). На химических весах взвешивают алюминиевый стаканчик с крышкой, помещают в него на $\frac{1}{2}$ – $\frac{1}{3}$ объема почву и снова взвешивают, закрыв крышкой. Образец высушивают в сушильном шкафу при температуре 105 °С в течение 5 часов (крышка стаканчика должна быть надета на дно) и после охлаждения в эксикаторе снова взвешивают. Высушивание и взвешивание повторяют до постоянной массы. Полевую влажность рассчитывают в весовых процентах по формуле

$$A = a/v \cdot 100,$$

где: А – полевая влажность, % (весовой);

а – масса испарившейся влаги, г;

в – масса сухой почвы после высушивания, г;

100 – коэффициент пересчета в проценты.

Для многих анализов, которые проводятся со свежей почвой, нужно знать коэффициент пересчета с влажной на сухую почву. Его вычисляют по формуле

$$K = 100 + A/100,$$

где: А – полевая влажность, %.

3.2. Определение физических параметров почвы (плотность твердой фазы, порозность, воздухообеспеченность)

Определение плотности (удельного веса) твердой фазы почвы

Общие понятия. Плотностью (удельным весом) твердой фазы почвы называется отношение массы твердой фазы определенного объема к массе воды того же объема при 4 °С. Величина плотности (удельного веса) твердой фазы почвы зависит от количества органического вещества, удельный вес которого равен в среднем 1,4, и минералогического состава ее, так как удельный вес различных минералов почв колеблется от 2,5 до 3,8. В большинстве случаев плотность твердой фазы (удельный вес) почвы в среднем равна 2,50–2,65. Знание плотности (удельного веса) твердой фазы почвы необходимо для вычисления скважности почвы.

Плотность (удельный вес) твердой фазы почвы определяют из образца почвы с нарушенной структурой, т. е. растертой в порошок пикнометрическим способом – путем определения объема какой-либо навески почвы при вытеснении ею воды. В качестве пикнометра обычно употребляют мерную колбу на 100 мл.

Ход определения. На аналитических весах берут 10 г воздушно-сухой почвы с точностью до 0,001 г в небольшую фарфоровую чашку. Одновременно в отдельной навеске определяют гигроскопическую воду. Для удаления из дистиллированной воды воздуха 200–250 мл кипятят в колбе в течение 30 мин., далее охлаждают до комнатной температуры. Затем пикнометр на 100 мл наполняют точно до метки этой водой и взвешивают на аналитических весах. Пикнометр во время работы нужно брать только за горлышко и не нагревать его рукой, так как даже незначительные колебания температуры отражаются на точности определения плотности (удельного веса). Рекомендуется записать температуру, при которой проводилось первое взвешивание пикнометра. После взвешивания из пикнометра отливают примерно половину воды и, вставив в его горлышко воронку, осторожно пересыпают взятую навеску почвы. Смывают приставшие к воронке и чашке твердые частицы почвы дистиллированной водой в пикнометр и кипятят его содержимое на электрической плитке или спиртовке 30 мин., не допуская разбрызгивания. После кипячения пикнометр охлаждают до первона-

чальной температуры, доливают оставшейся прокипяченной водой до метки и взвешивают вторично. Если охлаждение пикнометра проводят в сосуде с водой, наружные стенки его перед взвешиванием тщательно обтирают фильтровальной бумагой. Вычисление плотности твердой фазы (удельного веса) проводят по формуле

$$D = B/A + B - C,$$

где: D – плотность (удельный вес) твердой фазы почвы;

B – навеска сухой почвы, г;

A – масса пикнометра с водой, г;

C – масса пикнометра с водой и почвой, г.

Определение скважности и воздухообеспеченности (скважности аэрации)

Величину общей скважности обычно вычисляют по соотношению плотности твердой фазы (удельного веса) и плотности сложения (объемного веса) почвы. Если обозначить через D плотность твердой фазы (удельный вес), а через d плотность почвы, то отношение даст объем, занимаемый твердыми частицами в единице объема почвы. Разность между единицей и объемом, занимаемым твердыми частицами почвы, составит общую скважность ее в данной единице объема. Умножив эту величину на 100, получают общую скважность почвы, выраженную в объемных процентах.

Поэтому общую скважность вычисляют обычно по формуле

$$P = 100(1 - d/D),$$

где: P – общая скважность почвы, %;

d – плотность сложения почвы, г/см³;

D – плотность твердой фазы (удельный вес) почвы.

Для определения величины отдельных видов скважности Н. А. Качинским разработаны специальные методы.

Зная общую скважность почвы и ее влажность для данного момента, можно вычислить скважность аэрации, или воздухообеспеченность, выраженную в объемных процентах

$$P = P - ad,$$

где: P – общая скважность, %;

a – влажность почвы, %;

d – плотность, г/см³.

Умножив влажность почвы (в весовых процентах) на плотность сложения почвы, получают объем пор, занятых в данный момент водой (влажность в объемных процентах). Разность между общей скважностью и влажностью, выраженной в объемных процентах, дает скважность аэрации или воздухообеспеченность почвы.

3.3. Определение гранулометрического состава почв

Общие представления. Гранулометрическим (механическим) составом почвы называется относительное содержание и соотношение частиц (механических элементов) разного размера. Гранулометрический (механический) состав почвы определяет многие важные ее свойства: водный, воздушный и тепловой режимы, влияет на запас питательных веществ в почве, подвижность и эффективность действия вносимых удобрений. От механического состава зависят сложение, порозность, влагоемкость, влажность завядания и другие физические свойства.

Задача механического анализа – определить содержание элементарных механических частиц в почве после искусственного расчленения микроагрегатов, ранее сцементированных карбонатами, склеенных органическими и минеральными соединениями. Результаты механического анализа зависят от метода подготовки почвы, так как разные методы разрушают цементирующие вещества различной степени устойчивости.

Когда в почве определяют содержание частиц разного размера, то имеются в виду группы частиц, диаметр которых находится в определенных пределах. Такие группы называются фракциями механических элементов. Для классификации механических элементов используют шкалу Качинского (1957) (табл. 1).

Выделение скелетной части почвы на ситах. Сумма почвенных частиц размером более 1 мм называется почвенным скелетом. Сумма частиц, размер которых менее 1 мм – это мелкозем. При проведении механического анализа прежде всего выделяют камни, хрящ, крупный песок и пр., т. е. отделяют от мелкозема почвенный скелет. Для этого среднюю пробу почвы в 200–300 г частями просеивают через сито с отверстиями в 1 мм. Сито представляет собой специальное приспособление в виде мелкой сетки, натянутой на обруч, или металлического листа с мелкими отверстиями. Поч-

венные комки раздавливают в ступке пестиком с резиновым наконечником. Просеивание продолжают до тех пор, пока на сите не останутся не поддающиеся раздавливанию частицы почвы (скелет) с приставшими к ним глинистыми частицами.

Таблица 1. Классификация механических элементов по Качинскому (1965)

Размер механических элементов, мм	Название механических элементов
> 3	Камни
3–1	Гравий
1–0,5	Песок крупный
0,5–0,25	Песок средний
0,25–0,05	Песок мелкий
0,05–0,01	Пыль крупная
0,01–0,005	Пыль средняя
0,005–0,001	Пыль мелкая
0,001–0,0005	Ил грубый
0,0005–0,0001	Ил тонкий
< 0,0001	Коллоиды

Оставшиеся на сите частицы минералов (скелет) рассеивают на отдельные фракции через серию сит с диаметром отверстий в 10, 5, 3 мм. После взвешивания каждой фракции отдельно вычисляют процентное содержание их на абсолютно сухой почве.

Из мелкозема после соответствующей подготовки выделяют фракции 1–0,5 и 0,5–0,25 мм на ситах, а более мелкие частицы разделяют методом, основанным на зависимости скорости падения частиц в спокойной воде от их размера.

Почвы, не содержащие карбонатов и с малым содержанием гумуса, не требуют длительной подготовки к механическому анализу, но для карбонатных почв она обязательна. У российских почвоведов наибольшее распространение получили метод подготовки почв Н. А. Качинского и некоторые более быстрые методы, в которых в качестве диспергатора применяют пиррофосфат натрия, щавелевокислый натрий или другие соединения.

Подготовка почвы к механическому анализу по Качинскому. Образец воздушно-сухой почвы, просеянной через сито с ячейками в 1 мм, рассыпают на бумаге и ложечкой из разных мест равномерно отбирают средние пробы:

- а) для определения гигроскопической воды – 4–5 г;
- б) для определения потери растворимых веществ при обработке HCl – 10–15 г;
- в) для приготовления суспензии – 10 г (или 15 г для легких почв).

В первой навеске определяют влажность высушиванием в термостате. Для определения потери от промывания заранее подготавливают фильтр, помещают в сушильный стаканчик и сушат до постоянного веса, затем кладут его на воронку и производят промывание почвы. Фильтр с почвой после промывания возвращают в тот же сушильный стаканчик, высушивают при 105–110 °С до постоянного веса. Вычитая из последнего вес сухого фильтра вместе с сушильным стаканчиком, получают вес промытой навески и вычисляют потерю от промывания. Второй фильтр, подготовляемый для обработки почвы и дальнейшего приготовления суспензии, взвешивать не нужно.

Промывание обеих навесок почвы производится одинаково: навеску помещают в фарфоровую чашечку и испытывают на присутствие карбонатов несколькими каплями 10%-ного раствора HCl. Если почва вскипает, ее неоднократно обрабатывают в чашечке небольшими порциями 0,2 н. раствора HCl до прекращения всякого выделения пузырьков газа; жидкость каждый раз сливают на фильтр. После разрушения карбонатов и прекращения выделения CO₂ почву переносят при помощи 0,05 н. раствора HCl из чашечки на фильтр.

Почвы, в которых не обнаружено присутствие карбонатов, обрабатывают и переносят на фильтр 0,05 н. раствором HCl. Почву на фильтре продолжают промывать этим раствором до исчезновения кальция в фильтрате. Для этого 5–10 мл фильтрата помещают в пробирку и нейтрализуют 10%-ным раствором NH₄OH до появления запаха аммиака, подкисляют несколькими каплями 10%-ной уксусной кислоты и после добавления насыщенного раствора щавелевокислого аммония нагревают до кипения; помутнение указывает на присутствие кальция.

Освобожденную от кальция почву промывают водой до прекращения в фильтрате реакции на хлор (проба с нитратом серебра). В случае появления в фильтрате мути от прохождения коллоидов

промывание почвы водой прекращают, несмотря на наличие хлора в промывных водах.

Один фильтр с промытой почвой высушивают, как указано выше. Второй фильтр с промытой почвой переносят в фарфоровую чашку и с фильтра струей дистиллированной воды из промывалки тщательно смывают всю почву, а приставшие к фильтру частицы счищают стеклянной палочкой. Полученную суспензию почвы переносят в коническую колбу на 750 мл с меткой на 250 мл и доливают водой до 250 мл.

По методу Н. А. Качинского, в зависимости от емкости поглощения и генетических особенностей почвы, к суспензии добавляют для диспергирования 1 н. раствор NaOH в следующем количестве: для тучных черноземов – 6 мл, обыкновенных черноземов – 5, серых почв – 3, для подзолистых – 1. Колбы оставляют стоять на 2 часа, встряхивая их от руки через каждые 15 мин. Колбы закрывают пробкой с обратным холодильником (отрезок стеклянной трубки, вставленной в пробку), суспензию кипятят на электрической плите 1 час, не доводя ее до бурного кипения и вспенивания.

После охлаждения необходимо проверить реакцию суспензии, для чего, переболтав содержимое колбы до появления пены, вносят в нее 1–2 капли фенолфталеина; розовое окрашивание укажет на слабощелочную реакцию. Если порозовения нет, необходимо добавить 1 мл щелочи, переболтать и оставить на ночь, после чего вновь проверить реакцию.

После охлаждения суспензию пропускают через сито с размером ячеек 0,25 мм, помещенное в воронку, опущенную в 1-литровый цилиндр. Задержавшуюся на сите почву промывают водой. Оставшиеся на сите частицы почвы размером от 0,25 до 1 мм переносят струей воды во взвешенный (предварительно) сушильный стаканчик или фарфоровую чашку, воду выпаривают, содержимое (песок) высушивают в термостате и взвешивают. Суспензию в цилиндре доливают до 1 л и анализируют методом пипетки.

Вполне допустимо использование мерных цилиндров емкостью 500 мл при диаметре их не менее 4 см; при этом нижний конец пипетки должен быть настолько удален от дна цилиндра, чтобы осадок не взмучивался при взятии проб. В противном случае пробы

забирают с меньшей глубины, например 20 см. При изменении глубины с 25 до 20 см время отстаивания уменьшают на $\frac{1}{5}$.

