

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РФ
ФГБОУ ВПО «КУБАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ»

Факультет агрохимии и почвоведения
Кафедра почвоведения

АГРОФИЗИЧЕСКИЕ И АГРОХИМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ПОЧВ

Учебно-методическое пособие



Краснодар
КубГАУ
2016

Составители: В.И. Терпелец, В.Н. Слюсарев

Агрофизические и агрохимические методы исследования почв.
учебно-методическое пособие / сост. В.И. Терпелец, В.Н. Слюсарев –
Краснодар: КубГАУ, 2016. – 65 стр.

Учебно-методическое пособие разработано в соответствии с требованиями Федеральных государственных образовательных стандартов высшего образования для подготовки бакалавров по направлениям 35.03.03 «Агрохимия и агропочвоведение», 35.03.04 «Агрономия», 20.03.02 «Природообустройство и водопользование», 35.03.05 «Садоводство», 05.03.06 «Экология и природопользование» и 21.03.02 «Землеустройство и кадастры».

Рассмотрено и одобрено учебно-методической комиссией факультетов агрохимии, почвоведения и защиты растений Кубанского госагроуниверситета, протокол № 4 от 18.01.2016 г.

Председатель
методической комиссии

В. И. Терпелец

© Терпелец В.И.,
Слюсарев В.Н., 2016

© ФГОУ ВПО «Кубанский
государственный аграрный
университет», 2016

СОДЕРЖАНИЕ

	с.
ВВЕДЕНИЕ.....	5
1. МЕТОДЫ ИЗУЧЕНИЯ АГРОФИЗИЧЕСКИХ И АГРОХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОЧВ.....	6
1.1. Техника взятия почвенных образцов.....	6
1.2. Подготовка почвы к анализу.....	7
1.3. Влажность почвы.....	7
1.3.1. Определение гигроскопической влажности весовым методом...	8
1.3.2. Определение максимальной гигроскопичности.....	9
1.3.3. Определение полевой влажности почвы весовым методом.....	11
2. ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКИЙ СОСТАВ ПОЧВ.....	12
2.1. Методы определения гранулометрического состава почв.....	18
2.1.1. Полевые методы.....	18
2.1.2. Механический анализ почв.....	19
3. ОРГАНИЧЕСКОЕ ВЕЩЕСТВО ПОЧВ.....	25
3.1. Определение гумуса по методу И.В. Тюрина в модификации В.Н.Симакова.....	26
4. ПОГЛОТИТЕЛЬНАЯ СПОСОБНОСТЬ ПОЧВ.....	28
4.1. Определение суммы обменных оснований методом Каппена-Гильковица.....	29
5. КИСЛОТНОСТЬ И ЩЕЛОЧНОСТЬ ПОЧВ.....	30
5.1. Определение реакции среды почв (рН) потенциометрическим методом.....	31
5.2. Определение гидролитической кислотности по Каппену.....	31
5.3. Вычисление степени насыщенности почв основаниями.....	33
5.4. Определение потребности почв известковании и вычисление доз извести.....	33
5.5. Вычисление степени солонцеватости почв и расчет доз гипса.....	35
6. СТРУКТУРА ПОЧВЫ.....	36
6.1. Агрегатный анализ почв методом Н.И. Саввинова.....	37
7. ОБЩИЕ ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЧВЫ.....	39
7.1. Плотность твердой фазы почвы.....	40
7.2. Плотность почвы.....	41
7.3. Пористость почвы.....	43
7.4. Удельная поверхность.....	44
8. ВОДНЫЕ СВОЙСТВА ПОЧВ.....	46
8.1. Влагоемкость почвы.....	46
8.1.1. Определение предельной полевой влагоемкости по Н.А. Качинскому.....	47
8.1.2. Ускоренное определение полной и предельной полевой влагоемкости по Кабаеву.....	48
8.1.3. Расчет полной влагоемкости (водовместимости) почв.....	49
8.1.4. Расчет запасов влаги в почве.....	49
9. ПОЧВЕННЫЙ РАСТВОР.....	52
9.1. Краткий анализ водной вытяжки.....	52
9.1.1. Приготовление водной вытяжки.....	53
9.1.2. Определение сухого остатка.....	53
9.1.3. Определение общей щелочности.....	54
9.1.4. Определение хлор-иона по методу Мора.....	55

9.1.5. Гравиметрическое определение сульфат-иона	57
9.1.6. Комплексонометрическое определение ионов кальция и магния.....	58
9.1.7. Определение ионов натрия расчетным методом	59
9.1.8. Оформление и проверка результатов анализа	59
9.1.9 Интерпретация данных водной вытяжки	60
ЛИТЕРАТУРА	65

ВВЕДЕНИЕ

Изучение агрофизических (физических, водных, водно-физических) и агрохимических (химических и физико-химических) свойств почв является важнейшей составной частью почвоведения, направленной на обоснование систем обработки почв, систем земледелия, мелиорации почв, воспроизводство и повышение почвенного плодородия.

Учебно-методическое пособие содержит наиболее современные, рекомендованные Государственными образовательными стандартами, методы и методики исследований агрофизических и агрохимических свойств почв, приводятся детальные схемы таблиц для записи получаемых результатов исследований, список учебной и научной литературы. Представлены также краткие сведения теоретического характера, способствующие лучшему усвоению студентами курса почвоведения и выполнению лабораторно-практических занятий. Студенты должны уметь не только выполнять аналитические работы разной степени сложности, но и правильно анализировать полученные данные для оценки плодородия почв и их экологического состояния.

Учебно-методическое пособие предназначено для студентов, бакалавров и магистров агробиологических и экологических специальностей. Может быть также использовано при проведении научно-исследовательских работ аспирантами и научными сотрудниками.

1. МЕТОДЫ ИЗУЧЕНИЯ АГРОФИЗИЧЕСКИХ И АГРОХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПОЧВ

1.1. Техника взятия почвенных образцов

Для характеристики агрофизических и агрохимических свойств почвы образцы отбирают на опытных делянках, производственных и целинных участках из пахотных слоев или из генетических горизонтов почвенных разрезов, что зависит от задачи исследования. Площадь поля, на котором можно взять почвенные образцы, не должна превышать 2 га. Если поля более крупные, их следует предварительно поделить на участки, не превышающие 2 га, а при заметной изменчивости почвы – даже на значительно меньшие участки. Лишь после этого следует приступить к отбору почвенных образцов,

Почвенные образцы с нарушенным сложением отбирают из пахотного слоя с помощью лопаты. Для получения смешанного образца, берется, возможно, большее количество единичных образцов одинаковой величины, которые ссыпают вместе, тщательно перемешивают, и отбирают 1–1,5 кг почвы для дальнейших исследований. Взятие единичных образцов проводят по диагонали поля или вдоль поля по нескольким полосам.

Образцы пахотного слоя обычно отбирают на мощность этого слоя, обычно до глубины 20 см. В специальных исследованиях образцы берут из слоев 0 – 10 и 10 – 20 см.

Для подробной характеристики почвенного профиля образцы отбирают из почвенных разрезов или буровых скважин сплошной колонкой мощностью по 10 см (или 20 см) послойно до глубины 2 м и более.

Для генетической характеристики почв образцы берут из средней части каждого горизонта мощностью 10 см. Для этого необходимо найти середину каждого выделенного горизонта (за исключением пахотного слоя и горизонта С), провести линию и отступая от нее вверх и вниз на 5 см, выделить границы слоя, из которого будет отобран образец. Из материнской породы (горизонт С) образец берут лопатой сразу же после его выкопки, а из пахотного – как описано выше для пахотного слоя.

Образцы почв для повышения точности исследования следует отбирать из трех стенок разреза и составлять один смешанный образец. Масса образца 0,5–1 кг. Отбор образцов из почвенного профиля начинают снизу вверх, чтобы не засыпать и не засорять нижележащие горизонты почвой из верхних горизонтов.

Для изучения некоторых физических свойств почв отбирают образцы с ненарушенным сложением. Для этой цели используют металлические цилиндры (кольца) с крышками и заточенными нижними краями объемом от 50 до 1000 см³. При помощи направителя их вбивают в почву, затем подкапывают лопатой и извлекают. После выравнивания наружных поверхностей почвенного монолита в цилиндре его закрывают крышками и используют для анализов.

После взятия почвенных образцов их переносят на оберточную бумагу или в мешочки, они должны быть тщательно этикетированы. Этикетка должна содержать данные о месте, времени и глубине отбора образца. Каждый образец почвы должен иметь две этикетки идентичного содержания; одна из них помещается внутри образца, а другая – снаружи.

1.2. Подготовка почвы к анализу

Почва, взятая в поле, должна быть высушена до воздушно – сухого состояния. С этой целью ее расстилают на чистой бумаге слоем 0,5–1,0 см, разламывают крупные агрегаты, удаляют корни, новообразования и включения. В процессе сушки почву необходимо периодически перемешивать для более быстрого высыхания.

Высушенный образец почвы разравнивают в виде квадрата или прямоугольника и делят по диагонали на четыре части. Две противоположные части ссыпают вместе и растирают в фарфоровой ступке, просеивают ее через сито с диаметром отверстий 1 мм. Для работы используют сито с крышкой и поддоном.

Почва, которая не прошла через сито, вновь растирается в ступке и просеивается. Эта операция длится до тех пор, пока на сите останется только каменистая часть почвы. Растертая почва помещается в коробку, снабжается этикеткой и используется в дальнейшем для анализов.

Оставшиеся каменистая часть почвы, новообразования и включения помещаются в фарфоровую чашку и после добавления дистиллированной воды кипятятся в течение часа. После промывки водой на сите и высушивания до постоянной массы, почвенный скелет просеивают через колонку сит с отверстиями 10; 5; 3 и 1 мм. Разделяют на камни /частицы > 10мм/, крупный хряц /10 – 5 мм/, мелкий хряц /5 – 3 мм/ и гравий /3 – 1мм/. Вычисляют содержание каждой фракции /в %/ к массе всей почвы. Полученные данные используются при изучении гранулометрического состава почв.

Оставшиеся две противоположные части заворачивают в бумагу и хранят в нерастертом состоянии для последующего агрегатного (структурного) анализа почв.

1.3. Влажность почвы

При изучении влажности почвы используют весовые (гравиметрические), электрометрические, радиометрические и тензиометрические методы.

Весовые методы. Наиболее распространенным среди них является сушка образца почвы в сушильном шкафу при 105° до постоянной массы.

Электрометрические методы. При использовании этих методов содержание влаги определяют по электропроводности гипсового блока или

сопротивления (транзистора), помещенного в почву. При этом измеряют скорость нагревания или охлаждения зонда, помещенного в почву, или же учитывают величину нагрева зонда постоянной мощности за определенный промежуток времени. В основу этого метода положена зависимость между влажностью и тепловыми свойствами почвы.

Радиометрические методы. Основаны на использовании потока быстрых нейтронов. Быстрые нейтроны затормаживаются и рассеиваются атомами водорода, содержащимися в почвенной воде. Возникающий поток медленных тепловых нейтронов, плотность которого зависит от влажности почвы, учитывается с помощью детекторов и по калибровочному графику определяется объемная влажность почвы.

Тензиометрические методы. Основаны на использовании приборов, определяющих всасывающую силу почвы. Пористый керамический сосуд прибора, заполненный водой, помещается в почву. Вода из него переходит в почву до тех пор, пока не установится равновесие между величиной всасывающей силы почвы при данной ее влажности и всасывающей силой в приборе, зависящей от величины вакуума в нем.

1.3.1. Определение гигроскопической влажности весовым методом

Принцип метода. Гигроскопической называется влага, которая поглощается почвой из атмосферы и выделяется из нее при высушивании почвы при 105° до постоянного веса. Парообразная влага из воздуха адсорбируется на поверхности почвенных частиц в несколько слоев и удерживается молекулярными силами сцепления этих частиц, поэтому гигроскопическая влага растениям недоступна.

Количество гигроскопической воды в почве зависит от следующих факторов: механического состава, содержания гумуса и легкорастворимых солей, относительной влажности и температуры воздуха (при повышении температуры содержание гигроскопической воды уменьшается).

Так как в большинстве случаев анализ выполняется в воздушно-сухих образцах, содержащих некоторое количество гигроскопической влаги, пересчет результатов анализов на сухую почву проводят с использованием коэффициента гигроскопичности $K_{гс}$ /. С этой целью полученные аналитические данные умножают на указанный коэффициент.

Ход работы:

1. Поместить около 5г воздушно-сухой почвы, просеянной через сито с отверстиями 1 мм, в алюминиевый стаканчик, предварительно высушенный до постоянной массы и взвешенный с точностью до 0,0001г.

2. Поставить открытый стаканчик в сушильный шкаф с температурой 105° и высушивать почву в течение 3-х часов.

3. Закрывать после высушивания стаканчик крышкой, охладить в эксикаторе и взвесить.

4. Поставить стаканчик на повторное высушивание в течение 2-х часов. Если масса стаканчика с почвой осталась постоянной или разница

между первым и вторым взвешиванием не превышает 0,001г, высушивание заканчивают. Если отмечается уменьшение массы после второго высушивания, эту операцию повторяют.

5. Вычислить содержание гигроскопической влаги и рассчитать коэффициент гигроскопичности:

$$ГВ = \frac{b - c}{c - a} \times 100,$$

где ГВ – гигроскопическая влажность, %;

а – масса пустого стаканчика, г;

в – масса стаканчика с воздушно-сухой почвой, г;

с – масса стаканчика с абсолютно-сухой почвой, г;

$$K_{зв} = \frac{100}{100 - ГВ} \quad \text{или} \quad K_{зв} = \frac{100 + ГВ}{100}$$

Гигроскопическая влажность почвы

Название почвы	Горизонт, Глубина, см	№ стаканчика	В граммах				ГВ, %	K _{ГВ}
			а	b	с			
					1	2		

1.3.2. Определение максимальной гигроскопичности

Принцип метода. Максимальная гигроскопичность /МГ/ - это наибольшее количество влаги, которое почва может сорбировать из водяного пара при относительной влажности воздуха близкой к 100%. Эта влага удерживается молекулярными силами почвенных частиц, поэтому она недоступна для растений.

Величина максимальной гигроскопичности служат для характеристики процессов передвижения и перераспределения почвенной влаги, расчета влажности завядания /ВЗ/, запасов продуктивной и недоступной влаги в почве. Определение влажности завядания биологическим путем – методом вегетационных миниатюр - более длительное и громоздкое, поэтому для получения этой величины максимальную гигроскопичность умножают на коэффициент 1,5, найденный экспериментальным путем.

Максимальная гигроскопичность зависит от гранулометрического состава, количества гумуса, состава поглощенных оснований и водорастворимых солей в почве. Поэтому при сельскохозяйственном освоении засоленных почв максимальную гигроскопичность следует определять после промывки, т.к. разница в этой величине до и после удаления солей может достигать 10%.

Метод А.В. Николаева по определению максимальной гигроскопичности заключается в насыщении почвы в эксикаторе над раствором сернокислого калия, создающим в замкнутом пространстве относительную влажность воздуха 98 – 99%. По методу Митчерлиха используют 10% серную кислоту.

Ход работы:

1. Поместить навеску почвы около 10 г, просеянной через сито с отверстиями 1 мм, в высушенный и взвешенный на аналитических весах стаканчик диаметром около 5 см и высотой 3 см.

2. Поставить открытый стаканчик в эксикатор, на дне которого находится около 100 мл насыщенного раствора K_2SO_4 , плотно закрыть эксикатор крышкой и поместить его в закрытое место с возможно меньшими колебаниями температуры.

3. Вынуть через 3 – 5 дней стаканчик из эксикатора, закрыть крышкой и взвесить. Контрольные взвешивания проводят через каждые 2 – 3 дня до тех пор, пока последние взвешивания не будут расходиться более чем на 0,02г. Наибольшая масса стаканчика с почвой считается окончательной и используется для расчета максимальной гигроскопичности.

4. Поместить открытый стаканчик в сушильный шкаф и высушивать почву при 105° до постоянного веса, как при определении гигроскопической влажности.

5. Вычислить содержание максимальной гигроскопической влаги и найти величину влажности завядания.

$$MG = \frac{b-c}{c-a} \times 100, \quad BZ = 1,5 \cdot MG$$

где МГ – максимальная гигроскопичность, %;

a – масса пустого стаканчика, г ;

b – масса стаканчика с почвой после насыщения, г;

c – масса стаканчика с абсолютно – сухой почвой, г;

BZ – влажность завядания, %;

1,5 – коэффициент, пересчета МГ в BZ (1,34 для лёгких по гранулометрическому составу почв).

Максимальная гигроскопичность почвы и влажность завядания растений

Название почвы	Горизонт, глубина, см	№ стаканчика	В граммах				МГ, %	BZ, %	
			a	b					c
				1	2	3			

1.3.3. Определение полевой влажности почвы весовым методом

Принцип метода. Полевая влажность – это влажность почвы в данный момент времени. Она изменчива в динамике и по глубине почвенного профиля и зависит от многих факторов: количества выпадающих атмосферных осадков, температуры воздуха, гранулометрического состава, растительности, состояния пахотного слоя и т.д. Эта величина необходима для расчетов общих запасов влаги в почве.

Полевая влажность почвы определяется весовым методом. Образцы почв отбирают буром из скважины или ножом со стенки разреза. В зависимости от целей исследования почвенные образцы берут из генетических горизонтов или послойно на заданную глубину через 10 – 20 см. Образец из пахотного горизонта должен быть взят на всю его глубину.

Ход работы:

1. Взвесить алюминиевый стаканчик с точностью до 0,01г, поместить в него до половины объема взятый образец почвы, закрыть стаканчик крышкой и вновь взвесить.

2. Поставить стаканчик в сушильный шкаф, предварительно сняв крышку и надев ее на дно стаканчика. Высушивание почвы проводят при 105° в течение 6 часов с момента установления необходимой температуры.

3. Перенести после сушки закрытый стаканчик в эксикатор, охладить его и взвесить.

4. Поместить стаканчик в сушильный шкаф и высушивать почву еще в течение двух часов. Масса стаканчика после повторного высушивания не должна быть больше чем на 0,01г по сравнению с первоначальным высушиванием.

5. Вычислить полевую влажность почвы:

$$A = \frac{b - c}{c - a} \times 100,$$

где А – полевая влажность почвы, %;

а – масса пустого стаканчика, г;

в – масса стаканчика с влажной почвой, г;

с – масса стаканчика с абсолютно – сухой почвой, г.

Если в последующем будут выполняться анализы в образцах влажной почвы (нитраты, подвижный фосфор и др.), необходимо результаты их определения пересчитать на сухую почву, умножив полученные величины на коэффициент K_{H_2O} .

$$K_{H_2O} = \frac{100 + A}{100}.$$

Полевая влажность почвы

Название почвы	Горизонт, глубина, см	№ стаканчика	В граммах				А, %	K_{H_2O}
			а	b	с			
					1	2		

2. ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКИЙ СОСТАВ ПОЧВ

Твердая фаза минеральных почв и почвообразующих пород состоит из частиц различного размера, которые называются *механическими элементами или гранулами*. По происхождению механические элементы бывают минеральные, органические и органо-минеральные. Они представляют собой обломки горных пород, отдельные первичные и вторичные минералы, гумусовые вещества и продукты их взаимодействия с минеральными компонентами почвы.

В почве механические элементы могут находиться в раздельно-частичном состоянии в виде совокупности индивидуальных зерен или гранул, как в песках и супесях. В суглинках и глинах, под действием различных факторов, механические элементы соединены в агрегаты. Для перевода их в раздельно-частичное состояние агрегаты разрушают механическим или химическим путем.

Близкие по размерам механические элементы объединяют во фракции. В России наиболее широкое распространение получила классификация механических элементов, разработанная А.Н. Сабаниным и В.Р. Вильямсом, и уточненная Н.А. Качинским.

Классификация механических элементов (Н.А. Качинский)

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

Частицы размером более 1 мм называют *почвенным скелетом*, менее 1 мм – *мелкоземом*.

Отдельные фракции механических элементов заметно различаются по химическому и минералогическому составу, физико-химическим и водно-физическим свойствам.

Общая закономерность заключается в том, что по мере уменьшения размера фракций в них снижается содержание кварца, увеличивается количество слюд и вторичных минералов, в первую очередь глинистых. Чем

меньше размер механических элементов, тем ниже в них содержание кремния, как основного элемента кристаллической решетки первичных минералов. Наоборот, содержание алюминия, железа, кальция, магния, фосфора существенно возрастает при переходе от песчаных фракций к илистой. Аналогичным образом изменяется содержание гумуса и емкость обмена.

Каждая из фракций обладает своими характерными особенностями. В случае доминирования какой-то фракции в гранулометрическом составе почвы она будет придавать ей определённый состав и свойства.

Камни (> 3 мм) представляют собой обломки горных пород. Наличие камней в почве затрудняет ее эффективное использование, поскольку мешает работе сельскохозяйственных машин и орудий, ухудшает заделку семян и развитие растений. Каменность почв оценивают в зависимости от содержания каменистого материала.

Классификация почв по каменности (Н.А. Качинский)

Частиц > 3 мм, %	Степень каменности	Тип каменности
< 0,5	Некаменистая	Устанавливается по характеру скелетной части
0,5 – 5,0	Слабокаменистая	
5 – 10	Среднекаменистая	Почвы могут быть валунные, галечниковые, щебенчатые
> 10	Сильнокаменистая	

При содержании каменистого материала менее 0,5 % почва в отношении обработки считается нормальной. В случае слабокаменистой почвы, при условии, что каменистый материал представлен мелким щебнем или галькой, она обрабатывается нормально. Однако при этом будет наблюдаться ускоренный износ рабочих органов обрабатывающих орудий.

При средней каменности почвы необходимо вычесывание крупного каменистого материала, остающиеся мелкие камни способствуют быстрому износу обрабатывающих орудий. Для успешного возделывания полевых культур на сильнокаменистых почвах требуется проведение сложных мелиоративных работ по выбору и удалению каменистого материала с полей. Без проведения специальных мелиоративных работ сильнокаменистые почвы можно использовать под плодово-ягодные культуры.

Валунный тип каменности чаще всего встречается в северо-западных районах Нечерноземной зоны, щебенчатые почвы широко представлены в горных и предгорных районах.

Гравий (1 – 3 мм) – состоит из обломков первичных минералов. Высокое содержание гравия в почвах не препятствует обработке, но придает им малоблагоприятные свойства – провальную водопроницаемость, отсутствие водоподъемной способности, низкую влагоемкость, что оказывает отрицательное влияние на развитие сельскохозяйственных культур.

Песчаная фракция (1 – 0,05 мм) – состоит из первичных минералов, прежде всего кварца и полевых шпатов. Обладает высокой водопроницаемостью, некоторой капиллярностью и влагоемкостью, не

набухает, не пластична. Характеризуется крайне низкой поглотительной способностью. Для полевых культур пригодны пески с влагоемкостью не менее 10 %, для лесных культур не менее 3 – 5 %.

Фракция крупной пыли (0,05 – 0,01 мм). По минералогическому составу приближается к песчаной, обладает невысокой поглотительной способностью и влагоемкостью, не пластична, слабо набухает, имеет низкую величину удельной поверхности – 1-2 м²/г.

Фракция средней пыли (0,01 – 0,005 мм). Характеризуется низкой величиной удельной поверхности – 2-10 м²/г, не способна к коагуляции, но удерживает влагу и набухает. Вследствие повышенного содержания слюд обладает связностью и пластичностью, имеет плохую водопроницаемость.

Почвы, обогащенные крупной и средней пылью, легко распыляются, склонны к заплыванию и уплотнению, отличаются слабой водопроницаемостью и отсутствием структурообразующего эффекта.

Фракция мелкой пыли (0,005 – 0,001 мм). Состоит не только из первичных, но и вторичных минералов. В связи с этим обладает рядом свойств, не присущих более крупным фракциям: способна к коагуляции и структурообразованию, обладает поглотительной способностью, содержит повышенное количество гумусовых веществ. Удельная поверхность ее превышает 50 м²/г. Однако высокое содержание мелкой пыли в почвах в свободном, не агрегированном состоянии придает им ряд неблагоприятных свойств: плотное сложение, плохую водопроницаемость, чрезмерное набухание и усадку, липкость, трещиноватость, возрастает количество недоступной для растений влаги.

Ил (< 0,001 мм) состоит преимущественно из высокодисперсных вторичных минералов. Из первичных минералов встречаются кварц, ортоклаз, мусковит.

Илистая фракция имеет большое значение в создании почвенного плодородия. Ил обладает высокой поглотительной способностью, содержит много гумуса, элементов зольного и азотного питания растений. Коллоидной части этой фракции принадлежит особо важная роль в структурообразовании и формировании почвенного поглощающего комплекса.

В ряде случаев высокое содержание ила негативно влияет на водно-физические свойства почв.

Таким образом, с уменьшением размера почвенных частиц изменяются и их свойства. Особенно контрастные различия между гранулометрическими фракциями обнаруживаются при сопоставлении их водно-физических и физико-химических свойств.

Крупные фракции не пластичны, не набухают, не способны к обменному поглощению катионов и не содержат гумуса. Они не способны образовывать капилляры и поглощать влагу, но обладают высокой водопроницаемостью. С уменьшением размера фракций их свойства меняются на прямо противоположные, при этом довольно резкие изменения происходят на границе **0,01 мм**.

С учетом этого все фракции механических элементов разделяют

на две большие группы: **физический песок** и **физическую глину**.

К **физическому песку** относятся все **механические элементы** мелкозема, **размер которых больше 0,01 мм**, т.е. песок крупный, средний, мелкий и крупная пыль. **Группу физической глины** составляют **частицы, размер которых меньше 0,01 мм** – пыль средняя, мелкая, ил и коллоиды.

Относительное содержание в почве фракций механических элементов называется гранулометрическим составом. Определяется гранулометрический состав с помощью механического анализа, результаты которого выражаются в процентах от массы абсолютно сухой почвы.

Классификация почв по гранулометрическому составу основана на соотношении физического песка и физической глины. Ее основы были разработаны Н.М. Сибирцевым (1901) и в последующем существенно откорректированы Н.А. Качинским (1958). Классификация Н.А. Качинского построена с поправкой на генезис почв с учетом того, что одно и тоже содержание физической глины по-разному сказывается на свойствах подзолистых, степных и солонцовых почв, для которых представлены различные шкалы.

Классификация почв по гранулометрическому составу (Н.А. Качинский)

Краткое название по гранулометрическому составу	Содержание физической глины (< 0,01 мм), в %			Содержание физического песка (> 0,01 мм), в %		
	почвы			Почвы		
	подзолистого типа почвообразования	степного типа почвообразования, а также красноземы и желтоземы	солонцы и сильно-солонцеватые	подзолистого типа почвообразования	степного типа почвообразования, а также красноземы и желтоземы	солонцы и сильно-солонцеватые
Песок рыхлый	0-5	0-5	0-5	100-95	100-95	100-95
- » - связный	5-10	5-10	5-10	95-90	95-90	95-90
Супесь	10-20	10-20	10-15	90-80	90-80	90-85
Суглинок легкий	20-30	20-30	15-20	80-70	80-70	85-80
- » - средний	30-40	30-45	20-30	70-60	70-55	80-70
- » - тяжелый	40-50	45-60	30-40	60-50	55-40	70-60
Глина легкая	50-65	60-75	40-50	50-35	40-25	60-50
- » - средняя	65-80	75-85	50-65	35-20	25-15	50-35
- » - тяжелая	> 80	> 85	> 65	< 20	< 15	< 35

Данная классификация существует уже длительное время и была разработана исходя из того, что свойства почвы в основном определяются их гранулометрическим составом. К настоящему времени накоплен большой фактический материал показывающий, что при одном и том же гранулометрическом составе почвы могут существенно различаться проявлением солонцеватости, оглеения, минералогическим составом, окислительно-восстановительным режимом и другими характеристиками. Поэтому классификационная шкала гранулометрического состава должна быть единой для всех почв и основываться только на относительном содержании в почве фракций механических элементов. Такая единая шкала,

основанная на разработках С.И. Долгова и Н.А. Качинского предложена для использования В.И. Кирюшиным (1996).

Единая классификационная шкала почв по гранулометрическому составу
(В.И. Кирюшин)

Содержание частиц размером < 0,01 мм, %	Основное наименование разновидностей	Дополнительное наименование по преобладающей фракции	Число разновидностей
0 – 5	Рыхлопесчаная	Песчаные и крупнопылеватые	2
5 – 10	Связнопесчаная		2
10 – 20	Супесчаная		2
20 – 30	Легкосуглинистая	Песчаные, крупнопылеватые, пылеватые, иловатые	4
30 – 40	Среднесуглинистая		4
40 – 50	Тяжелосуглинистая		4
50 – 65	Легкоглинистая		4
65 – 80	Среднеглинистая		4
> 80	Тяжелоглинистая	Пылеватые и иловатые	2

Гранулометрический состав относится к числу фундаментальных свойств почвы и оказывает большое влияние на почвообразование и сельскохозяйственное использование почв. От него непосредственно зависит интенсивность протекания многих почвообразовательных процессов, связанных с превращением, миграцией и аккумуляцией органических и минеральных соединений в профиле почвы. Поэтому в одинаковых климатических условиях на почвообразующих породах разного гранулометрического состава формируются почвы, различающиеся своими свойствами и уровнем плодородия.

От гранулометрического состава зависят водопроницаемость, водоудерживающая и водоподъемная способности почв, потенциальный резерв элементов минерального питания, структурное состояние и поглотительная способность, твердость и удельное сопротивление почвы при обработке.