Отбор проб пипеткой Качинского. Пипетка в нижней части имеет 4 боковых отверстия, через которые засасывается проба. Для забора проб используется резиновая груша.

Суспензию почвы в цилиндре перемешивают, поднимая и опуская мешалку не менее 60 раз, а затем вынимают мешалку, включают секундомер и оставляют до момента отбора пробы. Продолжительность отстаивания частиц определенного диаметра для соответствующей температуры и удельного веса частиц приводится в табл. 2.

Таблица 2. Продолжительность отстаивания частиц определенного диаметра для соответствующей температуры и удельного веса частиц

Удельный вес твердой фазы почвы	Эффективный диаметр частиц, мм	Глубина взятия пробы, см	15 °С	20 °С
2,60	< 0,05	25	130''	115''
	< 0,01	10	21' 45''	19' 14''
	< 0,005	10	1 час 27'	1 час 17'
	< 0,001	7	25 час 22'	22 час 26'
2,65	< 0,05	25	127''	112''
	< 0,01	10	21' 06''	18' 39''
	< 0,005	10	1 час 24'	1 час 15'
	< 0,001	7	24 час 36'	21 час 45'
2,70	< 0,05	25	123''	109''
	< 0,01	10	20' 28''	18' 06''
	< 0,005	10	1 час 22'	1 час 12'
	< 0,001	7	23 час 53'	21 час 07'

Вязкость воды заметно изменяется в зависимости от температуры и влияет на скорость оседания частиц. Температуру суспензии нужно измерять в каждом цилиндре. Если удельный вес образца неизвестен, берут средние величины для данного типа почвы. Незадолго до истечения срока отстаивания в суспензию вводят на нужную глубину пипетку и закрепляют. На пипетке для отмеривания глубины погружения должны быть отмечены тонкими резиновыми кольцами расстояния 7,10 и 25 см от нижнего конца. Суспензия засасывается в пипетку 20–30 секунд, поэтому начинать засасывание

надо за 10 сек. до истечения срока. В журнале записывают объем взятой пробы, так как взять точно 25 мл бывает трудно. Суспензию сливают из пипетки в тарированный сушильный стаканчик или фарфоровую чашку. Пипетку обмывают водой в этот же сосуд. Пробу выпаривают на песчаной бане и затем высушивают при 105 °С до постоянного веса. Взвешивание ведут на аналитических весах. После взятия каждой пробы содержимое в цилиндре вновь тщательно перемешивают и после оседания почвы отбирают следующую пробу.

Расчет результатов механического анализа. Для равнинных почв, не содержащих отдельностей размером более 1 мм, результаты анализа выражают в процентах от веса абсолютно сухой почвы. Для почвы хрящевой расчет производят на мелкоземистую часть, сопровождая данными о скелетной части почвы.

Процентное содержание фракций, выделенных на ситах (1–0,5; 0,5–0,25 мм), вычисляют по формуле:

$$a \cdot 100/C,$$

где: а – вес фракции, г;

С – навеска мелкозема (сухой вес), г.

Процентное содержание суммы фракций менее определенного размера в пробах, отбираемых пипеткой, вычисляют по формуле:

$$a \cdot v \cdot 100/b \cdot c,$$

где: а – вес фракции в объеме пипетки, г;

в – объем суспензии в пипетке, мл;

с – вес абсолютно сухой навески, г;

v – объем суспензии в цилиндре, мл.

Содержание фракций определенного размера находят, вычитая из данных предыдущей фракции данные последующей фракции. Процентное содержание фракции 0,25–0,05 мм определяют по разности 100% минус сумма процентного содержания всех фракций (частиц 1–0,25, выделенных на ситах частиц менее 0,05 мм и потери от обработки).

Гранулометрический состав почвы дается по отношению физического песка (частицы > 0,01 мм) к физической глине (частицы < 0,01 мм) (табл. 3).

Каменистые почвы классифицируются по мелкозему, так же как и некаменистые, но дополнительно дается оценка каменистости. Взвешиваются частицы размером более 3 мм (камни) и от 1 до 3 мм (гравий). Если суммарное их содержание превышает 10% от

веса почвы, то к названию почвы добавляют слово каменистый или гравелистый по преобладающей фракции. В таблице всегда приводят данные содержания фракций в процентах от абсолютно-сухого мелкозема. При наличии фракций более 1 мм их содержание приводят в таблице рядом с данными механического анализа. Классификация почв по каменистости дается в табл. 4.

Таблица 3. Классификация почв подзолистого типа почвообразования по гранулометрическому составу (Н. А. Качинский)

Содержание физической глины (частиц < 0,01 мм), %	Краткое название почвы по гранулометрическому составу	Содержание физической глины (частиц < 0,01 мм), %	Краткое название почвы по гранулометрическому составу
0–5	Песок рыхлый	40–50	Суглинок тяжелый
5–10	Песок связный	50–65	Глина легкая
10–20	Супесь	65–80	Глина средняя
20–30	Суглинок легкий	> 80	Глина тяжелая
30–40	Суглинок средний	–	–

Таблица 4. Классификация почв по каменистости

Частицы размером > 3 мм, %	Степень каменистости	Тип каменистости
< 0,5	Некаменистая	Устанавливается по характеру скелетной части Могут быть валунные, галечниковые, щебенчатые
0,5–5	Слабокаменистая	
5–10	Среднекаменистая	
> 10	Сильнокаменистая	

3.4. Определение химических показателей почв

Почвы, находящиеся в условиях города, испытывают мощное воздействие техногенного пресса. Одной из составляющих этого воздействия являются аэротехногенные поллютанты – вещества-загрязнители: тяжелые металлы, органические соединения, оксиды азота, серы и пр. На фоне антропогенного воздействия происходит изменение не только физических свойств (порозности, объемного веса), но и резко изменяются химические свойства почв. В этой связи ценную информацию о состоянии почв, а значит и природной среды в целом, могут дать химические методы, широко используемые как при анализе нативных, не нарушенных, так и при исследовании антропогенно преобразованных почв.

Подготовка почвы к химическому анализу. Образец почвы весом 600–750 г размещают на листе чистой оберточной или пергаментной бумаги и удаляют из него корни, включения и новообразования. Дернину тщательно отряхивают от комочков почвы.

Крупные комки почвы разламывают руками или раздробляют в фарфоровой ступке пестиком с резиновым наконечником до небольших комков, диаметром 5–7 мм (примерно до величины отдельных мелкоореховатой структуры). Цель такого измельчения – получить более однородный образец и иметь возможность тщательно перемешать его при взятии средней пробы.

Поскольку средняя проба должна характеризовать все свойства исследуемой почвы, на подготовку образца к взятию этой пробы следует обращать особое внимание.

Среднюю пробу лучше брать *квартованием*. Для этого измельченный дроблением образец после перемешивания располагают на бумаге в виде квадрата или прямоугольника и делят диагоналями (шпателем или линейкой) на четыре равные части (рис. 3, а).

Две противоположные части (1 и 3) высыпают в картонную коробку для хранения на случай повторных или дополнительных определений. В коробку следует положить также этикетку образца и, кроме того, вторую этикетку наклеить на стенку коробки.

Из оставшейся на бумаге почвы в первую очередь берут лабораторную пробу для подготовки к определению гумуса и азота (рис. 3, ж). Пробу берут до растирания почвы в ступке, так как при растирании остатки корней измельчаются настолько, что выбрать их из пробы невозможно, поэтому результаты анализа получаются завышенными.

Лабораторная проба на определение гумуса и азота. Наиболее крупные комки почвы раздавливают в фарфоровой ступке до агрегатов не больше 3–5 мм в диаметре и смешивают на листе бумаги с более мелкими частицами почвы. Почву тщательно перемешивают и распределяют по листу ровным слоем толщиной 0,5 см в виде квадрата или прямоугольника.

Квадрат или прямоугольник делят горизонтальными и вертикальными линиями (шпателем или линейкой) на небольшие квадраты или прямоугольники площадью 3 x 3 см или 3 x 4 см (рис. 3, б). Из каждого квадрата или через один берут ложкой или шпателем небольшое количество почвы, захватывая ее на всю глубину слоя.

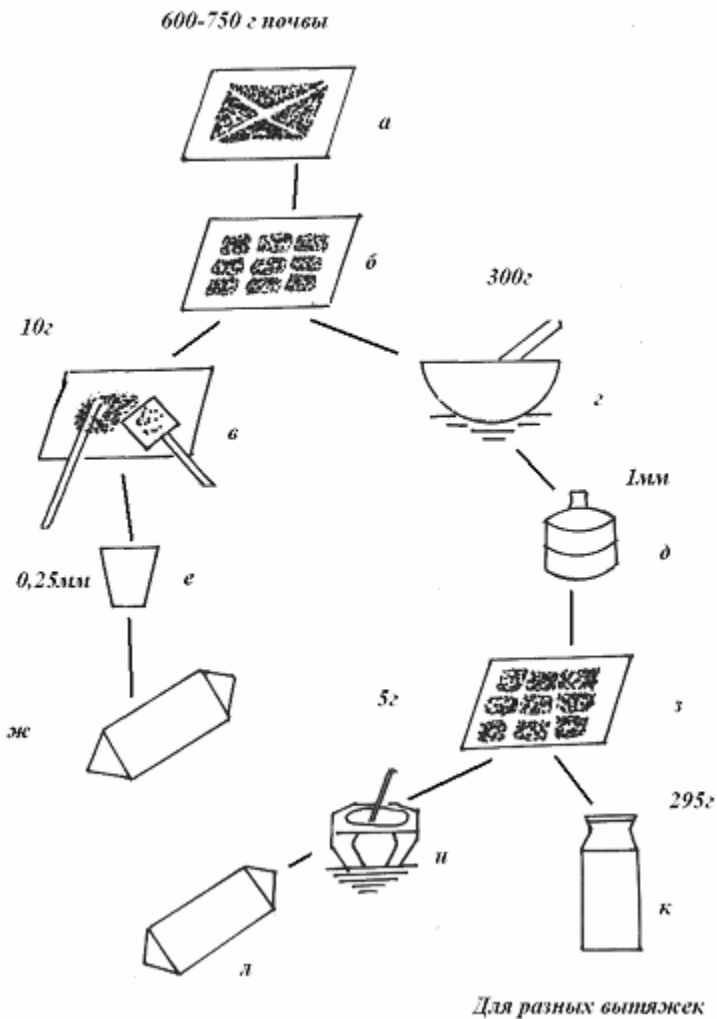


Рис. 3. Схема подготовки почвы к химическому анализу

Для определения гумуса и азота требуется 5–10 г или немного меньше почвы. Если за один прием не удастся набрать это количество, почву перемешивают, снова делят на квадраты и опять берут пробу. Взятую пробу помещают на стекло с подложенной под него

бумагой (для фона), тщательно отбирают корешки (под лупой), раздавливая комочки почвы пинцетом (рис. 3, в). При анализе почвы, взятой из дернового горизонта, где корешков особенно много, при отборе их иногда пользуются наэлектризованной стеклянной палочкой.

После отбора корешков почву просеивают через сито с отверстиями диаметром 0,25 мм (рис. 3, е), что позволяет получить однородный образец почвы, обеспечивающий воспроизводимость повторных определений. Минеральные частицы почвы, остающиеся на сите (если диаметр их меньше 1 мм), растирают в ступке и присоединяют к той части почвы, которая прошла через сито. Пробу тщательно перемешивают и хранят в пакетике из бумажной кальки или пергамента с обозначением номера разреза и глубины горизонта (рис. 3, ж).

Оставшуюся часть средней пробы (после взятия из нее лабораторной пробы на определение гумуса и азота) по частям растирают в фарфоровой ступке пестиком с каучуковым наконечником (рис. 3, г). Пользоваться фарфоровым пестиком без такого наконечника не полагается, так как им можно растереть обломки пород и минералов. Растирание почвы в ступке производится по возможности раздавливанием. Измельченный образец просеивают через сито (рис. 3, д). Сито состоит из крышки, которая защищает почву от распыления в момент просеивания, ситовой части, содержащей сетку с отверстиями диаметром в 1 мм, и поддона, служащего приемником просеянной почвы. Просеивание следует проводить при сборе всех частей сита. Открывать сито полагается спустя 1–2 мин. после просеивания, чтобы дать пыли осесть и не потерять самую активную часть почвы – илистую фракцию. Цель просеивания – отделение мелкозема от скелета почвы. То, что остается на сите (если это не хрящ или гравий, а агрегаты почвы), снова высыпают в фарфоровую ступку, измельчают, как указано выше, и снова просеивают. Попеременное измельчение и просеивание проводят до тех пор, пока все агрегаты почвы не будут разрушены, а на сите останутся лишь частицы скелета, которые выбрасывают или взвешивают после промывания водой и, высушивания, если требуется знать процентное содержание скелета в почве (что обычно делают при определении механического

состава почвы). Для химического анализа почвы используют только мелкозем.

Если почву готовят для вытяжек, подготовка ограничивается просеиванием образца через сито с отверстиями в 1 мм. Когда предполагается определить состав минеральной части почвы, т. е. провести ее валовой анализ, из просеянной почвы следует взять лабораторную пробу.

Взятие лабораторной пробы на определение состава минеральной части почвы (рис. 3, з). Просеянную через почвенное сито почву помещают на лист чистой бумаги, тщательно перемешивают, распределяют ровным слоем толщиной 0,5 см, делят на мелкие квадратики или прямоугольники и набирают 5 г почвы приемом, который описан выше.

Остаток почвы помещают в банку с притертой пробкой, коробку или пакет, где хранится просеянная почва (не забыть положить в банку или коробку этикетку образца и сделать на ней соответствующую наклейку (рис. 3, к). Оставшуюся часть пробы растирают в агатовой или яшмовой ступке «до пудры», т. е. до частиц диаметром 0,2 μ (рис. 3, и).

Количество почвы, растираемое за один прием, зависит от размера ступки. Обычно оно не превышает 1–2 г. Излишняя загрузка ступки ведет к потере почвы (она высыпается через край) и к ее загрязнению.

Растирание считается оконченным, если растертая почва не царапает кожу. Другой показатель полноты измельчения – слипание почвы в пластинчатые агрегаты, так как у частиц диаметром меньше 0,2 μ , силы сцепления значительны.

Почву, растертую в пудру, хранят в пакетиках из кальки или пергаменту с обозначением номера разреза и глубины горизонта (рис. 3, л). Эту почву используют для сплавления с углекислыми щелочами, разложения плавиковой кислотой и пр.

Большинство определений, например определение водорастворимых солей, обменных оснований, емкости поглощения, кислотности, подвижных форм элементов и питательных веществ почвы, проводят с образцом, пропущенным через сито с отверстиями диаметром в 1 мм, поэтому во многих случаях подготовка почвы к анализу ограничивается просеиванием образца через почвенное сито.

Просеянную почву хранят в банках с притертой пробкой, картонных коробках или бумажных пакетах. Следует иметь в виду, что при высыпании почвы происходит разделение частиц по их удельному весу. На дно банки или коробки больше попадает тяжелых частиц, а легкие располагаются сверху, поэтому перед взятием навески образец необходимо хорошо перемешать. Количество почвы, подготовленной к химическому анализу, зависит от количества определений и величины навесок. Вес пробы на отдельное определение должен в 2–3 раза превышать анализируемую навеску (для повторных или контрольных анализов). Для анализа больше всего требуется почвы, пропущенной через сито с отверстиями диаметром в 1 мм, что видно из нижеследующего перечня определений для химической характеристики подзолистых почв (табл. 5).

Таблица 5. Вес пробы почвы, используемой в химических анализах

Наименование определений	Вес пробы (г)
Обменные основания	20
pH солевой вытяжки	50
Гидролитическая кислотность	100
Усвояемый калий	50
Усвояемый фосфор	25

Подготовка торфа к химическому анализу

При исследовании болотных почв проводят химический анализ торфа. Сырой торф раскладывают небольшим слоем в эмалированной ванночке и в течение нескольких дней доводят до воздушно-сухого состояния, многократно перемешивая образец каждый день. Высушивание следует производить в чистом и хорошо проветриваемом помещении.

Воздушно-сухой образец измельчают молотком или фарфоровым пестиком до частиц размером примерно в 1 см. Затем торф пропускают через мельницу. Измельченный образец просеивают через сито с отверстиями диаметром 2–3 мм. Частицы, остающиеся на сите, снова пропускают через мельницу.

Берут среднюю пробу весом в 100 г, просеивают через сито с отверстиями диаметром в 1 мм. Частицы, остающиеся на сите, измельчают в фарфоровой ступке и снова просеивают через сито.

Так поступают до тех пор, пока просеют весь образец. Подготовленный образец хранят в стеклянной банке с притертой пробкой, картонной коробке или в бумажном пакете.

3.4.1. Определение кислотно-щелочных свойств

Общие положения. Важной характеристикой почв является кислотность, которая вызывается ионами водорода и алюминия. С реакцией почвенного раствора связаны процессы превращения компонентов минеральной и органической частей почвы: растворение веществ, образование осадков, диссоциация, возникновение и устойчивость комплексных соединений, миграционные процессы органо-минеральных соединений. Особенно важно знать кислотность городских почв, испытывающих загрязнение поллютантами, которые вызывают изменение кислотно-основных свойств.

Носителем кислотности могут быть почвенные растворы и почвенные коллоиды. В зависимости от места нахождения ионов водорода и алюминия кислотность делится на два вида: актуальную и потенциальную, которая в свою очередь подразделяется на обменную и гидrolитическую.

Реакция почвенного раствора определяется концентрацией свободных H^+ и OH^- – ионов и характеризуется величиной рН, которая представляет собой *отрицательный десятичный логарифм концентрации катионов водорода*.

Нейтральную реакцию среды характеризует $pH = 7$, кислую – $pH < 7$, щелочную – $pH > 7$.

Актуальная кислотность обусловлена ионами водорода в почвенном растворе. Она определяется наличием в почвенном растворе водорастворимых кислот – щавелевой, лимонной, фульвокислот, гидролитически кислых солей и, прежде всего, угольной. Величину актуальной кислотности определяют в водной вытяжке из почвы.

Обменная кислотность обусловлена наличием в почвенном поглощающем комплексе ионов водорода и алюминия, способных обмениваться на катионы нейтральных солей, например хлорида калия. Величину обменной кислотности определяют в вытяжке из почвы 1н. раствора KCl.

Возможно несколько способов определения кислотности почв. Наиболее современным и быстрым является потенциометрический, основанный на измерении электродвижущей силы (э.д.с.) гальванического элемента. Он состоит из электрода сравнения с известным потенциалом и индикаторного электрода, потенциал которого зависит от концентрации активных ионов в исследуемом растворе. В качестве индикаторного электрода используют стеклянный электрод рН метра.

Приготовление водной и солевой вытяжек из почв. Почву, предварительно высушенную и просеянную через сито 1 мм, взвешивают на аналитических весах. Величина навески зависит от горизонта почв: для минеральных горизонтов она составляет 10 г, для органогенных (подстилка) – 1 г. Почву помещают в колбу емкостью 100 мл.

Для определения кислотности в водной вытяжке почву заливают водой (25 мл), в солевой вытяжке – 1,0 н. раствором KCl (25 мл). Для лучшего диспергирования почвы в водном/солевом растворе колбы взбалтывают в течение 10 мин., в случае больших партий, можно использовать электрическую мешалку. Приготовленные почвенные болтушки оставляют на 24 часа. По истечении срока проводят определение кислотности почв на рН-метре. Полученные данные записывают в таблицу.

В табл. 6 представлены данные по кислотности почв на территории г. Петрозаводска (2004 г.).

Таблица 6. Актуальная и обменная кислотность почв г. Петрозаводска

Место отбора почв	Горизонт, глубина отбора почв, см	pH _{H2O}	pH _{KCl}
Отвал «Горелая земля»	Ad, 0–4	9,65	7,75
Сквер у реки Неглинки	Ad, 0–5	6,35	5,37
Центральная часть детского сада № 86 (ул. Свердлова)	U1, 0–5	7,00	6,35

Гидролитическая кислотность (H₂) по Каллену определяется наличием в почве поглощенных ионов водорода и алюминия, способных обмениваться на катионы гидролитически щелочных солей. Для ее определения используют 1 н. раствор CH₃COONa с рН 8,2. Гидролитическая кислотность является первой формой

кислотности, которая появляется при обеднении почвы основаниями. Поскольку при однократной обработке раствором вся гидролитическая кислотность не извлекается, в расчеты вводят коэффициент 1,75 на неполноту вытеснения. В этом случае определяется вся почвенная кислотность как актуальная, так и потенциальная.

Ход анализа. Берут навеску воздушно-сухой почвы 40 г в колбу на 250 мл и приливают 100 мл 1 н. раствора уксуснокислого натрия CH_3COONa . Затем содержимое колбы взбалтывают 1 час на ротаторе и полученную суспензию титруют через сухой складчатый фильтр. Берут пипеткой 50 мл прозрачного фильтрата, переносят в коническую колку на 100 мл, добавляют 1–2 капли фенолфталеина и титруют 0,1 н. раствором NaOH до исчезающей в течение 1 минуты розовой окраски. Записывают количество щелочи, пошедшей на титрование. Количество щелочи, пошедшее на титрование 50 мл фильтрата, выражают в миллилитрах щелочи точно 0,1 н. концентрации. Для перевода полученного результата в миллиграмм-эквиваленты на 100 г почвы, найденное при титровании 50 мл фильтрата количество 0,1 н. щелочи с поправкой на титр, надо умножить на 0,875.

Расчет результатов анализа

$$N_{\text{г}} (\text{мг-экв./100 г}) = 0,875 \cdot a \cdot K,$$

где: a – количество щелочи, пошедшее на титрование, мл;

K – поправка на титр щелочи;

$$0,875 = 5 \cdot 0,1 \cdot 1,75,$$

где: 5 – для перевода данных на 100 г почвы;

0,1 – титр щелочи;

1,75 – поправка на неполноту вытеснения.

Сумма поглощенных оснований по Каппену-Гильковицу (S). В почвенном поглощающем комплексе почв помимо катионов водорода и алюминия, определяющих в основном почвенную кислотность, содержатся и поглощенные основания (Ca , Mg , K , Na). Соотношение катионов водорода и алюминия, с одной стороны, и поглощенных оснований – с другой, в конечном итоге определяют реакцию почвы. Показатели гидролитической кислотности и суммы поглощенных оснований позволяют рассчитать степень насыщенности почвы основаниями.

Ход анализа. Берут навеску почвы в 20 г и помещают в колбу емкостью 250 мл. Приливают точно 100 мл 0,1 н. раствора соляной кислоты (HCl) точно установленного титра. Содержимое колбы взбалтывают 1 час на ротаторе и оставляют на 24 часа. По истечении этого срока фильтруют через сухой складчатый фильтр. Из фильтрата берут пипеткой 50 мл в коническую колбочку на 200 мл и кипятят 1–2 минуты. После этого прибавляют 2 капли фенолфталеина и титруют горячий раствор 0,1 н. раствором едкого натра до не исчезающей слабозеленой окраски. Параллельно проводят титрование 50 мл 0,1 н. исходной соляной кислоты 0,1 н. раствором щелочи.

Расчет результатов анализа

$$S \text{ (мг-экв./100 г)} = (A - B) \cdot K,$$

где: А – количество в мл 0,1 н. щелочи, пошедшей на титрование 0,1 н. кислоты;

В – количество в мл 0,1 н. щелочи, пошедшей на титрование фильтрата;

К – поправка к титру 0,1 н. щелочи.

Для почв, богатых основаниями (> 15 мг-экв./100 г), берут на 20 г почвы 200 мл 1 н. соляной кислоты и полученный результат умножают на 2.

Вычисление степени насыщенности основаниями. Степень насыщенности почвенного поглощающего комплекса основаниями вычисляют по формуле:

$$V\% = S/S+Hг \cdot 100\%,$$

где: V – степень насыщенности основаниями;

S – сумма поглощенных оснований, мг-экв./100 г;

Hг – величина гидролитической кислотности, мг-экв./100 г почвы.

3.4.2. Определение содержания элементов минерального питания

Растения, произрастающие в условиях города, требуют для своего роста и развития полный набор питательных элементов, главным поставщиком которых, как известно, является почва. Однако в условиях городской среды почвы становятся аккумулятором не только различного мусора, но и веществ-поллютантов, которые могут оказывать отрицательное воздействие на ризосферу, тем самым вызывая гибель деревьев. Так, усыхание ели в районе

центрального сквера (ул. Титова) в Петрозаводске с начала 2000 г. закончилось его гибелью (2003 г.), отмирание древесных насаждений наблюдается в микрорайонах Кукковка, Ключевая. В этой связи необходимо исследовать не только физические, но и химические свойства почв, включая микроэлементный состав.

Определение азота по методу Кьельдаля (микрометод)

Общие понятия. Валовое содержание азота в почве зависит от количества гумуса и колеблется от 0,01–0,03% в песчаных подзолистых почвах до 0,4–0,6% в черноземах и 3–4% в торфяных почвах.

Метод Кьельдаля дает возможность определить весь органический азот в почве. Количество минеральных соединений азота (нитриты, нитраты) этим методом не учитывается. Их содержание в почве очень мало (обычно несколько миллиграммов на 1 кг почвы), поэтому этой величиной можно пренебречь при определении общего количества азота в почве.