Песчаные и супесчаные почвы обладают рядом благоприятных свойств – высокой водо- и воздухопроницаемостью, быстро оттаивают и прогреваются весной, что имеет важное значение в северных районах земледельческой зоны. Они рыхлые и легко поддаются обработке сельскохозяйственными орудиями, поэтому их принято называть легкими почвами.

Легкие почвы характеризуются рядом отрицательных свойств, которые существенно снижают их плодородие. Они бесструктурные, бедны гумусом и элементами минерального питания, обладают невысокой поглотительной способностью и в связи с этим низкой буферностью, что

обуславливает резкое увеличение концентрации почвенного раствора и быстрое его подкисление при внесении физиологически кислых удобрений. Песчаные и супесчаные почвы имеют низкую влагоемкость из-за чего даже в гумидном климате, в жаркое время года растения испытывают дефицит влаги. Они легко подвергаются эрозии и дефляции. В условиях таежно-лесной зоны при оптимизации реакции среды, водного и пищевого режимов урожайность овощных культур, картофеля, овса на легких почвах, особенно супесчаных, как правило выше, чем на тяжелосуглинистых и глинистых.

Обработка тяжелосуглинистых и особенно глинистых по гранулометрическому составу почв требует гораздо больше энергетических затрат по сравнению с песчаными и супесчаными, поэтому они называются тяжелыми. Такие почвы характеризуются замедленной фильтрацией и высокой влагоемкостью, что в гумидных условиях ведет к переувлажнению и развитию оглеения. Обладая высокой теплоемкостью, тяжелые почвы плохо проводят тепло в связи с чем медленно оттаивают и прогреваются весной, позднее наступает их физическая спелость. При ограниченной продолжительности вегетационного периода это будет иметь негативные последствия, поскольку задержка сева приведет к невызреванию сельскохозяйственных культур.

В тоже время тяжелые почвы обладают высокой поглотительной способностью и буферностью, они всегда более гумусированы и содержат большие резервы элементов минерального питания растений. При высоком содержании гумуса они, как правило, хорошо оструктурены, имеют благоприятные агрофизические свойства, водный и воздушный режимы, устойчивы к эрозии. Бесструктурные тяжелые почвы характеризуются неудовлетворительным водно-воздушным режимом, повышенной плотностью, липкостью, склонны к коркообразованию и подвержены эрозии.

В зональном аспекте оценка гранулометрического состава во многом зависит от экологических условий территории.

Среди подзолистых почв северной и средней тайги наиболее предпочтительны легкосуглинистые разновидности. В переувлажненных и холодных районах довольно близки к ним супесчаные почвы. Такой гранулометрический состав обеспечивает более благоприятный тепловой режим, а высокая водопроницаемость этих почв обеспечивает удаление избытка влаги из корнеобитаемого слоя. На юге таежно-лесной зоны, где формируются дерново-подзолистые почвы в связи с некоторым увеличением суммы активных температур и уменьшением количества выпадающих осадков наиболее благоприятны среднесуглинистые почвы.

В лесостепной, а особенно в степной и сухостепной зонах усиливается засушливость климата, и главным фактором, ограничивающим нормальное развитие сельскохозяйственных культур, является дефицит влаги, поэтому здесь преимущество получают почвы, обладающие высокой влагоемкостью. Среди серых лесных – тяжелосуглинистые, а среди чернозёмов –

тяжелосуглинистые и глинистые, хорошо оструктуренные почвы, среди каштановых почв – тяжело- и среднесуглинистые.

Гранулометрический состав относится к числу весьма устойчивых, консервативных признаков почвы. Его коренное изменение – очень дорогостоящее мероприятие и реально может быть осуществлено на сравнительно ограниченной площади. Для улучшения песчаных и супесчаных почв применяют глинование – внесение тяжелосуглинистого или глинистого материала дозой 300-800 т/га. Бесструктурные тяжелосуглинистые и глинистые почвы улучшают путем пескования – внесения 300-800 т/га песка. Глинование и пескование обычно сопровождается внесением мелиоративных доз (150-300 т/га) торфа или торфонавозных компостов.

2.1. Методы определения гранулометрического состава почв

Для определения гранулометрического состава почв используют полевые (органолептические) и лабораторные методы (механический анализ).

2.1.1. Полевые методы

С помощью органолептических методов обычно определяют гранулометрический состав при морфологическом описании почвенного профиля. Эти методы основаны на том, что все группы гранулометрического состава почв (песок, супесь, лёгкий суглинок и т.д.) характеризуются рядом присущих им признаков, зная которые и имея соответствующий навык, можно быстро и достаточно точно определить гранулометрический состав в полевых условиях. Различают сухой и мокрый методы.

Сухой метод. Гранулометрический состав определяют визуально и на ощупь по следующим показателям: ощущение при растирании почвы на ладони, вид под лупой или без неё, состояние сухой почвы.

Мокрый метод. Образец растертой почвы увлажняют и перемешивают до тестообразного состояния, при котором почвы обладают наибольшей пластичностью. При определении гранулометрического состава карбонатных почв и пород применяют вместо воды 10%-ную HCl с целью разрушения водопрочных агрегатов.

Из подготовленной почвы на ладони скатывают шарик и пробуют раскатать его в шнур толщиной 3 мм, затем свернуть в кольцо диаметром 2 – 3 см. В зависимости от гранулометрического состава почвы или породы показатели мокрого метода будут различны.

П е с о к - представляет собой непластичную массу, не образует ни шарика, ни шнура. **С у п е с ь** – образует шарик, который раскатать в шнур не удаётся. **Л ё г к и й с у г л и н о к** – слабопластичная масса, раскатывается в шнур, но последний весьма не прочен, легко распадается на части при раскатывании или при взятии с ладони. **С р е д н и й с у г л и н о к** –

пластичная масса, образует сплошной шнур, который разрушается при свертывании в кольцо. Тяжелый суглинок – хорошо пластичный материал, легко раскатывается в шнур и образует кольцо с трещинами. Глина – хорошо пластичная липкая, мажущаяся масса, образует длинный тонкий шнур, который сворачивается в кольцо без трещин.

2.1.2. Механический анализ почв

При механическом анализе почвенный скелет (> 1 мм) разделяют на ситах. Для анализа мелкозёма (< 1 мм) широко применяется метод пипетки в варианте Н.А. Качинского.

Механические элементы, особенно суглинистых и глинистых почв, находятся в агрегатированном состоянии. Чтобы определить гранулометрический состав почвы, необходимо разрушить агрегаты и перевести все механические элементы в раздельночастичное состояние. Это осуществляется химическим и механическим воздействием на почву при подготовке ее к механическому анализу. Механическое воздействие производят путем растирания почвы.

Химическое воздействие заключается в замене поглощенных двухвалентных катионов (кальций и магний) на одновалентные, что приводит к диспергированию почвы.

Принцип метода пипетки основан на зависимости, существующей между скоростями падения частиц и их размером. Если взмутить суспензию и оставить ее в спокойном состоянии, то постепенно взмученные частицы осядут. Быстрее будут оседать более крупные по размеру механические элементы как более тяжелые.

Скорость падения различных по размеру частиц рассчитывают по формуле Стокса:

$$V = \frac{2}{9} r^2 \left(\frac{d_1 - d_2}{\eta} \right) g,$$

где V — скорость падения частицы, см/с; r — радиус падающей частицы шарообразной формы, см; d_1 — плотность падающей частицы; d_2 — плотность жидкости, в которой оседает частица; g — ускорение силы тяжести при свободном падении тела; η — вязкость жидкости.

Зная, с какой скоростью оседают механические элементы различного диаметра, можно брать пробы почвенной суспензии с определенной глубины (по истечении различных сроков после взмучивания) и определить содержание механических элементов.

Подготовка почвы к механическому анализу методом растирания с раствором пиррофосфата натрия

Подготовка почвы к механическому анализу с использованием раствора пиррофосфата натрия заключается в следующем (модификация С. И. Долгова и А. И. Личмановой).

1. Из воздушно-сухой почвы, просеянной через сито с отверстиями 1 мм, отвешивают 5 г точно до 0,01 г и помещают в фарфоровую чашку диаметром 10—12 см.

2. Отмеривают в стаканчик 4 % -ный раствор пирофосфата натрия. Для некарбонатных, незасоленных, незагипсованных почв легкого гранулометрического состава берут 2,5 мл раствора на 5 г почвы; для тяжелосуглинистых, глинистых и карбонатных почв — 5 мл; для засоленных и загипсованных — 10 мл.

3. Навеску почвы смачивают по каплям 4%-ным раствором пирофосфата натрия до тестообразного состояния и осторожно, без нажима, растирают в течение 10 мин пестиком с резиновым наконечником.

4. Выливают в чашку с почвой остаток раствора пирофосфата, добавляют дистиллированную воду и размешивают смесь пестиком до состояния суспензии, которую сливают через сито с отверстиями 0,25 мм в мерный цилиндр на 500 мл для анализа. Размешивание с прибавлением новых порций воды продолжают до тех пор, пока вся почва не окажется перенесенной в цилиндр.

5. Остаток с сита (частицы размером 1 – 0,25 мм) смывают в фарфоровую чашку, откуда декантированием водой полностью переносят в заранее взвешенный сушильный стаканчик; отстоявшуюся воду из него сливают, остаток выпаривают на этернитовой плитке, затем высушивают в сушильном шкафу при 105°C до постоянной массы и взвешивают.

6. Объем суспензии в цилиндре доводят до 500 мл и анализируют ее методом пипетки. При подсчетах из массы последней фракции (<0,001 мм) вычитают поправку, соответствующую содержанию в суспензии пептизатора (при внесении 10 мл 4%-ного раствора пирофосфата натрия и объеме пипетки 25 мл она составляет 0,02 г).

Пробы из цилиндра берут пипеткой на 25 мл с различной глубины для различных групп механических элементов. Всего берут четыре пробы в такой последовательности:

I проба с глубины 25 см; частицы $\leq 0,05$ мм

II проба с глубины 10 см; частицы $\leq 0,01$ мм

III проба с глубины 10 см; частицы $\leq 0,005$ мм

IV проба с глубины 7 см; частицы $\leq 0,001$ мм.

В таблице приведены сроки, в которые берут пробы для почвы с плотностью твёрдой фазы 2,60 г/см³.

Сроки взятия проб

Диаметр частиц, мм	Глубина погружения пипетки в суспензию (в см) для взятия проб	Время отстаивания при разных температурах, °C			
		10	15	20	30
$\leq 0,05$	25	149 с	130 с	115 с	92 с
$\leq 0,01$	10	24 мин 52 с	21 мин 45 с	19 мин 14 с	15 мин 17 с
$\leq 0,005$	10	1 ч 39 мин 27 с	1 ч 26 мин 59 с	1 ч 16 мин 55 с	1 ч 01 мин 10 с
$\leq 0,001$	7	29 ч 0 мин	25 ч 22 мин	22 ч 26 мин	15 ч 50 мин

7. Пробы берут следующим образом. Закрывают цилиндр пробкой и взмучивают почвенную суспензию десятикратным перевертыванием цилиндра вверх дном и обратно. **Следует обращать внимание на то, чтобы на дне цилиндра не осталось прилипших частиц почвы.** После последнего оборота цилиндр ставят на стол и сразу считают время отстаивания.

За минуту до истечения срока отстаивания цилиндр ставят под пипетку, осторожно опускают ее на заданную глубину и набирают в нее суспензию. После этого пипетку осторожно вынимают из цилиндра и суспензию из пипетки сливают в **заранее взвешенный стаканчик.** После стекания пробы промывают пипетку небольшим количеством дистиллированной воды в тот же стаканчик.

8. Взятую пробу выпаривают на этернитовой плитке до полного высыхания, высушивают в сушильном шкафу при 105°C до постоянной массы и взвешивают на аналитических весах.

9. Взяв первую пробу, суспензию в цилиндре снова взбалтывают и по истечении определенного времени берут вторую пробу и т. д. Время отстаивания отсчитывают после каждого взбалтывания. **Доливать цилиндр водой после взятия проб нельзя.**

При анализе засоленных почв может произойти полная или частичная коагуляция суспензии в цилиндре. При появлении признаков коагуляции до взятия I пробы суспензию оставляют на 1—2 сут до полного осветления жидкости. Ее сливают и определяют в ней содержание солей (плотный остаток). Если для определения плотного остатка взято 25 мл осветленной жидкости, то из найденного в ней количества солей следует вычесть 0,02 г внесенного при подготовке пирофосфата натрия.

Массу плотного остатка солей вычитают из массы взятой навески почвы и в дальнейшем все расчеты содержания механических фракций ведут в процентах массы бессолевой навески. К осадку в цилиндре вновь приливают 10 мл 4%-ного раствора пирофосфата натрия, смесь тщательно перемешивают, доводят объем до 500 мл и суспензию анализируют методом пипетки.

Результаты взвешивания и расчёта проб или частиц записываются по форме

Показатели	Крупный и средний песок (1 – 0,25мм)	Проба			
		I	II	III	IV
		Размер частиц, мм			
		< 0,05	< 0,01	< 0,005	< 0,001
Номер стаканчика					
Масса стаканчика					
Масса стаканчика с пробами или частицами					
Масса проб, частиц					
Содержание проб, частиц, %					

навеска воздушно-сухой почвы, взятая для механического анализа, г; K_{H_2O} , - коэффициент пересчета на сухую почву.

Так же рассчитывают содержание частиц II, III и IV проб, подставляя вместо m_1 соответствующую массу проб в граммах.

4. Содержание крупной пыли (0,05—0,01 мм) вычисляют по формуле:

$$n_1 - n_2 = \% \text{ крупной пыли, где } n_1 \text{ — I проба, \%}; n_2 \text{ — II проба, \%}.$$

5. Содержание средней пыли (0,01—0,005 мм) вычисляют по формуле:

$$n_2 - n_3 = \% \text{ средней пыли, где } n_2 \text{ — II проба, \%}; n_3 \text{ — III проба, \%}.$$

6. Содержание мелкой пыли (0,005—0,001 мм) вычисляют по формуле:

$$n_3 - n_4 = \% \text{ мелкой пыли, где } n_3 \text{ — III проба, \%}; n_4 \text{ — IV проба, \%}.$$

7. Содержание ила (<0,001 мм) равно количеству частиц IV пробы в процентах.

Пример расчетов

Рассмотрим расчет результатов анализа на конкретном примере.

Взято для механического анализа 5 г воздушно-сухой почвы, $K_{H_2O} = 1,02$.