Принцип метода Кьельдаля основан на том, что все органическое вещество почвы сжигается в концентрированной серной кислоте. Азот при этом переходит в форму $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$. Образовавшийся $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ разрушают щелочью, а выделяющийся при этой реакции NH_3 улавливают в определенный объем титрованного раствора H_2SO_4 . Избыток H_2SO_4 , не израсходованный на связывание азота, оттитровывают раствором NaOH или KOH .

Ход анализа. Из образца почвы, просеянной через сито с отверстиями 0,25 мм, берут в сухую пробирку от 0,2 до 1 г почвы (в зависимости от количества гумуса в почве: чем его больше, тем меньше навеска) и точно взвешивают на аналитических весах. Затем на пробирку надвигают горло колбы Кьельдаля и быстрым движением осторожно переворачивают колбу с находящейся в ней пробиркой. Пробирку вынимают и вновь точно взвешивают. По разности между массой пробирки с почвой и без почвы определяют навеску почвы, взятую для анализа.

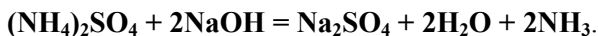
В колбу приливают 3–5 мл концентрированной H_2SO_4 , прибавляют несколько кристаллов K_2SO_4 и 1–2 кристаллика CuSO_4 (1–2 крупинки металлического селена или несколько капель хлорной кислоты или несколько капель перекиси водорода) для

ускорения реакции. Колбу укрепляют наклонно при помощи штатива на колбонагревателе или над газовой горелкой в вытяжном шкафу и осторожно нагревают.

Реакция окисления органического вещества идет бурно, поэтому первое время необходимо следить за ходом сжигания и предупредить вспучивание почвы уменьшением нагрева и осторожным помешиванием содержимого колбы.

Через 30–40 мин. нагрев можно усилить и продолжать окисление до полного обесцвечивания раствора, после чего прекратить нагрев и охладить колбу до комнатной температуры. После охлаждения содержимое колбы Кьельдаля переносят в сосуд для перегонки через воронку, многократно ополаскивая ее водой, которую также переносят в сосуд. Раствор в сосуде должен занимать около 1/4 объема. В приемник приливают из бюретки 20 мл 0,02 н. раствора H_2SO_4 и прибавляют 2–3 капли индикатора метилрота или смешанного индикатора Гроака. Приемник подставляют под холодильник так, чтобы конец трубки холодильника был погружен в раствор. Затем через воронку осторожно приливают 20–30 мл 40%-ного раствора $NaOH$ или KOH . Закрыв кран воронки, содержимое сосуда осторожно взбалтывают.

Если количество прибавленного KOH достаточно, жидкость в сосуде окрашивается в синий цвет и выпадает осадок гидроокиси меди. При взаимодействии щелочи с $(NH_4)_2SO_4$ реакция идет по уравнению:



Образующийся NH_3 отгоняют паром в приемник с H_2SO_4 , для чего нагревают парообразователь и кипятят в нем воду в течение 20–30 мин. Во время перегонки необходимо следить за тем, чтобы конец отводной трубки холодильника был погружен в 0,02 н. раствор H_2SO_4 в приемнике.

За 5 минут до конца перегонки отводную трубку приподнимают из раствора и перегонку продолжают таким образом, чтобы капли воды из холодильника свободно стекали в приемник. При перегонке выделяющийся NH_3 поглощается 0,02 н. раствором H_2SO_4 по уравнению $2NH_3 + H_2SO_4 = (NH_4)_2SO_4$.

По окончании перегонки остаток 0,02 н. раствора H_2SO_4 , не вступивший в реакцию с NH_3 , оттитровывают 0,02 н. раствором $NaOH$. При применении метилрота титруют до перехода розовой окраски в желтую, при использовании индикатора Гроака – до изменения красно-фиолетового цвета в зеленый. 1 мл 0,02 н. раствора, затраченный на связывание NH_3 , соответствует 0,00028 г N.

Количество азота вычисляют по формуле:

$$x = (a - b) \cdot 00028 \cdot 100 \text{ К/с},$$

где: x – количество азота, % в сухой почве;

a – число миллилитров 0,02 н. раствора H_2SO_4 , взятое для поглощения аммиака;

b – то же, после поглощения аммиака;

100 – коэффициент для пересчета на 100 г почвы;

К – коэффициент для пересчета на сухую почву;

с – навеска почвы, взятая для анализа, г.

Анализ водной вытяжки

Часть жидкой фазы почвы, находящаяся в свободном состоянии и заполняющая капиллярные и некапиллярные поры в почве, называется почвенным раствором. По составу и концентрации почвенного раствора все почвы можно разделить на две группы – незасоленные и засоленные.

В незасоленных почвах концентрация почвенного раствора невелика. В минеральной части раствора преобладают бикарбонаты (в основном кальция), в очень незначительном количестве присутствуют нитраты, сульфаты и фосфаты. Органическая часть раствора состоит из водорастворимых гумусовых кислот и промежуточных продуктов разложения органических остатков. В засоленных почвах концентрация почвенного раствора высокая, а его состав определяется составом засоляющих почву солей. Минеральная часть раствора в этих почвах обычно представлена хлоридами, сульфатами, а также бикарбонатами щелочных и щелочноземельных катионов и карбонатом натрия. В органической части почвенного раствора, которая обычно значительно меньше минеральной, преобладают гумусовые кислоты и их соли. Состав растворенных веществ почвенного раствора обуславливает его реакцию.

Кислотность почвенного раствора вызывается присутствием органических кислот и свободной угольной кислоты. Щелочность почвенного раствора обусловлена, главным образом, наличием карбонатов и бикарбонатов щелочноземельных и щелочных оснований, а также щелочных солей гумусовых и кремниевой кислот.

Как концентрация, так и состав почвенного раствора имеют большое значение в развитии растений. Химический состав почвенного раствора, его реакцию и концентрацию изучают обычно методом водной вытяжки. Метод водной вытяжки является условным и дает лишь качественное представление о составе почвенного раствора и его концентрации. Чем больше взято воды для приготовления водной вытяжки, тем больше извлекается из почвы веществ, в то время как концентрация водной вытяжки уменьшается. Чем дольше взаимодействует почва с водой, тем больше веществ переходит из почвы в водную вытяжку.

В водной вытяжке определяют:

1) сухой остаток, т. е. общую сумму водорастворимых веществ, дающую косвенное представление о концентрации почвенного раствора;

2) прокаленный остаток, т. е. общую сумму минеральных водорастворимых веществ;

3) щелочность и кислотность;

4) катионы (Ca^{2+} и Mg^{2+}) и анионы (Cl^- , SO_4^{2-} и NO_3^-); причем количественное определение катионов Ca^{2+} и Mg^{2+} и анионов Cl^- и SO_4^{2-} важно только при анализе засоленных почв, где их содержание значительно.

Приготовление водной вытяжки. На теххимических весах отвешивают в фарфоровой чашке 100 г воздушно-сухой почвы, просеянной через сито с отверстиями диаметром 1 мм. Навеску осторожно через воронку с широкой и короткой трубкой пересыпают в стеклянную банку с притертой пробкой. В банку приливают 500 мл дистиллированной воды, все содержимое банки встряхивают в течение 3 мин. и медленно фильтруют через плотный складчатый фильтр, перенося на него всю почву. Для фильтрации употребляются воронки диаметром 12–15 см. Первые мутные порции фильтрата переносят обратно на фильтр; фильтрат собирают в колбу вместимостью 500–700 мл. Во время фильтрации записывают скорость фильтрации, цвет и прозрачность вытяжки.

Анализ водной вытяжки необходимо производить тотчас после окончания фильтрации.

Определение общей суммы водорастворимых веществ (сухой остаток)

Берут пипеткой или мерной колбочкой 100 мл водной вытяжки, выпаривают на водяной бане в предварительно высушенной и взвешенной на аналитических весах фарфоровой чашечке или тигле. Сухой остаток высушивают в термостате при 105 °С в течение 3 часов и после охлаждения в эксикаторе взвешивают на аналитических весах. По разности массы пустой чашечки и чашечки с сухим остатком определяют массу сухого остатка во взятом объеме вытяжки. Количество сухого остатка в процентах к массе воздушно-сухой почвы вычисляют по формуле:

$$x = aV/bc,$$

где: a – масса сухого остатка, г;

V – общее количество воды, взятой для приготовления водной вытяжки, мл;

100 – коэффициент перевода в проценты;

b – объем вытяжки, взятой на выпаривание, мл;

c – навеска почвы, г.

Водные вытяжки из торфа и лесных подстилок приготавливают при отношении 1 : 20, т. е. берут 25 г воздушно-сухого торфа и 500 мл дистиллированной воды.

Определение общей суммы минеральных водорастворимых веществ (прокаленный остаток)

Для определения общей суммы минеральных водорастворимых веществ фарфоровую чашечку с высушенным и взвешенным сухим остатком прокаливают в течение 1–2 часов в муфельной печи или на газовой горелке при температуре не выше 600 °С.

После охлаждения в эксикаторе чашечку взвешивают и вновь прокаливают в течение 30 мин., охлаждают и взвешивают. Прокаливание и взвешивание повторяют до установления постоянной массы чашечки. Количество прокаленного остатка вычисляют в процентах к массе воздушно-сухой почвы по формуле для вычисления веса сухого остатка.

Разность между количеством сухого и прокаленного остатков дает величину потери при прокаливании, т. е. сумму органических водорастворимых веществ.

Определение подвижных соединений фосфора и калия в почве.

Общие понятия. Общее количество фосфора в почвах колеблется от 0,01 до 0,2%. Большая часть органических и минеральных соединений фосфора, находящихся в почве, нерастворима в воде и недоступна для растений. В практике сельского хозяйства под названием «подвижные соединения фосфора» понимают те почвенные фосфаты, которые растворяются в воде и слабых кислотах и могут усваиваться растениями.

Общее содержание калия в различных почвах колеблется в среднем от 1 до 8% в пересчете на K_2O . Количество поглощенного калия составляет от 0,004 до 0,06% (4–60 мг на 100 г), а водорастворимого лишь 0,0001–0,002% (0,1–2 мг на 100 г почвы). Наиболее доступной формой калия являются его водорастворимые соединения и поглощенный (обменный) калий. Поглощенный калий является основным источником калийного питания растения, и содержание его в почве служит показателем степени обеспеченности почвы усвояемым калием.

Для определения степени обеспеченности почвы подвижными формами фосфора и калия предложено несколько методов. Выбор метода определяется степенью карбонатности и насыщенности почв основаниями.

Определение подвижных форм фосфора и калия по методу А. Т. Кирсанова

Принцип метода. Этим методом определяются те подвижные соединения фосфора и калия, которые переходят в раствор при обработке почвы 0,2 н. HCl . Раствор этот извлекает из почвы фосфаты кальция, большую часть фосфатов железа и алюминия, но не затрагивает органических соединений фосфора. Одновременно вытесняется обменный калий и его водорастворимые формы. Метод пригоден для некарбонатных почв.

Фосфор

Ход анализа. На теххимических весах отвешивают 5 г воздушно-сухой почвы, пропущенной через сито с отверстиями 1 мм, помещают в колбу и обрабатывают 25 мл 0,2 н. раствора HCl . Колбу встряхивают в течение 1 мин. и оставляют в покое на 15 мин., после чего содержимое фильтруют через небольшой складчатый фильтр. Фосфор в растворе определяют колориметри-

чески с использованием молибденовокислого аммония, а калий – на пламенном фотометре.

Метод определения содержания подвижных соединений фосфора основан на образовании комплексной фосфорномолибденовой кислоты при взаимодействии молибденовокислого аммония с фосфором. Фосфорномолибденовая кислота восстанавливается оловом в солянокислой среде до окислов молибдена, окрашенных в голубой цвет.

Из фильтрата берут пипеткой от 3 до 25 мл (в зависимости от предполагаемого содержания фосфора) в мерную колбу вместимостью 50 мл, разбавляют дистиллированной водой до 40–45 мл, прибавляют пипеткой 2 мл 2,5%-ного раствора молибденовокислого аммония, тщательно перемешивают и вносят 3 капли раствора хлористого олова. Содержимое колбы доводят до метки и вновь тщательно перемешивают. Через 5–10 мин. приступают к колориметрированию, предварительно приготовив серию образцовых растворов.

Приготовление рабочего образцового раствора P_2O_5

0,1917 г KH_2PO_4 растворяют в мерной колбе вместимостью 1 л в дистиллированной воде, доводя объем до метки. Раствор содержит 0,1 мг P_2O_5 в 1 мл. Хранят его в темном месте. Из него готовят рабочий раствор: 50 мл раствора пипеткой переносят в мерную колбу вместимостью 500 мл и доводят содержимое колбы до метки дистиллированной водой. Из этого раствора (он содержит 0,01 мг P_2O_5 в 1 мл) приготавливают серию образцовых растворов для колориметрирования и построения калибровочного графика.

Приготовление серии образцовых растворов для определения фосфора. Для этого из рабочего образцового раствора, содержащего 0,01 мг P_2O_5 в 1 мл, в 10 мерных колб вместимостью 100 мл бюреткой наливают следующие количества:

№ колбы	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Количество образцового раствора	1	2	4	6	8	10	20	30	40	50
Содержание P_2O_5 в 100 мл, мг	0,01	0,02	0,04	0,06	0,08	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5

В колбы прибавляют до 90–95 мл дистиллированной воды, 4 мл 2,5%-ного раствора молибденовокислого аммония, 6 капель раство-

ра хлористого олова и аскорбиновую кислоту (в последнем случае растворы значительно дольше сохраняются перед колориметрированием). Тщательно перемешивают, доводят раствор до метки дистиллированной водой и вновь перемешивают.

Если окраска испытуемого раствора окажется очень слабой, определение повторяют с большим объемом фильтрата. Можно также работать с мерными колбами меньшей вместимости (50 мл). В последнем случае соответственно уменьшить количество молибденовоокислого аммония и хлористого олова в два раза. Если после окрашивания испытуемый раствор дает не чисто синюю, а грязно-зеленую окраску, определение нужно повторить, предварительно восстановив Fe^{3+} металлическим алюминием и разрушив органическое вещество персульфатом калия ($\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8$) в слабоокислой или нейтральной среде.

Количество P_2O_5 в миллиграммах на 100 г сухой почвы определяют по калибровочной кривой, а затем проводят расчет по формуле:

$$X (\text{мг}/100 \text{ г}) = aV \cdot 100K / bc,$$

где: а – содержание P_2O_5 в испытуемом растворе, найденное по калибровочной кривой, мг;

V – общий объем фильтрата, мл;

K – коэффициент пересчета на сухую почву;

b – объем фильтрата, взятый для анализа, мл;

c – навеска почвы, г.

Калий

Ход определения. В приготовленной для определения фосфора в почве солянокислой вытяжке определяют содержание подвижного калия с помощью пламенного фотометра. По показателю прибора и при помощи калибровочного графика получают содержание K_2O на 1 л, а затем для получения результата в мг на 100 г сухой почвы проводят расчет по формуле:

$$X (\text{мг}/100 \text{ г}) = a \cdot v / 1000,$$

где: X – содержание подвижного калия в сухой почве;

a – концентрация калия (мг в 1 л) в испытуемом растворе, найденная по калибровочной кривой;

v – объем вытяжки, соответствующий 100 г почвы.

Приготовление образцового раствора K_2O

1,583 г KCl растворяют в 1 л дистиллированной воды (лучше это делать в мерной колбе на 1 л). В 1 мл этого раствора содержится 1 мг K_2O . Далее в мерные колбы емкостью 250 мл берут возрастающее количество основного образцового раствора: 0,5; 1,0; 2,5; 5,0; 7,5; 10; 15; 20; 25 мл и доводят до метки 0,2 н. раствором соляной кислоты. В пересчете на 1 л концентрация калия (K_2O) в колбах будет соответствовать 2, 4, 10, 20, 30, 40, 60, 80, 100 мг K_2O . Проводят пламеннофотометрическое определение и построение калибровочного графика.

Методы определения подвижных соединений азота в почве

В почве всегда находятся 3 группы соединений азота, различия по степени доступности для растений.

1. Минеральные соединения азота, растворимые в воде (нитриты, нитраты, аммонийные соли) и вытесняемые растворами нейтральных солей (поглощенный аммоний). Все они являются непосредственными источниками питания растений. Их содержание в каждый данный момент в почве очень невелико и составляет только несколько миллиграммов на 1 кг сухой почвы.

2. Легкогидролизуемые органические соединения азота, минерализующиеся в первую очередь с образованием доступных для растений форм азота. Их количество также незначительно и составляет десятки миллиграммов на 1 кг сухой почвы.

3. Негидролизуемые разбавленными растворами минеральных кислот органические соединения азота, трудно поддающиеся минерализации. Они составляют основную часть валового азота почвы.

Содержание соединений азота первой и второй групп является показателем обеспеченности почв азотом, доступным для растений.

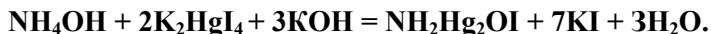
Для определения количества минеральных форм азота почву анализируют для определения содержания поглощенного и водорастворимого аммония и нитратов. Для выяснения способности почв к мобилизации органических соединений азота устанавливают нитрифицирующую способность почв.

Резкое возрастание количества нитратов при добавлении сульфата аммония свидетельствует о низкой потенциальной способности почвы к аммонификации, а увеличение содержания нитратов

при внесении мела подтверждает необходимость известкования почвы. Возрастание количества аммония и нитратов при внесении люпиновой или гороховой муки свидетельствует о недостаточном количестве легкогидролизуемых органических соединений азота в почве.

Определение аммонийного азота

Общие понятия. Аммонийный азот находится в почве в форме поглощенного (обменного) катиона и в виде водорастворимых солей. Его извлекают обработкой почвы 1 н. раствором KCl и определяют колориметрически. Колориметрическое определение основано на взаимодействии NH_4^+ с реактивом Несслера, при котором образуется йодистый меркураммоний, окрашенный в желтый цвет:



Для связывания ионов Ca^{2+} и Mg^{2+} , которые также переходят в раствор и мешают определению, к раствору прибавляют сегнетовую соль ($\text{KNa} \cdot \text{C}_4\text{H}_4\text{O}_6 \cdot \text{H}_2\text{O}$).

Ход анализа. Навеску свежей почвы, соответствующую 10–50 г сухой почвы, помещают в коническую колбу вместимостью 250–500 мл и заливают 10-кратным количеством 1 н. раствора KCl с учетом воды, уже содержащейся в почве. Содержимое колбы взбалтывают 5 мин. и оставляют на ночь. Длительное отстаивание можно заменить часовым взбалтыванием на ротаторе. Затем содержимое колбы фильтруют через складчатый фильтр, предварительно промытый раствором KCl для очистки от аммиака, и, если фильтрат прозрачен и бесцветен, приступают к колориметрическому определению аммонийного иона. Вначале проводят качественную пробу на содержание NH_4^{4+} в вытяжке. В пробирку берут 5 мл фильтрата, прибавляют 2 капли сегнетовой соли и 2 капли реактива Несслера. Раствор должен окраситься в чисто желтый цвет. Если окраска становится желто-бурой или выпадает осадок, вытяжку разбавляют и записывают разбавление, после чего повторяют качественную пробу. Подбрав нужную концентрацию вытяжки, берут от 5 до 40 мл ее в мерную колбу вместимостью 50 мл и разбавляют водой до 40 мл, после чего прибавляют 2 мл сегнетовой соли и хорошо перемешивают содержимое колбы. Одновременно гото-

вят шкалу образцовых растворов, для чего в мерные колбы вместимостью 50 мл берут пипеткой 1, 5, 10, 15 и 20 мл образцового раствора, разбавляют водой до 40 мл и прибавляют 2 мл раствора сегнетовой соли, хорошо размешивая ее с образцовым раствором. Затем во все колбы прибавляют по 2 мл реактива Несслера, доводят содержимое колб до метки и снова тщательно перемешивают растворы. Через 2–3 мин. колориметрируют испытуемый и образцовые растворы.

По градуировочной кривой находят концентрацию аммония, соответствующую измеренному значению оптической плотности, и вычисляют содержание NH_4^+ в миллиграммах на 100 г сухой почвы по следующей формуле:

$$X \text{ (мг/100 г)} = \frac{a \cdot V \cdot 100 K}{bc},$$

где a – содержание NH_4^+ в 50 мл, найденное по градуировочной кривой, мг;

V – общее количество 1 н. раствора KCl , взятое для приготовления вытяжки, мл;

b – объем испытуемого раствора, взятый для определения, мл;

c – навеска почвы, г;

100 – коэффициент для пересчета на 100 г почвы;

K – коэффициент пересчета на сухую почву.

Приготовление образцового раствора NH_4^+

Растворяют в воде 0,7405 г химически чистого NH_4Cl и доводят до 1 л; 10 мл этого раствора разводят водой до 500 мл. Этот образцовый раствор содержит 0,005 NH_4^+ (или 0,0039 мг N) в 1 мл.

Определение нитратного азота

Принцип метода. Нитраты присутствуют в почве в виде водорастворимых солей. Для извлечения их применяют водные или солевые вытяжки. Нитраты в почвенных вытяжках определяют колориметрическим или объемным методами. Колориметрический метод с использованием дисульфифеноловой кислоты был предложен Грандваль-Ляжу. Метод основан на взаимодействии нитратов с дисульфифеноловой кислотой. При подщелачивании смеси раствор приобретает желтую окраску, по интенсивности которой

судят о содержании нитратов в почве. Метод позволяет определять не менее 0,02 мг NO₃ в 100 мл раствора.

Ход анализа. Навеску 20 г воздушно-сухой почвы помещают в колбу емкостью 250 мл, туда же наливают 100 мл дистиллированной воды. Содержимое колбы взбалтывают 3 минуты и затем фильтруют через плотный складчатый фильтр. Пипеткой берут 20–50 мл фильтрата в зависимости от предполагаемого содержания в почве нитратов, помещают в небольшую фарфоровую чашку и на водяной бане выпаривают досуха. В охлажденную чашку по каплям из пипетки добавляют 1 мл дисульфосоляной кислоты, стараясь смочить находящийся на стенке и дне чашки сухой остаток. Остаток тщательно растирают с кислотой оплавленным концом стеклянной палочки. Чашку оставляют в покое на 10 минут. Затем в нее добавляют пипеткой 25 мл дистиллированной воды, смесь перемешивают стеклянной палочкой и доводят до щелочной реакции, прибавляя раствор едкой щелочи (проба с лакмусовой бумажкой). При этом в присутствии нитратов жидкость окрашивается в желтый цвет. Жидкость должна приобрести устойчивую желтую окраску, а лакмусовая бумажка посинеть, тогда прекращают добавление щелочи. Окрашенный раствор с помощью воронки переносят в мерную колбу на 100 мл. Чашку и палочку обмывают водой из промывалки. Эту воду добавляют в мерную колбу. Колбу закрывают пробкой и хорошо перемешивают. Определяют оптическую плотность раствора на фотоколориметре. По калибровочной кривой находят содержание нитратного азота в испытуемом растворе. Если испытуемый раствор окрашен более интенсивно, чем образцовые растворы, его разбавляют в несколько раз водой, повторяют выпаривание на водяной бане и весь вышеуказанный порядок определения.

Расчет результата анализа содержания нитратного азота (X):

$$X \text{ (мг/100 г)} = \frac{a \cdot V \cdot 100 K}{bc}$$

где a – содержание NO₃ в 50 мл, найденное по градуировочной кривой, мг;

V – общее количество воды, взятое для приготовления вытяжки, мл;

b – объем испытуемого раствора, взятый для определения, мл;

c – навеска почвы, г;

100 – коэффициент для пересчета на 100 г почвы;
K – коэффициент пересчета на сухую почву.

Приготовление образцового раствора нитрата. Запасной раствор. Для приготовления используют х.ч. KNO_3 . На аналитических весах отвешивают 0,722 г соли, переносят в мерную колбу емкостью 1 л. Растворяют в дистиллированной воде, объем доводят до 1 л. В 1 мл раствора содержит 0,01 мг N- NO_3 . Рабочий раствор готовят разведением запасного раствора в 50 раз водой. Рабочий раствор содержит 0,002 мг N- NO_3 в 1 мл. Его используют для приготовления образцовых растворов.

3.4.3. Определение содержания в почве гумуса

Общие понятия. Многочисленными исследованиями доказано, что в условиях городской среды формируется специфический гумус, свойства которого отличны от гумуса почв ненарушенных экосистем. В этой связи необходим анализ гумуса почв, находящихся в условиях урбанизации.

Как известно, в состав гумуса входят 3 группы органических соединений: 1) вещества исходных органических остатков (белки, углеводы, лигнин, жиры и т. д.), 2) промежуточные продукты их превращения (аминокислоты, оксикислоты, фенолы, моносахариды и т. д.) и 3) гумусовые вещества. Последние составляют главную и специфическую часть гумуса.

Все методы изучения гумуса почвы можно разбить на 3 группы: 1) методы определения общего количества органического вещества в почве, 2) методы определения отдельных элементов, входящих в состав гумуса, 3) методы определения отдельных групп гумусовых веществ.