В результате анализа получены данные: масса частиц, оставшихся на сите, 1,3538 г;

Масса I пробы 0,1309 г, а содержание ее равно:

$$n_1 = (0,1309 \cdot 500 \cdot 100 \cdot 1,02) / (25 \cdot 5) = 53,4\%$$

Масса II пробы 0,0549 г, содержание ее равно:

$$n_2 = (0,0549 \cdot 500 \cdot 100 \cdot 1,02) / (25 \cdot 5) = 22,4\%$$

Масса III пробы 0,0402 г, содержание ее равно:

$$n_3 = (0,0402 \cdot 500 \cdot 100 \cdot 1,02) / (25 \cdot 5) = 16,4\%$$

Масса IV пробы 0,0328, содержание ее равно:

$$n_4 = (0,0328 \cdot 500 \cdot 100 \cdot 1,02) / (25 \cdot 5) = 13,4\%$$

На основании полученных данных находим содержание фракций механических элементов. Количество крупного и среднего песка равно:

$$\frac{1,3538 \cdot 1,02 \cdot 100}{5} = 27,6 \%;$$

мелкого песка $100 - (27,6 + 53,4) = 19,0\%$; крупной пыли $53,4 - 22,4 = 31,0\%$; средней пыли $22,4 - 16,4 = 6,0\%$; мелкой пыли $16,4 - 13,4 = 3,0\%$; ила $13,4\%$; сумма $100,0\%$.

Полученные результаты записывают по форме:

Результаты механического анализа почвы

Почва, генетический горизонт и глубина взятия образца, см	Гигроскопическая влажность, %	Размер механических элементов мм, и их содержание, %							Название почвы по гранулометрическому составу
		1-0,25	0,25-0,05	0,05-0,01	0,01-0,005	0,005-0,001	<0,001	<0,01	
Дерново-подзолистая, А ₁ , 2-18	2,0	27,6	19,0	31,0	6,0	3,0	13,4	22,4	Легкосуглинистая крупнопылевато-песчаная

На основании полученных данных даётся **основное** и **дополнительное** название почвы по гранулометрическому составу.

Чтобы дать **основное** название почвы необходимо найти содержание «физической глины» или «физического песка» и воспользоваться единой классификацией по В.И.Кирюшину. В данном случае почва – легкосуглинистая.

Дополнительное название даётся с учётом преобладающих фракций. Таких фракций выделяют пять: *гравелистая* (3 – 1 мм), *песчаная* (1 – 0,05мм), включающая песок крупный, средний и мелкий, *крупнопылеватая* (0,5 – 0,01 мм), *пылеватая* (0,01 – 0,001 мм) включающая пыль среднюю и мелкую и *илистая* (< 0,001 мм). Находят две превалирующие фракции и добавляют их к основному названию почвы, причём фракция, которая абсолютно преобладает ставится на последнее место. Этим подчёркивается её доминирующее положение в почве.

В нашем примере содержание песчаной фракции составляет 46,6%, крупнопылеватой – 31,0%, пылеватой – 9,0%, илистой – 13,4%. Преобладают песчаная и крупнопылеватая фракции, которые и отражаются в окончательном названии почвы по гранулометрическому составу – легкосуглинистая песчано-крупнопылеватая.

По результатам механического анализа находится «гранулометрический показатель структурности» с помощью которого можно оценить потенциальную способность почвы к оструктуриванию. Механические элементы при этом разделяются на активные, принимающие участие в процессах коагуляции и обладающие цементирующей способностью, и пассивные, участвующие в структурообразовании как пассивный материал.

В почвах с высоким содержанием гумуса (темно-серые лесные и темно-каштановые почвы, черноземы) активное участие в структурообразовании принимают фракции ила и мелкой пыли. В почвах малогумусных (подзолистые и дерново-подзолистые, светло-серые лесные и светло-каштановые почвы) активной является только илистая фракция.

Исходя из этого, формулы для расчета «гранулометрического показателя структурности» имеют следующий вид:

для гумусированных почв

$$P_c = \frac{a+b}{c} \cdot 100,$$

для малогумусных почв

$$P = \frac{a}{b+c} \cdot 100,$$

где а – количество ила, %; b – количество мелкой пыли; с – количество средней и крупной пыли, %.

Чем выше величина Р, тем больше потенциальная способность почвы к оструктуриванию.

3. ОРГАНИЧЕСКОЕ ВЕЩЕСТВО ПОЧВ

Любая почва содержит то или иное количество разнообразных органических веществ, продуцентами которых являются населяющие ее живые организмы.

Вся совокупность органических компонентов в пределах почвенного профиля называется органическим веществом почвы. Это общее понятие объединяет все органические компоненты почвы за исключением тех, которые входят в состав живой биомассы (эдафона). Эдафон включает живые корни растений, микроорганизмы и почвенную фауну, на его долю приходится 2-15 % от общего содержания органического вещества почвы.

Аккумуляция органического вещества в верхних горизонтах почвенного профиля в количествах в десятки и сотни раз превосходящих его содержание в почвообразующих породах является важнейшей отличительной чертой почвообразовательного процесса.

Органическое вещество почвы подразделяется на две группы: органические остатки и гумус. Неразложившиеся остатки, которые видны невооруженным глазом или под лупой, составляют 5-10 % от общего содержания органического вещества почвы. Входящие в их состав органические компоненты являются источником образования гумуса, на долю которого в большинстве минеральных почв приходится до 90-99 % от общего содержания органического вещества.

Гумусом называют сложный динамический комплекс органических соединений образующихся при разложении и гумификации органических остатков и продуктов жизнедеятельности живых организмов. В составе гумуса различают промежуточные продукты распада и гумификации, неспецифические органические соединения и специфические гумусовые вещества, представленные гумусовыми кислотами – гуминовыми и фульвокислотами и негидролизуемым остатком.

Органическое вещество играет очень важную роль не только в генезисе и плодородии почв, но и в нормальном функционировании биосферы вообще.

Органическое вещество почвы оказывает решающее влияние на глобальный круговорот углерода, составляющего основу жизни и эволюции биосферы Земли.

Гумус почвы – основной источник энергии для процессов превращения в почве органических и минеральных соединений, биосинтетических и органо- минеральных реакций, жизнедеятельности микроорганизмов и т. д. Суммарные запасы энергии, связанной в гумусе почвенного покрова всей суши планеты, оцениваются в пределах $4 \cdot 10^{15}$ - 10^{16} Дж и равны или даже превышают запасы энергии, накопленной надземной частью фитомассы. Следовательно, гумусовую оболочку суши можно считать общепланетарным аккумулятором и распределителем энергии образованной в процессе фотосинтеза.

3.1. Определение гумуса по методу И.В. Тюрина в модификации В.Н. Симакова

Метод основан на окислении углерода гумусовых веществ до CO_2 0,4 н. раствором двуххромовокислого калия ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$), приготовленного на серной кислоте, разведенной в воде в объемном отношении 1:1. По количеству хромовой смеси, пошедшей на окисление органического углерода, судят о его количестве.

Реакция окисления протекает по следующему уравнению:



Метод непригоден для почв, содержащих закисные соединения железа и марганца, а также хлориды в количествах более 0,6%, так как часть хромовой смеси расходуется на их окисление, что искажает результаты анализа.

Ход анализа. 1. Из образца почвы, просеянной через сито 1 мм берут среднюю пробу весом 10-15 г и отбирают неразложившиеся органические остатки. После этого почву растирают в фарфоровой ступке и полностью просеивают через сито с отверстиями 0,25 мм. Из просеянного образца берут навеску для анализа, ориентируясь при этом на цвет почвы и предполагаемое содержание гумуса (Е.В. Аринушкина, 1970):

Окраска почвы	Содержание гумуса, %	Величина навески, г
Черная	7-15	0,05-0,1
Темно-серая	4-7	0,2
Серая	2-4	0,3
Светло-серая	1-2	0,4
Белесая	0,5-1	0,5-0,7

2. Навеску почвы переносят в коническую колбу на 100 мл и приливают из бюретки 10 мл хромовой смеси, но не сплошной струей, а так чтобы были видны падающие капли, иначе часть реактива останется на стенках бюретки. Содержимое осторожно перемешивают круговыми движениями. При содержании в почве гумуса более 15%, анализе лесных подстилок и оторфованных образцов может не произойти полного окисления углерода, поэтому количество хромовой смеси увеличивают до 20 мл.

3. В колбу вставляют маленькую воронку, которая служит обратным холодильником, ставят на предварительно нагретую асбестовую сетку или этернитовую плитку, доводят до кипения и кипятят 5 мин с момента появления крупных пузырьков CO_2 . Бурного кипения не допускают, так как это приводит к искажению результатов из-за возможного разложения хромовой смеси.

4. По истечении времени кипения колбу снимают и охлаждают. Воронку и стенки колбы обмывают из промывалки дистиллированной водой, доводя объем до 30 – 40 мл. Добавляют 4 – 5 капель 0,2%-ного раствора фенилантраниловой кислоты и титруют 0,2 н. раствором соли Мора до

перехода окраски из вишневой через фиолетовую в зеленую. Титрование от фиолетовой окраски до зеленой нужно проводить особенно тщательно, приливая раствор по каплям.

5. Параллельно проводят холостое определение, выполняя все те же операции только вместо навески почвы используют прокаленную пемзу (0,1-0,3 г) чтобы обеспечить равномерное кипение.

Содержание органического углерода находят по формуле:

$$C = \frac{(V_1 - V_2) \cdot n \cdot 0,003 \cdot K_{H_2O} \cdot 100}{m},$$

где С – содержание органического углерода, % от массы сухой почвы; V_1 – количество соли Мора (мл), пошедшего на холостое титрование; V_2 – количество соли Мора, пошедшее на титрование анализируемого образца, n – нормальность соли Мора; 0,003 – молярная масса эквивалента углерода, г/моль; K_{H_2O} – коэффициент гигроскопичности для пересчета на абсолютно сухую навеску почвы; m – навеска воздушно-сухой почвы, г.

Для нахождения количества гумуса полученную величину умножают на коэффициент 1,724 исходя из того, что в среднем 1 г углерода соответствует 1,724 г гумуса.

$$\text{Гумус}(\%) = C(\%) \cdot 1,724$$

Пример расчета

Навеска почвы, взятая для анализа равна 0,125 г. На титрование после окисления углерода почвы пошло 12,2 мл соли Мора, на холостое титрование – 22,4 мл. Нормальность соли Мора равна 0,204, коэффициент гигроскопичности – 1,04.

$$C = \frac{(22,4 - 12,2) \cdot 0,204 \cdot 1,04 \cdot 0,003 \cdot 100}{0,125} = 5,19\%$$

$$\text{Гумус} = 5,19 \cdot 1,724 = 8,95 \%$$

Результаты анализа записывают по следующей форме:

Почва	Горизонт, глубина образца, см	Навеска воздушно-сухой почвы, г	Объем $K_2Cr_2O_7$, мл	Соль Мора			Общий углерод	Общий гумус
				объем, мл		нормальность, н		
				на холостое титрование	на титрование образца		в % от массы сухой почвы	
Чернозем типичный	A _п 0-20	0,125	10,0	22,4	12,2	0,204	5,19	8,95

Показатели гумусового состояния почв

Признак	Уровень	Пределы величин
Содержание гумуса, %	Очень высокое Высокое Среднее Низкое Очень низкое	Более 10 6 – 10 4 – 6 2 – 4 Менее 2
Запасы гумуса в слое 0 – 100 см, т/га	Очень высокие Высокие Средние Низкие Очень низкие	Более 600 400 – 600 200 – 400 100 – 200 Менее 100
Обогащенность азотом $C : N$	Очень высокая Высокая Средняя Низкая Очень низкая	Менее 5 5 – 8 8 – 11 11 – 14 Более 14
Тип гумуса, $C_{гк} : C_{фк}$	Гуматный Фульватно – гуматный Гуматно – фульватный Фульватный	Более 2 1 – 2 0,5 – 1 Менее 0,5

4. ПОГЛОТИТЕЛЬНАЯ СПОСОБНОСТЬ ПОЧВ

Важнейшая особенность почвы – ее гетерогенность и многофазность. Благодаря этому она способна удерживать вещества различной природы и разного размера, приходящие с ней в соприкосновение. Почвой задерживаются молекулы и отдельные ионы, вещества органического и минерального происхождения, коллоидные частицы и грубые суспензии, пары, газы и клетки микроорганизмов.

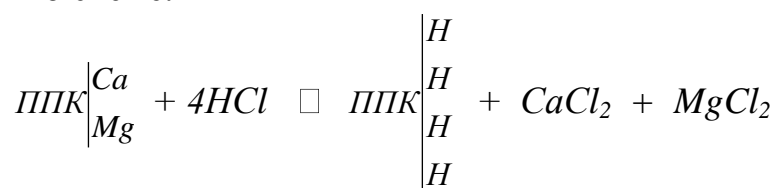
Процессы поглощения, происходящие в почвах, объединяют самые разнообразные явления как сорбционной природы, так и не связанные непосредственно с сорбцией на частицах почвы. **Совокупность явлений поглощения и удерживания разнообразных твердых, жидких и газообразных веществ называется поглотительной способностью почвы.**

Любая почва способна поглощать и удерживать разнообразные вещества, приходящие с ней в соприкосновение. Важнейшую роль в этом

играет почвенный поглощающий комплекс (ППК), понятие, о котором было впервые сформулировано К.К. Гедройцем. ППК по К.К. Гедройцу представляет собой совокупность нерастворимых в воде органических, минеральных и органо–минеральных соединений, находящихся преимущественно в высокодисперсном состоянии и обладающих высокой реакционной и ионообменной способностью. Реакция обмена между ионами почвенного раствора и ионами удерживаемыми ППК является наиболее характерной особенностью почвенного поглощающего комплекса как составной части почвы.

4.1. Определение суммы обменных оснований методом Каппена-Гильковица

Метод основан на вытеснении обменных оснований ионом водорода 0,1 н раствора HCl по схеме:



Количество перешедших в раствор обменных оснований определяют по разности между содержанием H^+ в растворе до и после взаимодействия кислоты с почвой.

Лучшие результаты метод Каппена — Гильковица дает на почвах, бедных поглощенными основаниями, например на дерново–подзолистых.

Ход анализа. 1. Взвешивают на технхимических весах 10(20) г воздушно–сухой почвы, просеянной через сито в 1 мм. 2. Почву высыпают в колбу на 250 мл. 3. Из бюретки приливают 100 мл 0,1 н раствора HCl, взбалтывают 1 ч на ротаторе и оставляют на сутки. 4. Суспензию фильтруют через сухой беззольный фильтр. Если первые порции фильтрата окажутся мутными, то их снова выливают на тот же фильтр. 5. Пипеткой отбирают 25(50) мл прозрачного фильтрата в коническую колбу на 100 —250 мл, прибавляют 2—3 капли фенолфталеина, кипятят 1—2 мин, чтобы удалить CO_2 и оттитровывают 0,1 н. раствором NaOH до слабо-розовой окраски не исчезающей в течении 1 мин. Сумму обменных оснований вычисляют по формуле:

$$S = \frac{(V_1 \cdot n_1 - V_2 \cdot n_2) \cdot V_0 \cdot 100 \cdot K_{\text{H}_2\text{O}}}{V_1 \cdot m},$$

где S — сумма обменных оснований, мг–экв. на 100 г почвы; V_1 — количество фильтрата HCl, взятого для титрования, мл; n_1 — нормальность HCl; V_2 — количество раствора NaOH, пошедшего на титрование взятого объема фильтрата, мл; n_2 — нормальность NaOH; 100 — коэффициент пересчета на 100 г почвы; V_0 — общий объем фильтрата, мл; m — навеска воздушно-сухой почвы, г; $K_{\text{H}_2\text{O}}$ — коэффициент гигроскопичности.