Прямых методов определения общего количества гумуса в почве нет. Косвенным приемом определения общего количества гумуса является вычисление содержания его по количеству углерода в почве. Предполагая, что среднее содержание углерода в гумусе равно 58%, общее количество его в почве можно вычислить путем умножения процентного содержания углерода в почве на коэффициент 1,724. Этот коэффициент является условным и дает лишь приблизительное представление об общем количестве гумуса, при-

ближающемся к истинному лишь в почвах, богатых гуминовыми кислотами. Из отдельных элементов, входящих в состав органического вещества почвы, можно определить С, N и H.

Все методы определения гумуса по углероду так же делятся на прямые и косвенные. Прямые методы основаны на учете CO_2 , выделяющегося при сжигании органического вещества почвы путем прокаливания (сухое сжигание) или окисления гумуса смесью хромовой и серной кислот (мокрое сжигание). Прямые методы наиболее точны, но требуют для анализа много времени. Из прямых методов определения гумуса мокрым сжиганием наиболее распространённым является метод Кнопа.

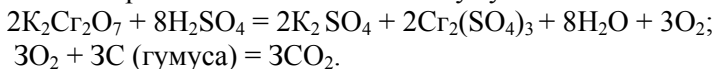
Косвенные методы определения гумуса основаны на учете кислорода, необходимого для его окисления, и исходят из предположения, что при окислении весь кислород расходуется только на окисление углерода. Применяя титрованный раствор окислителя, можно по расходу последнего вычислить количество углерода в почве. Этот метод дает точное количество углерода лишь в том случае, если в гумусе отношение по массе H : O равно 1 : 8 и весь кислород окислителя расходуется на окисление углерода. Для большинства северных почв этот метод дает несколько повышенные результаты, так как отношение H : O в гумусе этих почв больше 8. В южных почвах, где степень внутренней окисленности гумуса выше, мы получаем пониженные результаты.

Из косвенных методов определения гумуса наибольшим распространением пользуется метод И. В. Тюрина, сущность которого заключается в окислении гумуса титрованным раствором хромовой кислоты и титрометрическом определении неизрасходованного остатка последней. По количеству израсходованного окислителя вычисляется количество углерода в почве, а по содержанию последнего – процентное содержание гумуса.

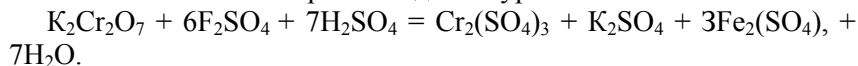
Определение количества гумуса по методу И. В. Тюрина

Ход определения. Из образца почвы, просеянной через сито с отверстиями 0,25 мм, берут на аналитических весах навеску от 0,1 до 0,5 г в зависимости от количества гумуса в почве. Навеску осторожно переносят в коническую колбу вместимостью 100 мл и приливают из бюретки 10 мл 0,4 н. раствора $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$, приготовленного в разведенной 1 : 1 серной кислоте.

В горло колбы вставляют маленькую воронку, служащую холодильником, и ставят ее на песочную баню. Содержимое колбы кипятят точно 5 мин., не допуская сильного кипения и перегрева. При нагревании начинается окисление гумуса, заметное по мелким пузырькам выделяющегося CO_2 . Часть двуххромовокислого калия при этом затрачивается на окисление гумуса по схеме:



Затем содержимое колбы охлаждают, прибавляют 5–8 капель фенилантрапиновой кислоты в качестве индикатора и титруют 0,2 н. раствором соли Мора ($\text{FeSO}_4 \cdot (\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) до изменения темно-бурой окраски раствора через фиолетовую и синюю в грязно-зеленоватую. Когда раствор окрасится в синий цвет, титровать необходимо очень осторожно, прибавляя раствор соли Мора по 1 капле и тщательно размешивая титруемую жидкость. Реакция между двуххромовокислым калием, оставшимся после окисления гумуса, и солью Мора заключается в восстановлении двуххромовокислого калия в окись хрома и идет по уравнению:



Одновременно устанавливают соотношение между $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ и солью Мора, для чего берут бюреткой 10 мл 0,4 н. раствора $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ в коническую колбу вместимостью 100 мл, а затем содержимое колбы титруют так же, как описано выше (без кипячения).

Экспериментально установлено, что 1 мл 0,2 н. раствора соли Мора соответствует такому количеству хромовой кислоты, которое окисляет 0,0010362 г гумуса или 0,0006 г углерода. Поэтому количество гумуса вычисляют по формуле:

$$X = \frac{(a - b) \cdot 0,0010362 \cdot k \cdot 100 \cdot K}{C},$$

где: X – количество гумуса, % к сухой почве;

a – число миллилитров раствора соли Мора при холостом определении;

b – то же, при обратном титровании после окисления гумуса;

k – поправка на нормальность раствора соли Мора, если он не точно 0,2 н.;

- 100 – коэффициент перевода на 100 г почвы;
 К – коэффициент для пересчета на сухую почву (поправка на содержание гигроскопической воды);
 С – навеска почвы, взятая для анализа, г.

3.4.4. Определение содержания в почве тяжелых металлов

Общие положения. В настоящее время особое значение приобрело загрязнение биосферы группой поллютантов, получивших общее название «тяжелые металлы» (ТМ). К тяжелым металлам относят более 40 химических элементов периодической системы Д. И. Менделеева с атомным весом свыше 50 а.е.м. Иногда тяжелыми металлами называют элементы, которые имеют плотность более 7–8 тыс. кг/м³ (кроме благородных и редких). Часть техногенных выбросов тяжелых металлов, поступающих в атмосферу в виде аэрозолей, переносится на значительные расстояния и вызывает глобальное загрязнение. Другая часть с гидрохимическим стоком попадает в бессточные водоемы, где накапливается в водах и донных отложениях и может стать источником вторичного загрязнения. Основная масса выбросов осажается в непосредственной близости от источников загрязнения – это чаще всего промышленные предприятия (табл. 7). Сильное загрязнение тяжелыми металлами (свинцом, кадмием и цинком) обнаружено вблизи автомагистралей.

Таблица 7. Общее содержание тяжелых металлов в почвах, прилегающих к промпредприятию «Тяжбуммаш» г. Петрозаводска, мг/кг

№ точки, глубина, см	Co	Ni	Cu	Zn	Li	Mn	Pb	S
т. 52 0–10	7,87	55,01	55,92	158,62	11,61	521,26	23,95	768
10–20	7,87	31,44	31,95	79,31	9,29	341,51	11,47	692
т. 53 0–10	7,87	23,58	15,98	61,68	6,97	718,98	18,09	570
10–20	7,87	23,58	15,98	70,50	6,97	781,89	7,10	764
т. 54 0–10	7,87	23,58	23,97	290,80	8,36	880,75	18,75	1560
10–20	15,73	31,44	15,98	193,86	7,43	1168,34	11,71	2132

Тяжелые металлы, поступающие на поверхность почвы, накапливаются в почвенной толще, особенно в верхних гумусовых горизонтах, и медленно удаляются при выщелачивании, потреблении

растениями, эрозии и дефляции. Для техногенных территорий характерен независимо от типа почвы регрессионно-аккумулятивный тип распределения в профиле, проявляющийся в накоплении тяжелых металлов в верхнем гумусовом горизонте и резком снижении содержания в нижележащих горизонтах. Накоплению тяжелых металлов в почве способствуют глинистые минералы и органическое вещество.

Определение общего содержания тяжелых металлов в почве

Широкое применение при анализе почв нашел метод атомно-абсорбционной спектрометрии, что определяется высокими значениями предельно допустимых концентраций (ПДК) токсичных металлов в почвах.

Подготовка к анализу. Перед выполнением измерений проводят настройку спектрометра и проверку его градуировки. Также следует подготовить пробу почвы к анализу: из воздушно-сухой пробы почвы тщательно удаляют корни, инородные частицы и методом квартования берут навеску массой 0,2 г. Отобранную пробу почвы перетирают в фарфоровой ступке и просеивают через капроновое сито с диаметром отверстий 2 мм. Непросеянные комочки почвы растирают и снова просеивают, затем из полученной пробы почвы берут навеску на анализ.

Ход анализа. При определении *общего содержания тяжелых металлов* в почве проводят химическое разложение проб почвы. На аналитических весах взвешивают 10,00 г (с точностью до 0,01 г) воздушно-сухой почвы, измельченной и пропущенной через сито с отверстиями 2 мм, навеску помещают в химический стакан (или коническую колбу) вместимостью 250 см³ и приливают 50 см³ азотной кислоты (1 : 1). При содержании в почве гумуса свыше 5% рекомендуется предварительное сухое озоление пробы при 575 °С. Осторожно перемешивают содержимое. Стакан накрывают часовым стеклом и помещают на электроплитку, доводят до кипения и кипятят на медленном огне 10 минут. Остужают раствор. Затем к пробе по каплям приливают 10 см³ концентрированной перекиси водорода при перемешивании и вновь кипятят раствор 10 минут. После охлаждения суспензию отфильтровывают через фильтр марки u1074 в мерную колбу вместимостью 100 см³, фильтр с осадком помещают в стакан, в котором осталась почва.

Приливают в стакан 10 см^3 1 М азотной кислоты и помещают его на плитку, где кипятят раствор еще 30 минут. После охлаждения жидкость в стакане отфильтровывают в ту же мерную колбу. Затем осадок промывают горячей азотной кислотой ($C = 1 \text{ моль/дм}^3$) и после охлаждения доводят объем фильтрата до метки в мерной колбе дистиллированной водой. Одновременно проводят «холостой» анализ, включая все его стадии, кроме взятия пробы почвы.

Определение водорастворимых форм соединений металлов

Для извлечения водорастворимых форм тяжелых металлов из проб почв в бюкс вместимостью 30 см^3 на аналитических весах отбирают навеску воздушно-сухой пробы почвы (массой $5,00 \text{ г}$ с точностью до $0,01 \text{ г}$). Мерным цилиндром вместимостью 250 см^3 отбирают 125 мл дистиллированной воды и переливают ее в коническую колбу (на 250 см^3).

Приливают к пробе почвы из колбы (от объема 125 см^3) 20 см^3 дистиллированной воды и перемешивают почву с водой, встряхивая бюкс вращательными движениями. Полученную суспензию почвы с водой фильтруют с помощью фильтра «белая лента», собирая фильтрат в сухую коническую колбу. Добавляют дистиллированную воду в бюкс и ополаскивают его, переводя таким образом остатки почвы на фильтр. В процессе фильтрования постепенно добавляют в фильтруемую пробу почвы воду из колбы. После того, как все 125 см^3 воды будут израсходованы на фильтрование пробы почвы, фильтр с почвой убирают, а коническую колбу с фильтратом и воронкой ставят на электроплитку и выпаривают фильтрат до объема 25 см^3 . Затем охлаждают содержимое колбы, промывают воронку дистиллированной водой, сливая промывные воды в колбу. Переводят из колбы упаренный фильтрат в мерную колбу вместимостью 25 см^3 , добавляют 2–3 капли концентрированной азотной кислоты и доводят объем раствора в колбе до метки дистиллированной водой и полученный раствор анализируют на содержание водорастворимых форм соединений металлов атомно-абсорбционным методом.

Определение подвижных форм тяжелых металлов

Данные определения проводят экстракцией металлов с помощью кислот. Подвижные кислоторастворимые формы металлов

(Cu, Zn, Ni, Cd, Pb) определяют в вытяжках 1 М HNO_3 или 1 М HCl . Эти экстрагенты успешно используются для анализов почв, подверженных техногенным воздействиям. Из сильно загрязненных почв 1 М азотной кислотой извлекается 90–95% тяжелых металлов от их валового содержания. Отношение почвы к раствору составляет 1 : 10, для торфяных почв это соотношение 1 : 20.

Ход анализа. Пробу почвы массой 5,00 г (для торфяных почв 2,5 г) взвешивают с точностью 0,01 г и помещают в коническую колбу вместимостью 250 cm^3 , к пробе приливают 50 cm^3 1 М HNO_3 (для извлечения свинца можно использовать 1 М HCl). Навеску пробы почвы увеличивают до 10,00 г при определении тяжелых металлов на фоновом уровне (при этом соотношение почвы и раствора остается неизменным). Суспензию встряхивают в течение 1 часа или после трехминутного встряхивания настаивают в течение суток в колбе с закрытой пробкой. Вытяжку фильтруют через сухой складчатый фильтр «белая лента», предварительно промытый 1 М HNO_3 . Перед фильтрованием вытяжка перемешивается и переносится полностью на фильтр. Если фильтраты мутные, их возвращают на фильтры. В фильтрате определяют содержание тяжелых металлов. Одновременно проводят «холостой» анализ, включая все его стадии, кроме взятия пробы почвы. В полученном фильтрате определяют тяжелые металлы атомно-абсорбционным методом.

Извлечение *подвижных форм тяжелых металлов* можно проводить ацетатно-аммонийным буферным раствором с рН 4–8. Этот экстрагент используется для извлечения доступных растениям микроэлементов и служит для оценки обеспеченности почв этими элементами. Отношение почвы к раствору составляет 1 : 10, время воздействия 1 час при взбалтывании или настаивание в течение суток.

Ход анализа. Пробу почвы массой 10,00 г помещают в коническую колбу вместимостью 200 cm^3 , к пробе приливают 50 cm^3 ацетатно-аммонийного буферного раствора. Суспензию встряхивают в течение 1 часа или настаивают в течение суток. Суспензии карбонатных почв, не закрывая емкости, периодически взбалтывают до прекращения выделения углекислого газа. Вытяжку фильтруют через сухой складчатый фильтр «белая лента», по возможности, не

переноса почву на фильтр. К оставшейся в колбе почве приливают еще 50 см³ ацетатно-аммонийного буферного раствора и повторяют экстрагирование. Повторное фильтрование производят в ту же колбу, перенося на фильтр максимальное количество почвы. В полученном фильтрате определяют тяжелые металлы атомно-абсорбционным методом. Одновременно проводят «холостой» анализ, включая все его стадии, кроме взятия пробы почвы.

Обработка результатов

Содержание металлов в исследуемых пробах почвы рассчитывают по формуле:

$$X = V \cdot (C1 - C0) / m,$$

где: X – массовая доля определяемого металла в воздушно-сухой пробе почвы, мг/кг;

C1 – концентрация металла в исследуемой кислотной (буферной) вытяжке почвы, найденная по градуировочному графику, мг/дм³;

C0 – концентрация металла в контрольной пробе, найденная по градуировочному графику, мг/дм³;

V – объем исследуемого раствора, см³;

m – масса воздушно-сухой пробы почвы, г.

ГЛАВА 4

ОПРЕДЕЛЕНИЕ БИОЛОГИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ ПОЧВ

4.1. Определение целлюлозолитической активности почв

Общие положения. Методов определения биологической активности почв достаточно много, так как спектр задач, стоящих перед исследователем, также обширный. Однако многие методы дают информацию на данный момент исследования и не раскрывают специфику функционирования микробиоты в пространстве и во времени. Этому недостатка лишены аппликационные методы диагностики почв, позволяющие учитывать консциляционное влияние антропогенной среды, проследить состояние живой компоненты почв на определенном отрезке времени. Определение целлюлозолитической способности почв методом аппликации дает ценную информацию о превращении лабильной фракции органического вещества, круговороте углерода, активности целлюлозолитического комплекса.

Ход определения. Чистые обезжиренные стеклышки (8 x 10 см) обшивают с двух сторон чистой льняной тканью (шелковыми нитками). Масса ткани, которая пришивается на стекло, заранее установлена. На один участок рекомендуется подготовить не менее 9 стекол, обшитых тканью. Стекла, предназначенные для каждого участка, заворачиваются в крафтовую бумагу и стерилизуются. Начиная с поверхности, продельвают ножом или лопатой вертикальные щели в почве на глубину 10 см и вставляют подготовленные стекла. Если планируются исследования более глубоких слоев, то рядом с предыдущими в почве делаются щели на нужную глубину.

В полевом журнале записывается исходная масса ткани, время закладки стекол, количество их на одной пробной площади. Как показала практика, смена фитоценоза в парках города происходит

достаточно быстро, в отличие от лесных сообществ. Поэтому, чтобы обнаружить все стекла, закопанные в почву, прежде чем выполнять модельный эксперимент, необходимо выявить ориентиры (старое дерево, большой камень, расположение относительно тропинки и пр.), а также установить колышки. Один конец колышка лучше закрасить белой краской, можно также воспользоваться обычными карандашами или ручками. Это позволит точно определить место закладки стекол даже спустя 6 месяцев после постановки эксперимента.

Съемку опыта по разложению льняного полотна производят в зависимости от целей работы. Наши исследования показали, что скорость минерализации ткани в почвах г. Петрозаводска очень высокая: 100% разложение ткани отмечали в течение июня–августа.

По окончании эксперимента стекла осторожно извлекают из почвы, помещают в полиэтиленовый мешок. В лаборатории ткань отмывают от почвы и продуктов полураспада, подсушивают и взвешивают. Если стекол много, то ткань можно поместить в бюкс, обязательно записав номер бюкса в тетрадь.

По убыванию массы судят об интенсивности процесса разрушения целлюлозы. Шкала интенсивности разрушения целлюлозы приводится в табл. 8.

Таблица 8. Шкала интенсивности разрушения целлюлозы (%) за вегетационный сезон

Выраженность процесса разрушения	Оценка
< 10	очень слабая
10–30	слабая
30–50	средняя
50–80	сильная
> 80	очень сильная

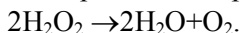
Полученные данные можно представить в виде таблицы или рисунка, в последнем случае достаточно иллюстративно можно показать изменение целлюлозолитической способности изучаемых почв на фоне урбанистического пресса.

4.2. Определение ферментативной активности почв

Активность работы ферментов определяется многими факторами: температурой, pH почв, наличием субстрата, присутствием ингибиторов/активаторов их работы в среде, гетерогенностью почв и пр. На фоне антропогенного фактора возможно изменение физико-химических свойств почв, нарушение работы ферментных комплексов. В этой связи является актуальным исследование активности ферментов в почвах, находящихся в условиях урбанизации.

4.2.1. Определение активности каталазы

Общие положения. Каталаза ($H_2O_2 : H_2O_2$ – оксидоредуктаза КФ 1.11.1.6) относится к классу оксидоредуктаз. Каталаза (от греч. «katalio» – разрушаю) катализирует окислительно-восстановительную реакцию, в ходе которой из двух молекул ядовитой для организма перекиси водорода образуется вода и кислород:



Молекула каталазы имеет каталитически активную четвертичную структуру и в результате даже при незначительных изменениях во внешней среде легко диссоциирует с полной потерей активности.

Активность каталазы в почве в большей степени зависит от воздушного режима, гранулометрического состава почв, окислительно-восстановительного потенциала. Изменение свойств почв на фоне урбанистического пресса оказывает влияние на активность каталазы, изменение которой можно обнаружить предлагаемым газометрическим методом, широко распространенным в почвоведении.

Для определения активности каталазы требуются реактивы:

- 1) $CaCO_3$,
- 2) 3% раствор H_2O_2 ,
- 3) 5% раствор H_2SO_4 .

Для определения каталазной активности собирают газометрический прибор (рис. 4, А). Две бюретки (1, 2) с помощью резинового шланга соединяют через тройник с уровнительной грушевидной воронкой (3). Уровень раствора серной кислоты в бюретках и груше уравнивают, опуская или поднимая грушу, последнюю за-

крепляют на определенной высоте. Затем закрывают тройник таким образом, чтобы устранить сообщение прибора с внешней средой. Катализник (4) соединяется с одной из бюреток через специальный зажим.

Катализник собирают по следующей схеме (рис. 4, Б). В резиновую пробку (1) колбы Эрленмейера на 100 мл с диаметром горлышка 30 мм монтируют пробирку (2) высотой 150 мм, диаметром 10–12 мм, с отверстием 10–12 мм на высоте 45–50 мм. Нижний край отверстия оттянут на 3–4 мм в виде носика. Верхнюю часть пробирки закрывают резиновой пробкой со стеклянной трубкой диаметром 4–5 мм (3), которую соединяют через резиновый шланг с бюреткой газометра, заполненного 5%-ной серной кислотой.

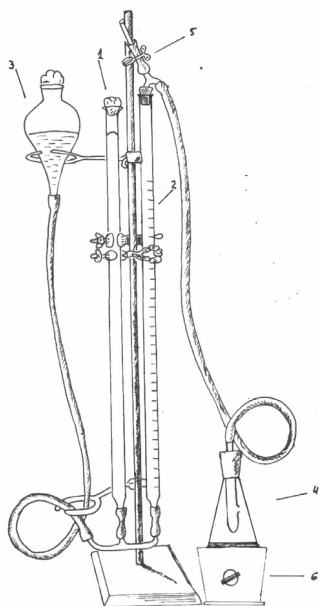


Рис. 4, А. Схема прибора для определения активности каталазы:

- 1, 2 – бюретка;
- 3 – грушевидная воронка;
- 4 – катализник;
- 5 – зажим Мора;
- 6 – магнитная мешалка

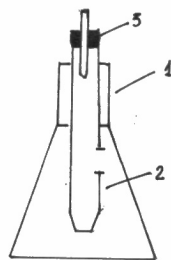


Рис. 4, Б. Схема катализника:

- 1 – резиновая пробка колбы;
- 2 – пробирка;
- 3 – резиновая пробка пробирки

Ход определения. Определение каталазной активности проводят следующим образом: в каталазник помещают 0,5 г углекислотного кальция, 1 г почвы, вносят стержень магнитной мешалки. В пробирку каталазника через боковое отверстие наливают 5 мл 3% перекиси водорода и пробирку с пробкой плотно вставляют в горлышко колбы. С помощью грушевидной воронки устанавливают уровень раствора серной кислоты в бюретке (2) на нуле. Зажимом Мора закрывают свободное отверстие тройника (5) на бюретке. Затем, наклоняя каталазник, сливают перекись водорода из пробирки и колбу ставят на магнитную мешалку (6). Засекают время начала реакции. Объем газа замеряют через 1 или 5 минут.

Активность каталазы выражают в миллилитрах O_2 за 1 или 5 мин. на 1 г почвы.

Результаты показали, что активность каталазы в почвах Петрозаводска очень высокая и составляет до 28 мл O_2 /1 мин./1 г почвы. Это свидетельствует о напряженности микробиально-биохимических процессов, скорости превращения органо-минеральных соединений. Информативность и чувствительность данного показателя позволяет его использовать в урбоэкологическом мониторинге почв.

4.2.2. Определение активности уреазы

Общие положения. Одним из надежных индикаторов состояния почв является активность уреазы. Это фермент, играющий важную роль в превращении азотсодержащих соединений, его активность определяет важные этапы превращения азотсодержащих веществ в почве. В условиях антропогенного пресса возможно изменение активности данного фермента. В результате может произойти нарушение одной из главных функций почв – поддержание экологического равновесия всей урбоэкосистемы. В этой связи необходимо исследование активности данного фермента.

Существует достаточно много методик, которые позволяют оценить активность уреазы в почве. В данной работе мы рассматриваем метод, который хорошо зарекомендовал себя при проведении комплексных исследований, когда необходимо провести

исследование большого объема почвенных образцов и ставится задача оценки трансформации азотсодержащих соединений в антропогенно нарушенных почвах. Экспресс-метод определения уреазы позволяет быстро определить биохимический потенциал почв, оценить их самоочищающую способность.

Для постановки опыта необходимы следующие приборы и оборудование: весы технические, чашки Петри (диаметр ≈ 10 см), индикаторная бумага, мочевины, часы.

Ход определения. К внутренней поверхности крышки чашки Петри прикрепляется полоска фильтровальной бумаги, пропитанная раствором универсального индикатора. Влажная бумага прочно прикрепляется к стеклу и удерживается долгое время.

В чашку Петри помещается навеска почвы массой 50 г. Затем добавляется мочевины (0,25 или 0,5 г), предварительно растворенная в небольшом количестве воды. Почва и мочевины тщательно перемешиваются, затем увлажняются дистиллированной водой до пастообразного состояния и равномерно распределяются по дну чашки. Чашку закрывают крышкой.

Разложение мочевины сопровождается образованием летучей щелочи – аммиака, поэтому воздушная среда над почвой приобретает щелочную реакцию и цвет индикаторной бумажки изменится в зависимости от интенсивности происходящих в почве процессов. В этой связи между поверхностью почвы и крышкой чашки должно оставаться небольшое воздушное пространство, в котором и будет происходить реакция.

Время экспозиции чашек зависит от биологической активности почв и находится экспериментально. Как показали наши исследования, для городских почв, отобранных в июне–августе, оптимальным считается время экспозиции 2–3 часа, в более холодное время года – до 4 часов.

В качестве контроля использовали чашки без почвы, содержащие растворенную в дистиллированной воде мочевины и снабженные прикрепленными к крышкам индикаторными полосками.

Полученные данные заносятся в таблицу (табл. 9).

Таблица 9. Изменение биологической активности почв

Образец почв	Время экспозиции	Изменение pH индикаторной полоски
Почва, отобранная на свалке отходов завода «Тяжбуммаш» в г. Петрозаводске	1 час	6,5
	1,5 часа	7,6
	2,0 часа	7,6

Время (1,5 часа), при котором установилось определенное значение pH (7,6) по индикаторной бумажке, соответствует разложению карбамида до аммиака и является показателем биологической активности почв.

В зависимости от целей и объектов исследования условия проведения анализов можно варьировать (например изменить условия влажности почв, величину навески, время экспозиции).