Если сумма обменных оснований в почве ожидается больше 15 м.-экв., то соляной кислоты берут 200 мл или уменьшают навеску почвы до 10 г.

Практически руководствуются следующими данными: для дерново-подзолистых и светло-серых лесных почв берут 20 г и 100 мл HCl, для серых, темно-серых лесных почв и черноземов – 10 г и 100 мл HCl.

Пример расчета

К навеске почвы равной 20,0 г прилито 100 мл 0,108 н раствора HCl. После взаимодействия почвы с кислотой вытяжка отфильтрована. На титрование 50 мл фильтрата пошло 40 мл 0,106 н NaOH. Коэффициент гигроскопичности равен 1,05.

$$S = \frac{(50 \cdot 0,108 - 40 \cdot 0,106) \cdot 100 \cdot 100 \cdot 1,05}{20,0 \cdot 50} = 12,2 \text{ мг-экв/100 г почвы}$$

Результаты записывают по форме

Почва	Горизонт, глубина, см	Навеска почвы, г	HCl		Объем фильтрата взятого на титрование, мл	NaOH		Сумма обменных оснований, мг-экв на 100 г почвы
			общий объем добавлено к почве, мл	нормальность, н		пошло на титрование фильтрата, мл	нормальность, н	
Дерново-подзолистая	A _п , 0-20	20	100	0,108	50	40	0,106	12,2

5. КИСЛОТНОСТЬ И ЩЕЛОЧНОСТЬ ПОЧВ

К числу важнейших свойств почвы относится реакция среды. Она обусловлена наличием и соотношением в почвенном растворе водородных (H⁺) и гидроксильных (OH⁻) ионов.

Реакция почвы характеризуется величиной рН, представляющей собой отрицательный логарифм активности водородных ионов. Увеличение концентрации водородных ионов ведет к снижению величины рН, когда концентрация H⁺-ионов уменьшается, величина рН возрастает.

Различают почвы: очень сильноокислые – рН_{KCl} < 4,0; сильноокислые – 4,1 – 4,5; среднеокислые – 4,6 – 5,0; слабоокислые – 5,1 – 5,5; нейтральные – 5,6 – 7,4; слабощелочные – рН_{H2O} 7,5 – 8,0; среднещелочные – 8,1 – 8,5; сильнощелочные – 8,6 – 10,0; резкощелочные – 10,1 – 12,0.

В придании почве той или иной реакции среды играют роль общая направленность почвообразовательного процесса, химический и минералогический состав почвы, содержание и состав органического вещества, состав обменных катионов, наличие или отсутствие солей, жизнедеятельность живых организмов, состав почвенного воздуха и влажность почвы.

В свою очередь реакция среды оказывает большое влияние на свойства

почвы и характер протекающих в ней процессов. С реакцией среды связана растворимость многих соединений и доступность элементов питания растениям, жизнедеятельность микроорганизмов и образование гумусовых кислот, распад и синтез минералов. От реакции среды во многом зависит подвижность минеральных и органических веществ почвы, что создает предпосылки для вовлечения их в миграционные потоки.

Реакция среды различных почв колеблется в широких пределах. Кислая и сильноокислая реакция среды присуща красноземам, желтоземам, подзолистым и торфянисто-подзолистым почвам, торфу верховых болот. Сильнощелочную реакцию среды имеют многонатриевые солонцы и содовые солончаки, нейтральную – черноземы, темно-серые лесные и темно-каштановые почвы.

5.1. Определение реакции среды почвы (рН) потенциометрическим методом

Для определения рН почвы потенциометрическим методом используют иономер, к которому подсоединяют стеклянный измерительный электрод и хлорсеребряный электрод сравнения. Рабочей частью измерительного электрода является стеклянная мембрана. При измерении рН между мембраной и раствором (суспензией) возникает разность потенциалов, которая зависит от активности ионов водорода в растворе. Поскольку приборы откалиброваны в единицах рН, то разность потенциалов на стеклянном электроде и электроде сравнения дает соответствующую величину рН.

Ход анализа. 1. Для определения актуальной кислотности 10 г почвы взвешивают на весах с точностью до 0,1 г и переносят в стеклянный стаканчик на 50 мл. 2. К навеске прибавляют 25 мл дистиллированной воды, чтобы отношение почва: раствор составило 1 : 2,5. 3. Содержимое стаканчика перемешивают в течении 5 мин стеклянной палочкой. 4. В суспензию помещают стеклянный измерительный электрод и хлорсеребряный электрод сравнения. 5. Измеряют рН на потенциометре. При определении обменной кислотности (рН солевой) выполняют все те же операции, только вместо дистиллированной воды к почве приливают 25 мл 1 н раствора КСl. При анализе торфяных почв и лесных подстилок соотношение почва : раствор составляет 1 : 25.

5.2. Определение гидролитической кислотности по Каппену

Определение гидролитической кислотности основано на том, что при взаимодействии раствора CH_3COONa с почвой образуется уксусная кислота, которая оттитровывается щелочью. По количеству щелочи, пошедшей на титрование, и судят о величине гидролитической кислотности.

Ход анализа. 1. На теххимических весах отвешивают 20 г воздушно-сухой почвы, просеянной через сито в 1 мм, и высыпают в колбу

на 200 мл.

2. К почве приливают 50 мл 1,0 н. раствора CH_3COONa и взбалтывают содержимое колбы в течение 1 ч.

Часовое взбалтывание можно заменить пятиминутным взбалтыванием рукой с последующим отстаиванием суспензии в течение суток.

3. Суспензию отфильтровывают через сухой складчатый фильтр. Перед фильтрованием жидкость хорошо взбалтывают, чтобы перенести почву на фильтр. Если фильтрат окажется мутным, его следует снова профильтровать через тот же фильтр.

4. Отбирают пипеткой 25 мл прозрачного фильтрата и переносят в коническую колбу на 100 мл.

5. Прибавляют 1—2 капли фенолфталеина и оттитровывают фильтрат 0,1 н. раствором NaOH до слабо-розовой окраски, не исчезающей в течение 1 мин.

Гидролитическую кислотность вычисляют по формуле:

$$H_r = \frac{V_1 \cdot n \cdot V_0 \cdot 1,75 \cdot 100 \cdot K_{H_2O}}{m \cdot V_2}$$

где: H_r — гидролитическая кислотность, мг-экв. на 100 г почвы; V_1 — количество раствора NaOH , пошедшего на титрование взятого объема фильтрата, мл; n — нормальность NaOH ; 100 — коэффициент пересчета на 100 г почвы; V_0 — общий объем фильтрата; V_2 — объем фильтрата, взятого для титрования, мл; 1,75 — поправка на полноту вытеснения ионов водорода; m — навеска воздушно-сухой почвы.

Пример расчета

Для определения величины гидролитической кислотности к навеске воздушно-сухой почвы весом 20,0 г прилито 50 мл 1,0 н раствора CH_3COONa . После того как суспензия была отфильтрована взято 25 мл фильтрата на титрование которого пошло 2,2 мл 0,104 н раствора NaOH . Коэффициент гигроскопичности равен 1,05.

$$H_r = \frac{2,2 \cdot 0,104 \cdot 50 \cdot 1,75 \cdot 100 \cdot 1,05}{20,0 \cdot 25} = 4,2 \text{ мг-экв / 100 г почвы}$$

Результаты записывают по форме:

Почва	Горизонт, глубина, см	Навеска почвы, г	Добавлено к почве CH_3COONa , мл	Объем фильтрата взятого на титрование, мл	NaOH		Гидролитическая кислотность, мг-экв на 100 г почвы
					пошло на титрование фильтрата, мл	нормальность, н	
Дерново-подзолистая	$A_{\text{п}}$ 0–20	20,0	50,0	25,0	2,2	0,104	4,2

5.3. Вычисление степени насыщенности почв основаниями

Степенью насыщенности почв основаниями называется отношение суммы обменных оснований к емкости поглощения

В состав обменных катионов кислых почв наряду с поглощенными основаниями (главным образом Са и Mg) входят поглощенные ионы водорода и алюминия.

Степень насыщенности показывает, какая часть от всех поглощенных катионов почвы приходится на поглощенные основания. При степени насыщенности меньше 100% почву относят к группе не насыщенных основаниями. Степень насыщенности вычисляют по формуле:

$$V = \frac{S \cdot 100}{EKO},$$

где V —степень насыщенности почвы основаниями, %; S — сумма обменных оснований, мг–экв.; EKO — емкость катионного обмена ($S+H_T$), мг–экв. на 100 г почвы; 100 — коэффициент пересчета в проценты.

Степень насыщенности необходимо вычислять для определения потребности почв в известковании.

Пример расчета

Анализировался пахотный горизонт дерново–подзолистой почвы. Сумма обменных оснований равна 5,0 мг–экв/ 100 г почвы, гидролитическая кислотность – 4,8 мг–экв/ 100 г почвы. Степень насыщенности почвы основаниями равна:

$$V = \frac{5,0 \cdot 100}{5,0 + 4,8} = 51,0 \%$$

Почва ненасыщенна основаниями и нуждается в известковании.

5.4. Определение потребности почв в известковании и вычисление доз извести

Нуждаемость почвы в известковании определяют, учитывая следующие показатели: рН солевой вытяжки, степень насыщенности основаниями, гранулометрический состав, чувствительность возделываемых растений к кислотности.

В первом приближении потребность почв в известковании можно установить по рН солевой вытяжки (КС1), руководствуясь следующими данными:

I—почва сильно нуждается в известковании, рН < 4,5

II—почва средне нуждается в известковании, рН 4,5 – 5,0

III—почва слабо нуждается в известковании, рН 5,1 – 5,5

IV—почва не нуждается в известковании, рН > 5,5

Для суждения о необходимости известкования минеральных и торфяных почв с учетом их рН, степени насыщенности основаниями и гранулометрического состава можно руководствоваться следующими

нормативами (табл. 59).

Нуждаемость почвы в известковании в зависимости от ее свойств
(М. Ф. Корнилов)

Почвы по гранулометриче- скому составу	Нуждаемость в известковании							
	Сильная		Средняя		Слабая		Отсутствует	
	pH	V, %	pH	V, %	pH	V, %	pH	V, %
Тяжело- и среднесуглинистые	< 4,5	50	4,5–5,0	50–60	5,0–5,5	65–75	> 5,5	> 75
Легкосуглинистые	< 4,5	40	4,5–5,0	40–60	5,0–5,5	60–70	> 5,5	> 70
Супесчаные и песчаные	< 4,5	35	4,5–5,0	35–40	5,0–5,5	50–60	> 5,5	> 60
Торфяные и торфяно-болотные	< 3,5	35	3,5–4,2	35–55	4,2–4,8	55–60	> 4,8	> 65

Доза извести, необходимая для оптимизации реакции среды устанавливается по величине гидролитической кислотности в т/га. Кроме этого необходимо знать мощность пахотного слоя и его плотность.

Пусть мощность пахотного слоя (Н) равна 20 см, его плотность (d_v) – 1,35 г/см³, гидролитическая кислотность (H_r) 4,0 мг–экв на 100 г почвы. Так как известь перемешивается со всем пахотным слоем, то необходимо знать сколько в нем содержится ионов водорода на площади 1 га. Сначала находят массу пахотного слоя для этой площади, которую вычисляют по формуле:

$$m \text{ (т)} = d_v \cdot H \cdot 100$$

В нашем случае вес пахотного слоя будет равен:

$$m = 1,35 \cdot 20 \cdot 100 = 2700 \text{ т}$$

Теперь необходимо определить количество содержащихся в нем ионов водорода. Поскольку в 100 г почвы содержание водорода равно 4,0 мг–экв или 4 мг, то в 1 кг почвы будут содержаться 40 мг или 0,04 г водорода, а во всем пахотном слое 1 га – $0,04 \cdot 2700000 = 108000$ г, или 108 кг обменного водорода.

На нейтрализацию 1 кг водорода требуется 50 кг извести, что вытекает из уравнения химической реакции:



Следовательно, доза извести составляет: $108 \cdot 50 = 5400$ кг, или 5,4 т/га.

Известковые материалы могут содержать инертные примеси и иметь повышенную влажность, что необходимо учитывать при установлении дозы извести.

Окончательная формула для расчета имеет следующий вид:

$$D = \frac{H_r \cdot d_v \cdot h \cdot 500}{(100 - W) \cdot DB},$$

где D – доза извести, т/га; H_r – гидролитическая кислотность, мг–экв/100 г почвы; d_v – плотность почвы, г/см³; h – мощность слоя, см; W –

влажность мелиоранта, %; DB – содержание действующего вещества в мелиоранте, %, 500 – коэффициент, учитывающий перевод 100 г почвы в кг и нейтрализацию поглощенного водорода известью.

5.5. Вычисление степени солонцеватости почв и расчет доз гипса

Почвы насыщенные основаниями могут содержать избыточное количество обменного натрия, отрицательно влияющего на их плодородие.

Степень солонцеватости почв устанавливается по формуле:

$$A = \frac{Na \cdot 100}{EKO},$$

где A – степень солонцеватости, % от емкости обмена; Na – содержание обменного натрия, мг–экв. на 100 г почвы; EKO – емкость катионного обмена, мг–экв. на 100 г почвы.

Различают несолонцеватые почвы, содержащие менее 3 % натрия от емкости катионного обмена; слабосолонцеватые – 3–5 %; среднесолонцеватые – 5–10 %; сильносолонцеватые – 10–15 % и солонцы по содержанию обменного натрия в горизонте B_1 : малонатриевые – 10–20 %; средненатриевые – 20–40 %; многонатриевые – > 40 %.

Пример расчета

При анализе каштановой почвы получены следующие данные: содержание обменного натрия в пахотном слое мощностью (h) 25 см и плотностью (d_v) 1,39 г/см³ составило 2,8 мг–экв. на 100 г почвы, емкость обмена – 20 мг–экв. на 100 г почвы.

Степень солонцеватости равна:

$$A = \frac{2,8 \cdot 100}{20} = 14 \%$$

Почва относится к сильносолонцеватой и нуждается в химической мелиорации.

Для улучшения свойств солонцов и солонцеватых почв в качестве химического мелиоранта чаще всего используется гипс ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$). Дозу гипса находят по формуле:

$$D = \frac{0,086 \cdot (Na - 0,05EKO) \cdot h \cdot d_v \cdot 100}{DB},$$

где D – доза гипса, т/га; 0,086 – значение 1 мг–экв гипса, Na – содержание обменного натрия, мг–экв. на 100 г почвы; EKO – емкость катионного обмена, мг–экв. на 100 г почвы; 0,05 – количество обменного натрия (в % от емкости обмена) не оказывающее отрицательного влияния на свойства почвы и оставляемое в ППК; h – мощность пахотного слоя, см; d_v – плотность почвы, г/см³; DB – содержание $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ в мелиоранте, %.

В нашем случае при содержании гипса в мелиоранте 75 % его доза составит:

$$D = \frac{0,086 \cdot (2,8 - 0,05 \cdot 20) \cdot 25 \cdot 1,39 \cdot 100}{75} = 7,2 \text{ т/га}$$

6. СТРУКТУРА ПОЧВЫ

В почвах механические элементы могут находиться как в раздельно-частичном состоянии, так и соединяться под действием разнообразных сил в комки разной формы и размера, которые называются почвенными агрегатами. В раздельно-частичном состоянии механические элементы обычно находятся в песчаных и супесчаных почвах, а формирование агрегатов происходит при более тяжелом гранулометрическом составе. Особенно отчетливо это выражено в тяжелосуглинистых и глинистых почвах, что связано с наличием в них значительного количества коллоидных частиц. Однако, в связи с влиянием природных и антропогенных факторов суглинистые и глинистые почвы могут быть не только структурными, но и бесструктурными или малоструктурными, хотя в большинстве типов почв механические элементы в той или иной степени все же объединены в агрегаты.

Почвенный агрегат (синоним структурная отдельность) представляет собой определенное количество механических элементов объединенных в единое целое в результате слипания и склеивания под влиянием абиотических и биологических факторов.

Совокупность агрегатов различного размера, формы и качественного состава называется почвенной структурой, а способность почвы распадаться на агрегаты при механическом воздействии – структурностью.

При оценке почвенной структуры необходимо учитывать, что это не только один из основных морфолого-генетических признаков почвы, но и важнейший показатель ее агрофизического состояния.

Как морфологический признак структура любой формы и размера может быть хорошей или хорошо выраженной (комковато-зернистая, листоватая, столбчатая и т.д.), но не всегда представлять ценность с агрономической точки зрения.

К агрономически ценным относятся лишь агрегаты размером от 0,25 до 10 мм. Если при механическом воздействии почва распадается на агрегаты, преимущественно укладываемые в этот интервал, то она считается **структурной**. В случае, когда почва не распадается на структурные отдельности, а имеет сыпучее состояние, как песок или пыль, то она относится к **бесструктурной раздельно-частичной**; если представлена большими бесформенными массами, то почва будет **бесструктурной глыбистой или массивной**.

Кроме размера, агрономическая ценность структуры определяется связностью (механической прочностью), водопрочностью и пористостью агрегатов.

Под связностью понимается способность агрегатов не разрушаться при механическом воздействии. Связность возрастает с увеличением количества илистых и коллоидных частиц участвующих в формировании агрегатов. Высокой механической прочностью обладают агрегаты глинистых

и тяжелосуглинистых по гранулометрическому составу иллювиальных горизонтов, например солонцовых. В сухом состоянии они разрушаются с большим трудом, однако в воде легко распадаются на составляющие их механические элементы. Поэтому наряду с механической прочностью агрономически ценная структура должна обладать и водопрочностью.

Водопрочность – способность агрегатов длительное время противостоять размывающему действию воды. Зависит она от качества материала, склеивающего механические элементы.

Агрономическое значение структуры многопланово. От структурного состояния зависят водный, воздушный и тепловой режимы почвы, с которыми в свою очередь связаны окислительно-восстановительный, пищевой и микробиологический режимы. Структура оказывает влияние на физические и физико-механические свойства почвы – плотность сложения, пористость, коркообразование, связность и удельное сопротивление при обработке..

Таким образом, степень оструктуренности суглинистых и глинистых почв оказывает очень большое влияние на их агрофизические свойства и режимы. Как отмечал Н.А. Качинский, "во всех случаях на почвах одного типа, одной генетической разности и в сходных агротехнических условиях структурная почва всегда характеризуется более благоприятными для сельскохозяйственных культур показателями, нежели бесструктурная или малоструктурная".

6.1. Агрегатный анализ почв методом Н.И. Саввинова

В задачу агрегатного анализа входит: 1) определение содержания агрегатов того или иного размера в пределах 0,25 – 10 мм; 2) качественная оценка структуры по содержанию водопрочных агрегатов.

Содержание агрегатов определенного размера находят методом «сухого» агрегатного анализа, а водопрочных агрегатов – методом «мокрого» агрегатного анализа.

Метод «сухого» агрегатного анализа. Из образца нерастертой воздушно-сухой почвы берут среднюю пробу 0,5 – 2,5 кг. Осторожно выбирают корни, гальку и другие включения. Среднюю пробу просеивают через колонку сит диаметром 10; 7; 5; 3; 2; 1; 0,5; 0,25 мм. На нижнем сите должен быть поддон. Почву просеивают небольшими порциями (100 – 200 г), избегая сильных встряхиваний. Когда сита разъединяют, каждое из них слегка постукивают ладонью по ребру, чтобы освободить застрявшие агрегаты.

Сухим просеиванием почва разделяется на фракции: > 10, 10-7, 7-5, 5-3, 3-2, 2-1, 1-0,5, 0,5-0,25 и < 0,25 мм.

Каждую фракцию агрегатов переносят в отдельные чашки или другую тару. После просеивания всей средней пробы каждую фракцию взвешивают на технохимических весах и рассчитывают ее содержание в процентах от

массы воздушно-сухой почвы. За 100% принимается вся взятая для анализа навеска почвы.

Результаты записывают по форме:

Название почвы	Генетический горизонт, глубина, см	Размер агрегатов в мм, содержание в % от массы воздушно-сухой почвы															
		сухое просеивание									мокрое просеивание						
		> 10	10-7	7-5	5-3	3-2	2-1	1-0,5	0,5-0,25	< 0,25	> 5	5-3	3-2	2-1	1-0,5	0,5-0,25	< 0,25

Метод «мокрого» агрегатного анализа. Составляют среднюю навеску почвы весом 50 г из отдельных фракций агрегатов, полученных при сухом просеивании. Для этого из каждой фракции на теххимических весах берут навеску в г, равную половине процентного содержания данной фракции в почве. Например, если по результатам сухого просеивания содержание фракции размером 5-3 мм составило 24%, то для средней пробы ее берут в количестве 12 г; при содержании фракции 3-2 мм 16% – 8 г и т.д. Фракцию меньше 0,25 мм **не включают** в среднюю пробу, чтобы не забивались нижние сита при просеивании почвы. Поэтому навеска всегда бывает меньше 50 г.

Подготавливают набор из 6 сит диаметром 20 см, высотой 3 см, с отверстиями от верхнего сита к нижнему 5; 3; 2; 1; 0,5; 0,25 мм. Сита скрепляют металлическими пластинками и устанавливают в баке с водой так, чтобы над бортом верхнего сита находился слой воды 5 – 6 см.

Навеску осторожно высыпают в литровый цилиндр и насыщают водой, которую осторожно приливают по стенкам цилиндра, чтобы вытеснить из агрегатов воздух, не защемляя его (защемленный воздух разрушает агрегаты). Цилиндр заполняют водой на 2/3 объема. Увлажненную почву оставляют на 10 мин в покое, после чего цилиндр доливают водой доверху. Для полного удаления воздуха цилиндр закрывают часовым стеклом, наклоняют до горизонтального положения и ставят вертикально. Эту процедуру повторяют дважды. Когда воздух будет удален, цилиндр закрывают пробкой, следя, чтобы под ней не осталось воздуха, и быстро переворачивают вверх дном. Держат в таком положении до тех пор, пока основная масса агрегатов не упадет вниз. Затем цилиндр переворачивают и ждут, когда почва достигнет дна. Так повторяют 10 раз, чтобы разрушить все непрочные агрегаты.

При последнем обороте оставляют цилиндр дном кверху, переносят к набору сит и погружают в воду над верхним ситом. Под водой открывают пробку цилиндра и, не отрывая его от воды, плавными движениями распределяют почву на поверхности верхнего сита, не касаясь его краем цилиндра.

Через минуту, когда все агрегаты больше 0,25 мм упадут на сито, цилиндр закрывают пробкой под водой, вынимают из воды и оставляют.

Почву, перешедшую на сито, просеивают под водой следующим образом: набор сит поднимают в воде, не обнажая оставшихся агрегатов на верхнем сите, и быстрым движением опускают вниз. В этом положении держат 2 – 3 сек, чтобы успели просеяться агрегаты, затем медленно поднимают вверх и быстро опускают вниз. Сита встряхивают 10 раз, затем вынимают из бака два верхних сита, а нижние встряхивают еще 5 раз. Оставшиеся на ситах агрегаты смывают струей воды из промывалки в большие фарфоровые чашки. Избыток воды в чашках сливают. Из больших чашек агрегаты смывают в заранее взвешенные маленькие чашечки, затем высушивают на водяной бане до воздушно-сухого состояния и взвешивают.

Масса фракций, умноженная на 2, дает процентное содержание водопрочных агрегатов того или иного размера. Количество агрегатов меньше 0,25 мм находят по разности: $100\% - \Sigma \text{ всех фракций } > 0,25 \text{ мм в } \%$.

По результатам сухого просеивания вычисляют *коэффициент структурности (K)*, под которым понимается отношение количества агрегатов от 0,25 до 10 мм (в %) к суммарному содержанию агрегатов меньше 0,25 и больше 10 мм (в %). Чем выше K, тем лучше оструктурена почва.

По количеству воздушно-сухих и водопрочных агрегатов оптимального размера С. И. Долгов и П.У. Бахтин предлагают следующую шкалу оценки структурного состояния почвы:

Оценка структурного состояния почвы

Содержание агрегатов 0,25-10 мм, % от массы воздушно-сухой почвы		Оценка структурного состояния
сухое просеивание	мокрое просеивание	
>80	>70	Отличное
80-60	70-55	Хорошее
60-40	55-40	Удовлетворительное
40-20	40-20	Неудовлетворительное
<20	<20	Плохое

7. ОБЩИЕ ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЧВЫ

К общим физическим свойствам почвы относятся плотность твердой фазы, плотность почвы, пористость и удельная поверхность.

7.1. Плотность твердой фазы почвы

Плотность твердой фазы почвы (удельная масса твердой фазы) – масса сухого вещества в единице объема твердой фазы почвы (d).

Измеряется в г/см³. Величина плотности твердой фазы зависит от природы и соотношения входящих в состав почвы минералов и органических веществ.

В верхних горизонтах малогумусных почв (подзолистые, дерново-подзолистые, светло-серые лесные и др.) плотность твердой фазы чаще всего варьирует в пределах 2,50-2,65 г/см³. С увеличением степени гумусированности почвы значения плотности твердой фазы снижаются и в почвах с высоким содержанием гумуса (обыкновенные и типичные черноземы, горно-луговые почвы и др.) составляют 2,30-2,45 г/см³.

В средней и нижней части почвенного профиля плотность твердой фазы, как правило возрастает, достигая величин 2,70-2,80 г/см³.

В целом же, по сравнению с другими физическими показателями, плотность твердой фазы почв варьирует в довольно узких пределах и в незначительной степени изменяется во времени.

Определение плотности твердой фазы почвы

1. В колбу наливают около 250 мл дистиллированной воды, кипятят примерно полчаса для удаления из нее растворенного воздуха и охлаждают до комнатной температуры.

2. Берут пикнометр (или мерную колбу) на 100 мл, наливают в него до метки прокипяченную и охлажденную дистиллированную воду, закрывают капилляром вытирают фильтровальной бумагой, измеряют температуру и взвешивают на аналитических весах.

3. Из просеянного через миллиметровое сито образца отвешивают на аналитических весах в стеклянный стаканчик или в какую – либо другую тару 9 – 10 г воздушно – сухой почвы. Одновременно берут навеску для определения гигроскопической влаги, если ее не определяли.

4. Из взвешенного пикнометра выливают немногим более половины объема воды и через воронку переносят в него навеску почвы. Воронку, не вынимая из пикнометра, ополаскивают небольшим количеством воды. Стаканчик, в котором находилась почва, снова взвешивают и по разности между стаканчиком с почвой и пустым стаканчиком находят массу почвы, взятой для определения плотности твердой фазы.

5. Почву и воду в пикнометре кипятят 30 мин для удаления воздуха, не допуская бурного кипения, доливая дистиллированной водой по мере выкипания до половины объема. **Пикнометр капилляром не закрывают.**

6. После кипячения пикнометр с содержимым охлаждают до комнатной температуры и доливают прокипяченную и охлажденную воду до метки, закрывают капилляром, вытирают снаружи фильтровальной бумагой и взвешивают на аналитических весах. Нужно следить, чтобы температура пикнометра с водой и почвой и первоначальная температура пикнометра с

водой были одинаковыми.

Плотность твердой фазы вычисляют по формуле:

$$d = \frac{A}{(B + A) - C}$$

где d – плотность твердой фазы почвы, $\text{г}/\text{см}^3$, A – навеска сухой почвы;

$$A = \frac{100 \cdot a}{100 + W}$$

a – навеска воздушно – сухой почвы, г; W – гигроскопическая влажность, %;

B – масса пикнометра с водой, г; C – масса пикнометра с водой и почвой, г.

Пример расчета

Навеска воздушно - сухой почвы $a = 10$ г; гигроскопическая влажность $W_{\Gamma} = 5,18$ %. Находим навеску сухой почвы:

$$A = \frac{100 \cdot 10}{(100 + 5,18)} = 9,51 \text{ г.}$$

Масса пикнометра с водой $B = 143,4$ г. Масса пикнометра с водой и почвой $C = 149,15$ г.

Вычисляем плотность твердой фазы ($\text{г}/\text{см}^3$):

$$d = \frac{9,51}{(143,4 + 9,51) - 149,15} = 2,53$$

7.2. Плотность почвы

Плотность почвы (объемная масса)– масса единицы объема абсолютно сухой почвы, взятой в естественном сложении или отношение массы объема сухой почвы с ненарушенным сложением к занимаемому ею объему (d_v). Выражается в $\text{г}/\text{см}^3$.

Плотность почв определяется характером взаимного расположения в пространстве почвенных частиц и агрегатов и изменяется в широких пределах. В торфах, состоящих из растительных остатков разной степени разложения, она чаще всего равна $0,1-0,4 \text{ г}/\text{см}^3$, в гумусовых горизонтах минеральных почв – $1,0-1,35 \text{ г}/\text{см}^3$, в сильноуплотненных иллювиальных, глеевых, слитых и солонцовых горизонтах нередко достигает значений $1,7-1,9 \text{ г}/\text{см}^3$. Плотность почвы зависит от минералогического и гранулометрического состава, характера структуры и содержания органического вещества.

Плотность почвы возрастает по мере утяжеления гранулометрического состава, увеличения доли минералов тяжелой фракции (эпидот, гематит, амфиболы, пироксены и др.), снижения содержания гумуса и ухудшения структуры.