4.3. Определение дыхания почв

Общие положения. В биодиагностике почв большое значение имеет определение почвенного дыхания как интегрального показателя работы всей биоты. Интенсивность выделения углекислоты дает достоверную информацию о напряженности микробиально-биохимических процессов, о направленности трансформации органического вещества, а также позволяет судить о самоочищающей способности антропогенно нарушенных почв.

Определение углекислоты методом титрования – быстрый и достаточно простой способ исследовать биологические свойства почв в больших объемах, когда работа ставится на поток и необходимо получить репрезентативные данные.

Для определения потоков углекислоты предлагается следующий прибор (рис. 5), представляющий собой стеклянный цилиндрический сосуд ($d = 10$ см) емкостью 1,0–1,5 л с притертой крышкой. Шлиф крышки необходимо смазывать вакуумной мазью или вазелином. На внутренней стороне крышки находится крючок, к которому подвешивается сетчатая корзиночка или марлевый мешочек с дышащим материалом. В крышке имеются два отверстия: одно для хлоркальциевой трубки, другое для наливания раствора барита. Последнее на время экспозиции закрывается каучуковой пробкой. В хлоркальциевую трубку кладется слой стеклянной ваты, затем

трубка заполняется поглотителем углекислоты – натронной известью, которая снова покрывается слоем стеклянной ваты и закрывается пробкой со стеклянной трубочкой. Поглотитель углекислоты в трубочке необходимо периодически возобновлять.

Ход определения. Интенсивность дыхания определяется по следующей схеме: в сосуд приливается 25 мл 0,05 н. раствора барита и закрывается крышкой с подвешенным к ней дышащим материалом (почвой).

Время экспозиции необходимо определить экспериментально. В наших исследованиях было выявлено, что для городских почв, отобранных в июне–августе, время экспозиции составляло около 3 часов.

Одновременно ставится контроль (аналогичный прибор, но уже без почвы, с 25 мл раствора барита) для учета углекислоты воздуха, находящегося в сосуде.

В течение опыта необходимо периодически встряхивать сосуды с целью разрушения образующейся пленки карбоната бария, мешающей дальнейшему поглощению углекислоты.

По окончании опыта избыток гидрата окиси бария в присутствии 1–2 капель фенолфталеина оттитровывается 0,05 н. соляной кислотой. Разница в мл HCl , пошедшей на титрование контроля и опыта, дает количество углекислоты, выделенной дышащим материалом.

Интенсивность дыхания выражают в мг CO_2 на единицу веса, объема или площади испытуемого материала за 1 час.

В качестве примера приводим результаты определения дыхания городских почв, расположенных по градиенту загрязнения в рекреационной зоне (парк Прибрежный г. Петрозаводска) (табл. 10).

Метод полевой респирометрии хорошо зарекомендовал себя при проведении работ в области эколого-гигиенической оценки состояния почв, находящихся в условиях урбанизации, при проведении мониторинговых исследований урбосферы.

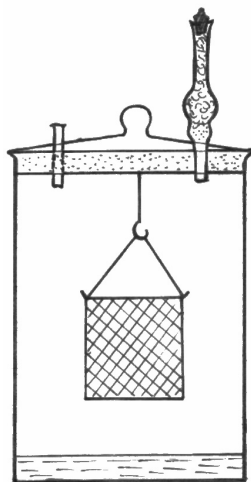


Рис. 5. Схема прибора для определения дыхания почв

Таблица 10. Интенсивность дыхания городских почв

Номер участка, расстояние от дороги, м		Интенсивность дыхания в мг CO ₂ на 30 г почвы за 1 час
1	2	0,4
2	10	0,5
3	30	0,32
4	60	0,7
5	120 (контроль)	0,72

Полученные данные микробиально-биохимических исследований записываем в рабочую тетрадь в виде таблицы:

№ образца	Место отбора, глубина, горизонт	Каталаза, мл O ₂ за 5 мин. на 1 г почвы	Уреаза, мг N-NH ₃ , 24 часа, 1 г почвы	Скорость изменения рН, час	Целлюлозолитическая способность почв, % разложения, 1 мес.
-----------	---------------------------------	--	---	----------------------------	--

Пример записи данных микробиально-биохимических исследований

№ точки	Место отбора, глубина, см, горизонт	Каталазная активность, мл O ₂ за 5 мин./ 1 г почвы	Уреазная активность, мг N-NH ₃ / 24 часа/ 1 г почвы	Скорость изменения рН, час	Целлюлозолитическая способность почв, % разложения/ 1 месяц
1	Парк Прибрежный, 10 м от дороги, U1	35	4,2	5	100
35	д/с № 86, ул. Свердлова, U1	22,5	3,7	2,3	85
86	Завод «Авангард», 5 м от дороги, U1	15,0	3,8	4,8	66

ГЛАВА 5

ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ПОЧВ

Все перечисленные выше методологические приемы, полевые и лабораторные методы изучения почв, находящихся в условиях урбанизации, приближают нас к наиболее важному этапу исследования – оценке экологического состояния почв. На заключительном этапе исследования происходит интеграция всех полученных данных, на основании которой дается полная картина современного состояния почв изучаемой урбанизированной территории.

И прежде всего необходимо дать оценку уровня химического загрязнения почвы как индикатора неблагоприятного воздействия на здоровье населения. Она проводится по показателям, разработанным при сопряженных геохимических и гигиенических исследованиях окружающей среды городов с действующими источниками загрязнения. К таким показателям относятся: 1) коэффициент концентрации химического вещества (K_c); 2) суммарный показатель загрязнения (Z_c).

Коэффициент концентрации химического вещества (K_c) определяется как отношение фактического содержания определяемого вещества в почве (C_i) (в мг/кг почвы) к региональному фоновому (C_{fi}):

$$K_c = C_i / C_{fi}$$

Суммарный показатель загрязнения (Z_c) равен сумме коэффициентов концентрации химических элементов-загрязнителей. Он выражается формулой:

$$Z_c = (K_{c1} + \dots + K_{cn}) - (n-1),$$

где: n – число определяемых суммируемых веществ;

K_{ci} – коэффициент концентрации i -го компонента загрязнения.

Полученные расчетным путем значения суммарного показателя загрязнения сопоставляем с категориями загрязнения почв и делаем вывод о возможном их использовании (табл. 11).

Таблица 11. Оценка степени химического загрязнения почвы

Категории загрязнения	Zc	Возможности использования территории
Чистая	0	Под любые культуры
Допустимая	< 16	
Умеренно опасная	16–32	Под любые культуры при условии контроля качества с/х растений
Опасная	32–128	Использование под технические культуры. Использование под с/х культуры ограничено с учетом растений-концентраторов
Чрезвычайно опасная	> 128	Использование под технические культуры или исключение из с/х использования. Лесозащитные полосы

Оценку экологического состояния почв необходимо проводить, учитывая класс опасности загрязняющего почву вещества. Так, самыми опасными загрязняющими веществами являются соединения As, Cd, Hg, Pb, Zn, F, а также 3, 4-бенз(а)пирен (табл. 12). Эти химические вещества требуют наиболее пристального внимания при проведении мероприятий, связанных с экологическими исследованиями почв.

Таблица 12. Классы опасности химических загрязняющих веществ

Класс опасности	Химическое загрязняющее вещество
1	Мышьяк, кадмий, ртуть, свинец, цинк, фтор, 3, 4-бен(а)пирен
2	Бор, кобальт, никель, молибден, медь, сурьма, хром
3	Барий, ванадий, вольфрам, марганец, стронций, ацетон

Основными интегральными показателями биологической активности почв являются:

- общая численность микроорганизмов;
- численность основных групп микроорганизмов (почвенных сапрофитных бактерий, актиномицетов, микромицетов);
- показатели интенсивности трансформации соединений углерода и азота в почве (дыхание почвы, целлюлозоразрушение, аммонификация и пр.);
- динамика кислотности и окислительно-восстановительного потенциала в почве, активность ферментов и прочие микробиально-биохимические показатели.

Спектр методов постоянно расширяется и зависит, как уже указывалось выше, от целей, которые ставятся перед исследователями. Однако, как показывает практика, чаще используют комплексный подход при анализе биоты, что наиболее адекватно отражает экологическое состояние почв. Одним из информативных показателей экологического состояния техногенно загрязненных почв является интегральный показатель биологического состояния (ИПБС). При расчете ИПБС максимальное значение каждого показателя в выборке принимается за 100% и по отношению к нему в процентах выражается значение этого же показателя в других пробах, т. е. относительный показатель

$$B_1 = B/B_{\max} \cdot 100\%,$$

где: B – значение показателя в пробе;

B_{\max} – максимальное значение показателя.

Затем определяется среднее значение показателя

$$B_{\text{ср}} = (B_1 + B_2 + B_3 + \dots + B_n)/n,$$

где n – число показателей.

$$\text{ИПБС} = B_{\text{ср}}/B_{\text{ср max}} \cdot 100\%,$$

где $B_{\text{ср max}}$ – максимальное среднее значение показателя.

При диагностике за 100% принимается значение каждого показателя в незагрязненной почве.

Согласно экотоксикологическим нормативам уровень влияния загрязнения на биологические процессы необходимо определять по отклонению активности внеклеточных биопроцессов как < 10% – мало опасный, 10–25 – умеренно опасный, 25–30 – опасный и > 50 – очень опасный уровень влияния.

ЛИТЕРАТУРА

- Агрофизические методы исследования почв. М.: Наука, 1966. 257 с.
- Агрохимические методы исследования почв. М.: Наука, 1975. 437 с.
- Александрова Л. Н., Найденова О. А. Лабораторно-практические занятия по почвоведению. Л.: Изд-во «Колос», 1976. 280 с.
- Аринушкина Е. В. Руководство по химическому анализу почв. М.: Изд-во МГУ, 1970. 471 с.
- Аристовская Т. В., Чугунова М. В. Экспресс-метод определения биологической активности почв // Почвоведение. 1989. № 11. С. 142–147.
- Галстян А. Ш. Дыхание почвы как один из показателей ее биологической активности // Сообщения лаборатории агрохимии. 1959. № 4. С. 33–39.
- Галстян А. Ш., Цюпа Г. П. К вопросу определения дыхания почвы и растительных остатков // Сообщения лаборатории агрохимии. 1959. № 2. С. 106–109.
- Гельцер Ю. Г. Биологическая диагностика почв. М.: Изд-во МГУ, 1986. 79 с.
- Герасимова М. И., Строганова М. Н., Можарова Н. В., Прокофьева Т. В. Антропогенные почвы: генезис, география, рекультивация. Учебное пособие / Под ред. Г. В. Добровольского. Смоленск: Ойкумена, 2003. 268 с.
- Гигиеническая оценка качества почвы населенных мест (ПДК): МУ 2.1.5.730-99. Утв. МЗ РФ. 07.02.99.
- Девятова Т. А. Биодиагностика техногенного загрязнения почв // Экология и промышленность России. 2006. № 1. С. 36–37.
- Казеев К. Ш. и др. Биологические свойства почв каштаново-солонцовых комплексов // Почвоведение. 2005. № 4. С. 464–474.
- Котова Д. Л., Девятова Т. А., Крысанова Т. А. и др. Методы контроля качества почвы. Учебно-методическое пособие для вузов. Воронеж, 2007.
- Методы почвенной микробиологии и биохимии. М.: Изд-во МГУ, 1991. 302 с.
- Напрасникова Е. В. Уреазная активность и рН как показатель состояния почв городов Восточной Сибири // Почвоведение. 2005. № 11. С. 1345–1352.
- Почвоведение / Под ред. И. С. Кауричева. Изд. 2-е. М.: Изд-во «Колос», 1975. 496 с.

Санитарные нормы. Полный справочник. М.: ЭКСМО, 2006. 768 с.

Федеральный закон Российской Федерации «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения» № 52–ФЗ от 30 марта 1999 г.

Федорец Н. Г., Медведева М. В. Эколого-микробиологическая оценка состояния почв города Петрозаводска. Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2005. 96 с.

Хазиев Ф. Х. Ферментативная активность почв. М.: Наука, 1976. 17 с.

Munsell sail color charts. New York, 1990.

Научное издание

**МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ ПОЧВ
УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ**

*(учебно-методическое пособие для студентов
и аспирантов эколого-биологических специальностей)*

*Печатается по решению Ученого совета
Учреждения Российской академии наук Института леса
Карельского научного центра РАН*

Печатается в авторской редакции

Сдано в печать 30.09.09.
Формат 60x84¹/₁₆. Гарнитура Times. Печать офсетная.
Уч.-изд. л. 5,0. Усл. печ. л. 5,1. Тираж 300 экз.
Изд. № 53. Заказ 821.

Карельский научный центр РАН
Редакционно-издательский отдел
Петрозаводск, пр. А. Невского, 50