Плотность почвы является более вариабельным показателем, чем плотность твердой фазы. Она изменяется во времени и пространстве, особенно в верхних горизонтах, подвергающихся постоянному воздействию климатических, биологических и антропогенных факторов. Особенно

большое влияние на плотность оказывает обработка почвы и воздействие движущейся по поверхности почвы техники. Наиболее рыхлой почва бывает сразу после обработки (вспашка, культивация), а затем постепенно начинает уплотняться. Через некоторое время, которое определяется как внешними факторами, так и свойствами самой почвы (гранулометрический состав, степень оструктуренности), она достигает определенной плотности, мало изменяющейся во времени до следующей обработки. Такую постоянную плотность называют **равновесной**. Равновесная плотность является довольно устойчивым физическим показателем, обусловленным как генезисом почв, так и степенью их антропогенного изменения, т.е. степенью окультуренности или деградации. Равновесная плотность сложения почвы не всегда идентична оптимальной. Оптимальной считается такая плотность при которой обеспечивается благоприятный для растений водно-воздушный режим и нормальное развитие их корневой системы.

Почвы легкого гранулометрического состава (пески, супеси) чаще всего имеют плотность в пределах 1,3-1,5 г/см³.

Культурные растения предъявляют не одинаковые требования к этому параметру. Оптимальные показатели плотности основных типов почв для большинства сельскохозяйственных культур находятся в следующих интервалах: 1,1-1,3 г/см³ для глинистых, средне- и тяжелосуглинистых по гранулометрическому составу почв; 1,2-1,4 г/см³ для легкосуглинистых; 1,3-1,5 г/см³ для супесчаных и песчаных почв.

Величину плотности используют при вычислении скважности, количества воздуха, воды и питательных веществ в почве, поэтому отбор образцов проводят послойно на заданную глубину.

Сущность метода определения плотности почвы состоит в том, что с помощью стального цилиндра с заостренным снизу краем из почвы вырезают определенный объем почвы, не нарушая сложения. Взятый образец почвы взвешивают, высушивают и делят массу сухой почвы на объем цилиндра.

Определение плотности почвы

1. Определить объем рабочей части цилиндра по формуле $V = \pi \cdot r^2 \cdot h$, где $\pi = 3.14$, r – радиус цилиндра в см, h – высота рабочей части цилиндра в см.

2. Взвесить алюминиевый стаканчик с крышкой с точностью до 0,01 г.

3. На подготовленную ровную поверхность установить цилиндр, заглубить его рабочую часть, подрезать снизу для отделения от почвы, удалить лишнюю почву в верхней и нижней части цилиндра.

4. Перенести без потерь весь объем почвы в стаканчик, взвесить стаканчик с влажной почвой и высушить их до постоянного веса при 105°.

5. Охладить стаканчик с почвой (закрыв его крышкой) в эксикаторе до комнатной температуры и взвесить.

6. Вычислить плотность почвы (d_v) с точностью до 0,01 г/см³:

$$d_v = \frac{M}{V},$$

где M – масса абсолютно-сухой почвы с ненарушенным сложением, г;
 V – объем цилиндра, см³.

7.3. Пористость почвы

Между соприкасающимися элементарными почвенными частицами, микро- и макроагрегатами всегда имеются различного рода пустоты, которые называются порами. По почвенным порам перемещается вода с растворенными в ней веществами, в них содержится воздух. В почвенных порах размещаются микроорганизмы, простейшие и другая почвенная биота, по ним проникают корни и корневые волоски растений. Поэтому, общий объем порового пространства, размеры и конфигурация составляющих его пор являются одной из важнейших характеристик почвы.

Итак, **пористость почвы** – суммарный объем всех пор в единице объема почвы. Выражается общая пористость в % и рассчитывается по показателям плотности почвы (d_v) и плотности твердой фазы (d):

$$P_{\text{общ}} = \left(1 - \frac{d_v}{d}\right) \cdot 100$$

Формирование пористости почвы происходит в результате действия различных факторов: образования и разрушения структуры, упаковки и переупаковки почвенных частиц, микро- и макроагрегатов, растрескивания почвенной массы под влиянием попеременно действующих процессов нагревания-охлаждения и набухания-усадки, заполнения свободного пространства подвижным почвенным материалом, выщелачивания растворимых веществ, деятельности живых организмов.

Величина пористости зависит от гранулометрического состава и характера структуры, содержания гумуса и биогенности почвы, а в агроценозах от обработки и приемов окультуривания.

Пористость почвы зависит от влажности, гранулометрического состава, структуры содержания гумуса и биогенности почвы, а в агроценозах от обработки и приемов окультуривания.

При увлажнении почвы пористость уменьшается из-за набухания почвы. Глинистые почвы имеют больший объем пор, чем песчаные, а структурные - большую пористость, чем бесструктурные. У рыхлых почв величина пористости выше, чем у плотных.

Пористость почвы определяет ряд ее важнейших свойств и протекающих в ней процессов. С ней связаны биологические процессы в почвах, воздушный и водный режимы, водопроницаемость, влагоемкость, водоподъемная способность.

Так как количество и размер пор и пустот в почве различно, выделяют капиллярную, некапиллярную и общую пористость. Капиллярная пористость – это объем капиллярных промежутков, некапиллярная – это объем более крупных пор и пустот и общая – это сумма капиллярной и некапиллярной пористости.

В земледелии для создания оптимальной скважности используют различные приемы обработки почвы: вспашку, культивацию, боронование и др. По Н.А. Качинскому шкала оценки пористости (в %) имеет следующий вид:

Наилучшая	> 50
Хорошая	45 – 50
Удовлетворительная	40 – 45
Неудовлетворительная	< 40
Весьма плохая	< 30

При определении пористости или плотности почвы следует указывать, при какой влажности взяты образцы. Рекомендуется эти определения выполнять при влажности, соответствующей предельной полевой влагоемкости почвы, т.к. в сухих почвах не учитывается объем трещин, отчего объемная масса получается завышенной, а общая пористость – заниженной.

Пример расчета

Дано: плотность почвы (d_v) равна $1,18 \text{ г/см}^3$, плотность твердой фазы (d) – $2,58 \text{ г/см}^3$, влажность почвы (W) – $21,5\%$.

Находим общую пористость:

$$P_{\text{общ}} = \left(1 - \frac{1,18}{2,58}\right) \cdot 100 = 54,3\%$$

Вычисляем пористость аэрации:

Для этого необходимо найти объем пор, занятых водой (P_w), то есть установить содержание воды в объемных процентах. Эту величину определяем по формуле:

$$P_w = d_v \cdot W,$$

где W – полевая влажность почвы, %.

$$P_w = 1,18 \cdot 21,5 = 25,4 \%$$

Зная объем пор, занятых водой, легко вычислить пористость аэрации:

$$P_{\text{аэр}} = P_{\text{общ}} - P_w$$

$$P_{\text{аэр}} = 54,3 - 25,4 = 28,9 \%$$

Исходя из ориентировочной оценки значений пористости аэрации можно считать, что она несколько выше оптимальной.

7.4. Удельная поверхность

Важной характеристикой твердой фазы почвы является ее **удельная поверхность** – суммарная поверхность всех частиц почвы. Чаще всего она выражается в $\text{м}^2/\text{г}$. Общая удельная поверхность включает внешнюю и внутреннюю.

Внешняя поверхность обусловлена геометрической неоднородностью

поверхности почвенных частиц, проявляющейся в наличии выступов и изломов, а также различных полостей и трещин, глубина которых меньше их ширины. **Внутренняя поверхность** включает поверхности стенок всех трещин и полостей, глубина которых больше их ширины, но преимущественно обусловлена поверхностью межпакетных пространств минералов с расширяющейся кристаллической решеткой.

Удельная поверхность играет важную роль в формировании почвенного плодородия, поскольку многие процессы, протекающие в почвах во многом обусловлены величиной и свойствами поверхности их твердой фазы, ее геометрической и энергетической неоднородностью. Поверхность почвенных частиц – это арена взаимодействия почвы и корней растений, почвы и микроорганизмов. С величиной и качеством удельной поверхности почвенных частиц связаны явления поглощения минеральных и органических веществ, газов, парообразной и жидкой фазы, характер миграционных процессов, ряд физических и технологических свойств.

Показатели удельной поверхности находят широкое применение в различных целях: для качественной оценки почвенных новообразований, особенно органо-минеральной природы, быстрого ориентировочного определения содержания минералов с разбухающей кристаллической решеткой, для расчета давления почвенной влаги. С их помощью можно получить представление об особенностях почвообразовательного процесса и степени однородности почвенного профиля.

Определение удельной поверхности почвы по методу Кутелика

Ход анализа. Из образца почвы просеянной через сито 1 мм берут навеску воздушно-сухой почвы весом 3-5 г и помещают в стеклянные бюксы. Бюксы ставят в эксикатор с относительной упругостью водяных паров, равной 0,2. Такая упругость водяного пара создается над 58 %-ным раствором серной кислоты при температуре равной 20 °С или над насыщенным раствором ацетата калия. Эксикатор ставят в темное место. Через 2-3 дня пробы почвы взвешивают, а раствор кислоты меняют. Пробы выдерживают до тех пор, пока масса почвы при последующем взвешивании не изменится. После этого образцы высушивают до постоянной массы при температуре 105 °С. Величину удельной поверхности находят по формуле:

$$S \text{ м}^2/\text{г} = 3614 \cdot \frac{V_2 - V_1}{V_1 - V_0},$$

где: 3614 – расчетный коэффициент; V_0 – масса пустого бюкса, г; V_1 – масса бюкса с почвой высушенной при 105 °С, г; V_2 – масса бюкса с почвой, насыщенной парами воды, г.

Пример расчета

Вес пустого бюкса равен 10,2454 г, вес бюкса с почвой, насыщенной парами воды – 14,7672 г, а бюкса с высушенной почвой – 14,6488 г.

Величина удельной поверхности будет равна:

$$S = 3614 \cdot \frac{14,7672 - 14,6488}{14,6488 - 10,2454} = 97,2 \text{ м}^2/\text{г}$$

8. ВОДНЫЕ СВОЙСТВА ПОЧВ

Роль воды в почвообразовании исключительно велика и многообразна. С влажностью почвы функционально связаны протекающие в ней многочисленные химические и физико-химические реакции, новообразование минералов и процесс гумусообразования. Благодаря нисходящему движению влаги осуществляется миграция подвижных в конкретных геохимических условиях продуктов почвообразования, что ведет к дифференциации почвенного профиля на генетические горизонты. Особенно ярко это проявляется в почвах, формирующихся в условиях промывного типа водного режима (подзолистые, дерново-подзолистые и др.). При воздействии на почву минерализованных грунтовых вод развиваются такие негативные процессы, как засоление и осолонцевание, существенно снижающие почвенное плодородие. Вода выступает и как терморегулирующий фактор, в значительной степени определяя тепловой режим почв. С ее динамикой в почве тесно связан воздушный и окислительно-восстановительный режимы. Наряду с этим вода является одним из важнейших факторов выветривания горных пород, подготавливающего минеральную основу для почвообразования.

От влажности почвы в огромной степени зависит напряженность биологических процессов, а также рост и развитие зеленых растений. Так, сельскохозяйственные культуры для создания 1 г сухого вещества потребляют до 1000 г воды. С водой в растения поступают элементы минерального питания. Важно отметить, что растения нормально развиваются только при постоянном и достаточном количестве влаги в почве. Недостаток влаги в почве ведет к угнетению растений вплоть до их гибели. Вреден и избыток влаги в почве, поскольку при этом ухудшается ее воздушный режим, что оказывает отрицательное влияние на растения и жизнедеятельность аэробных микроорганизмов.

8.1. Влагоемкость почвы

Влагоёмкость почвы – это количество влаги, которое она способна удерживать от стекания сорбционными и капиллярными силами. Водоудерживающая способность почв зависит главным образом от количества гумуса и механического состава. Всякая почва в зависимости от свойств может удерживать в своем профиле строго определенное количество воды.

В зависимости от сил, которые удерживают влагу в почвах, различают максимальную адсорбционную влагоемкость /МАВ/, предельную полевую

влагоемкость /ППВ/, капиллярную влагоемкость /КВ/ и полную влагоемкость /ПВ/. Влагоемкость выражают в процентах от объема и массы, в миллиметрах и в кубических метрах на 1 га.

8.1.1. Определение предельной полевой влагоемкости по Н.А. Качинскому

Принцип метода. Предельная полевая влагоемкость (ППВ) – наибольшее количество воды, которое может удержать почва после стекания гравитационной влаги при глубоком залегании грунтовых вод. Синонимами предельно-полевой влагоемкости являются наименьшая влагоемкость (НВ).

Предельно-полевая влагоемкость – важнейшая характеристика водных свойств почвы. При влажности почвы, соответствующей ППВ вся система капиллярных пор заполнена водой, благодаря чему создаются оптимальные условия влагообеспеченности растений.

Предельно-полевая влагоемкость зависит от содержания гумуса, оструктуренности и гранулометрического состава почвы. В тяжелых по гранулометрическому составу, с высоким содержанием гумуса, хорошо оструктуренных почвах ППВ достигает 40-50%, в малогумусных песчаных – 5-10%.

При ППВ в почве находится максимальное количество доступной для растений влаги.

Значения ППВ используются в практических целях для расчетов максимальных запасов общей и продуктивной влаги, рациональных поливных норм, норм воды для промывки засоленных почв и т.д.

Метод Н.А.Качинского основан на увлажнении почвы (площадка 2x2 или 1x1 м) на заданную глубину (50 или 100 см) заранее рассчитанным количеством воды.

Пример расчета

Для расчета промачивания почвы на заданную глубину недалеко от площадки закладывают разрез и послойно, через 10 см, определяют плотность и отбирают образцы для определения плотности твердой фазы почвы и полевой влажности. Вычисляют по полученным данным общую пористость и фактический запас влаги.

Ход работы.

1. Выбрать типичную площадку, выровнять ее и перекопать.
2. Обваловать площадку размером 2x2 или 1x1 м двойным кольцом земляных валиков или установить две рамы, изготовленные из досок. Внешняя рама или валик служат для предохранения воды от бокового растекания из – под внутренней рамы. Расстояние между рамами или валиками должно быть 0,4 – 0,5 м.
3. Увлажнить почву до заданной глубины (0-50 или 0 – 100 см), исходя из рассчитанного количества воды. Воду заливать во внутреннюю раму

порциями; слой воды поддерживать толщиной 5 см. Во избежание заиливания воду следует лить на кусок доски или на лопату.

4. Снять рамы после впитывания всей воды, накрыть поверхность площадки пленкой и присыпать почвой.

5. Выдержать почву для стекания гравитационной влаги в течение одних суток для почв песчаных, супесчаных и легкосуглинистых и в течение суток для почв суглинистых и глинистых.

6. Удалить после указанного срока пленку или мульчу и в средней части площадки отобрать образцы почвы (буром или из разреза) через каждые 10 см во взвешенные стаканчики в трехкратной повторности до заданной глубины промачивания.

7. Взвесить стаканчики с влажной почвой, высушить до постоянного веса в сушильном шкафу при 105° и вычислить влажность, соответствующую предельной полевой влагоемкости /ППВ/ в процентах:

$$ППВ = \frac{b-c}{c-a} \times 100,$$

где а – масса пустого стаканчика, г;
 в – масса стаканчика с влажной почвой, г;
 с – масса стаканчика с абсолютно – сухой почвой, г.

Предельная полевая влагоемкость

Название почвы	Горизонт, глубина, см	№ стаканчика	В граммах				ППВ		
			а	b	с		в % от массы	в % от объема	в мм
					1	2			

8.1.2. Ускоренное определение полной и предельной полевой влагоёмкости по Кабаеву

Принцип метода. Навеску почвы в лабораторных условиях увлажняют из мерной пипетки до полного насыщения почвы и по количеству затраченной воды рассчитывают виды влагоёмкости.

Ход работы.

1. Воздушно - сухой образец почвы растирают и пропускают через сито с диаметром отверстий 0,25мм.
2. Отвешивают навеску почвы 5г и помещают в фарфоровую чашку, достигая равномерного распределения почвы лёгким постукиванием.
3. Из мерной пипетки, с ценой деления 0,1см³, увлажняют почву по каплям до появления на её поверхности, неисчезающей свободной капли воды. Полную влагоёмкость (ПВ) определяют по формуле:

$$ПВ = \frac{в \cdot 100}{С}, \quad \text{где}$$

в- количество воды, пошедшее на насыщение, г;
 С - навеска почвы, г.

Предельно - полевую влагоёмкость (ППВ) определяют по формуле:

$$ППВ = ПВ \cdot 0,43, \text{ где}$$

0,43 - коэффициент для пересчёта, установленный экспериментально для суглинистых и глинистых почв.

Оценка предельно-полевой влагоёмкости почв (Н.А. Качинский)

Тяжелые по гранулометрическому составу почвы		Легкие по гранулометрическому составу почвы
Влагоёмкость в % от веса сухой почвы	Оценка	
40-50	Наилучшая	Влагоёмкость культурной песчаной почвы в пахотном слое 20-25 %
30-40	Хорошая	
25-30	Удовлетворительная	Для полевых культур пригодны пески с влагоёмкостью не менее 10%
<25	Неудовлетворительная для пахотного слоя	Для лесных культур пригодны пески с влагоёмкостью не менее 3-5%

8.1.3. Расчет полной влагоёмкости (водовместимости) почв

Полная влагоёмкость (ПВ) – это максимально возможное количество воды, которое может вместить почва в состоянии полного насыщения влагой. Такое состояние насыщения будет наблюдаться в условиях, устраняющих отток воды из почвы, т.е. при наличии под изучаемым слоем почвы водоупора. Полная влагоёмкость представляет сумму прочносвязанной, рыхлосвязанной и свободной воды в почве.

При состоянии полной влагоёмкости все поры и пустоты внутри агрегатов и между ними заполнены водой, поэтому ПВ находится в прямой зависимости от пористости почвы, а, следовательно, от ее гранулометрического состава, структуры и строения профиля.

Существующие лабораторные методы определения ПВ не дают точного представления об этой величине вследствие вытекания части воды из почвы после насыщения при взвешивании, растворов некоторых веществ в капельножидкой воде и т.д., поэтому применяют расчетный метод.

В природе часто влажность бывает ниже ПВ из – за заземления в порах и трещинах некоторого количества воздуха, содержание которого может достигать 15 – 20% от полной порозности почв.

Вычисление ПВ проводят по общей пористости ($P_{\text{общ}}$):

$$ПВ = P_{\text{общ}} : d_v, \%$$

где, d_v –плотность почвы (г/см^3).

8.1.4. Расчет запасов влаги в почве

Запасы воды в отдельном горизонте или слое почвы определенной мощности определяют по формуле:

$$ЗВ = W \cdot d_v \cdot H,$$

Где: ЗВ - запас воды (м³/га) в определенном слое почвы;

W - влажность почвы, %; d_v - плотность почвы, г/см³;

H - мощность горизонта или слоя почвы, см.

В связи с тем, что выпадающие осадки измеряют в миллиметрах водного столба, целесообразно запасы влаги в почве выражать также и в этих единицах. Поскольку запас воды в 1 мм на площади 1 га соответствует 10 м³, то вычисления производят по формуле:

$$ЗВ_{мм} = W \cdot d_v \cdot H \cdot 0.1$$

Для определения запаса влаги в мм или м³/га в заданной толще почвы производят вычисления по отдельным горизонтам и суммируют полученные результаты для необходимого слоя:

$$ЗВ_{м3/га} = (W_1 \cdot d_{v1} \cdot H_1) + (W_2 \cdot d_{v2} \cdot H_2 + \dots + (W_n \cdot d_{vn} \cdot H_n),$$

Где ЗВ – запас влаги; W₁, d_v, H₁ – соответственно влажность, плотность и мощность первого слоя; W₂, d_{v2}, H₂ – второго и т.д.

При оценке запасов влаги в почве различают: общий запас влаги (ОЗВ), запас недоступной влаги (ЗНВ) и запас продуктивной влаги (ЗПВ).

Для расчета ОЗВ используют полевую или фактическую влажность почвы (ВП), которая не является постоянной величиной и характеризует влажность почвы в момент ее определения:

$$ОЗВ = (ВП_1 \cdot d_{v1} \cdot H_1) + \dots + (ВП_n \cdot d_{vn} \cdot H_n).$$

Общий запас влаги дает представление о количестве всей воды, содержащейся в почве, включая и недоступную для растений. Поэтому, после того, как найден общий запас влаги, рассчитывают запас недоступной влаги. Его вычисляют аналогично общему запасу, но с использованием значений влажности завядания в тех же горизонтах:

$$ЗНВ = (ВЗ_1 \cdot d_{v1} \cdot H_1) + \dots + (ВЗ_n \cdot d_{vn} \cdot H_n).$$

По разности между ОЗВ и ЗНВ находят продуктивную влагу в почве:

$$ЗПВ = ОЗВ - ЗНВ$$

Наивысшему увлажнению почвы в полевых условиях при свободном стоке гравитационной влаги соответствует предельно-полевая влагоемкость. Разница между ППВ и ВЗ представляет собой **диапазон продуктивной (активной) влаги (ДПВ)** в почве.

$$W_{ДПВ} = ППВ - ВЗ$$

Величина, равная разности между предельно-полевой влагоемкостью и фактической влажностью почвы в определенный момент времени, характеризует **дефицит влаги (ДВ)** в почве.

$$W_{\text{дв}} = \text{ППВ} - \text{ВП}$$

Диапазон активной влаги и дефицит влаги могут быть выражены как в %, так и м³/га и мм. Расчет их запасов проводят аналогично ОЗВ и ЗНВ, подставляя в формулу соответствующие показатели.

Пример расчетов запасов влаги

По данным таблицы определить фактический запас влаги, диапазон активной влаги, дефицит влаги в метровом слое почвы в м³/га и мм.

Водно-физические свойства почвы

Слой почвы, см	Плотность почвы – d_v , г/см ³	Максимальная гигроскопическая влажность – МГ, %	Влажность почвы – ВП, %	Предельно-полевая влагоемкость – ППВ, %
0-50	1,20	4,2	15,8	26,2
50-100	1,44	5,8	18,6	22,4

Сначала необходимо найти влажность завядания.

$$\text{Для слоя 0-50 см } ВЗ = 4,2 \cdot 1,5 = 6,3\%$$

$$\text{Для слоя 50-100 см } ВЗ = 5,8 \cdot 1,5 = 8,7\%$$

Запас недоступной влаги:

$$\begin{aligned} \text{ЗНВ} &= (6,3 \cdot 1,20 \cdot 50) + (8,7 \cdot 1,44 \cdot 50) = 378 + 626,4 = \\ &= 1004,4 \text{ м}^3/\text{га или } 100,44 \text{ мм.} \end{aligned}$$

Фактический запас влаги в почве равен:

$$\begin{aligned} \text{ЗВП} &= (15,8 \cdot 1,20 \cdot 50) + (18,6 \cdot 1,44 \cdot 50) = 948 + 1339,2 = \\ &= 2287,2 \text{ м}^3/\text{га или } 228,72 \text{ мм} \end{aligned}$$

Запас продуктивной влаги равен:

$$\text{ЗПВ} = 228,72 \text{ мм} - 100,44 \text{ мм} = 128,44 \text{ мм.}$$

Диапазон продуктивной (активной) влаги равен:

$$\text{для слоя 0-50 см: } W_{\text{дпв}} = 26,2 - 6,3 = 19,9\%$$

$$\text{для слоя 50-100 см: } W_{\text{дпв}} = 22,4 - 8,7 = 13,7\%$$

В м³/га это составляет:

$$\begin{aligned} \text{ДПВ} &= (19,9 \cdot 1,20 \cdot 50) + (13,7 \cdot 1,44 \cdot 50) = 1194,0 + 986,4 = \\ &= 2180,4 \text{ м}^3/\text{га или } 218,04 \text{ мм.} \end{aligned}$$

При полном заполнении всех пор капиллярно-подвешенной водой запас доступной для растений влаги в метровом слое почвы оценивается как очень хороший.

Дефицит влаги в почве составляет:

$$ДВ = 218,04 \text{ мм} - 128,44 \text{ мм} = 89,6 \text{ мм или } 896 \text{ м}^3/\text{га}.$$

9. ПОЧВЕННЫЙ РАСТВОР

Почвенный раствор представляет собой жидкую фазу почвы, содержащую растворенные соли, органические и органо-минеральные соединения, газы и коллоидные золи. Формирование почвенного раствора происходит за счет взаимодействия влаги, поступающей в почву, с ее твердой, газообразной и живой фазами. В образовании почвенного раствора принимает участие рыхлосвязанная и свободная вода. Прочносвязанная вода представляет собой так называемый нерастворяющийся объем почвенной влаги и не входит в состав почвенного раствора.

Содержание влаги в почвах может колебаться в очень широких пределах, соответственно этому изменяется и количество почвенного раствора – от десятков процентов, когда почвенная влага заполняет практически все поры почвы, до единиц или долей процентов при ее сильном иссушении.

Чаще всего почвенный раствор получают методом отпрессовывания или с помощью вытесняющей жидкости.

Наряду с этими методами для изучения водорастворимых компонентов почвы широкое применение получил метод водных вытяжек при различных соотношениях почва : вода (наиболее часто применяемое соотношение почва : вода = 1 : 5). Водная вытяжка может быть использована для решения различных задач, но в первую очередь она применяется при изучении засоленных почв, для которых является одним из основных видов анализа.

9.1. Краткий анализ водной вытяжки

Для изучения химического состава засоленных почв проводится анализ водной вытяжки из этих почв.

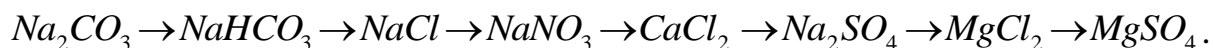
Засоленными считают почвы, содержащие сумму воднорастворимых солей более 0,1-0,3%. Эти соли делят на группы по их токсичности.

Вредные легкорастворимые нейтральные соли создают осмотически и токсически опасные концентрации для растений. К ним относят $NaCl$, $MgCl_2 \cdot 6H_2O$, $CaCl_2 \cdot 6H_2O$, $Na_2SO_4 \cdot 10H_2O$, $Na_2SO_4 \cdot 7H_2O$, $MgSO_4 \cdot 7H_2O$. Сульфаты менее токсичны, чем хлориды.

Вредные легкорастворимые щелочные соли, повышают pH почвы до величин, угнетающих, и вызывающих гибель растений: $NaHCO_3$, $Na_2CO_3 \cdot 10H_2O$, $MgCO_3 \cdot 3H_2O$.

Безвредные соли – $CaCO_3$, $CaSO_4 \cdot H_2O$, $Ca(HCO_3)_2$ не создают опасных концентраций для растений.

Вредные легкорастворимые соли делят, на хлориды, сульфаты и карбонаты. По степени вредности для растений их располагают по убывающему ряду:



При кратком, анализе водной вытяжки определяют сухой остаток (сумму солей), анионы HCO_3^- , Cl^- и SO_4^{2-} , катионы Ca^{2+} , Mg^{2+} , а Na^+ расчетным методом.

Полученные аналитические данные состава водной вытяжки выражают в % с точностью до 0,001 и в мг-экв. на 100 г почвы с точностью до 0,01.

По результатам анализа водной вытяжки определяют химизм и степень засоления, содержание токсичных ионов и солей и возможность осолонцевания почв.

9.1.1. Приготовление водной вытяжки

ХОД РАБОТЫ:

1. Отвесить на технических весах 50 г воздушно-сухой почвы, просеянной через сито диаметром в 1 мм.
2. Навеску переносят в полулитровую плоскодонную колбу и заливают пятикратным количеством (250 мл) дистиллированной воды.
3. Взбалтывают содержимое колбы 3 минуты и фильтруют содержимое через фильтр из плотной бумаги. Перед перенесением суспензии на фильтр ее еще раз хорошо взбалтывают для того, чтобы почвенные коллоиды забились поры фильтра. Первые мутные порции фильтрата возвращаются из приемной колбы обратно на фильтр.

Если фильтрация идет медленно, то определение щелочности и хлоридов проводят, когда соберется достаточное для этих анализов количество фильтрата.

В засоленных почвах, богатых легкорастворимыми солями и не содержащих натрия, фильтрация идет быстро и фильтрат получается прозрачным, т.к. соли коагулируют коллоиды. В щелочных почвах с небольшим количеством легко растворимых солей наблюдается пептизация коллоидов, которые забивают поры фильтра и снижают скорость фильтрации.

9.1.2. Определение сухого остатка

ПРИНЦИП МЕТОДА. Сухой (плотный) остаток – это общее содержание в почве минеральных и органических соединений. Количество сухого остатка в водной вытяжке служит для выявления степени засоления почв. Его определяют весовым методом.

ХОД РАБОТЫ:

1. Пипеткой отбирают 25 мл водной вытяжки и переносят ее в заранее просушенную и взвешенную на аналитических весах фарфоровую или алюминиевую чашку.
2. Чашку с вытяжкой устанавливают на водяную баню и содержимое выпаривают досуха.
3. После выпаривания чашку просушивают в сушильном шкафу при температуре 105°C в течение 1-2 часов.
4. Охлажденную в эксикаторе чашку с сухим остатком взвешивают на аналитических весах.
5. Величину сухого остатка рассчитывают в процентах по формуле:

$$A = \frac{a \cdot V \cdot 100}{v \cdot c},$$

где A - сухой остаток (%);

a - масса сухого остатка (г);

V - общее количество воды, взятой для приготовления водной вытяжки (250 мл);

100 - коэффициент перевода в проценты;

v - объем вытяжки, взятой на выпаривание (25 мл);

c - общая навеска почвы (50 г).

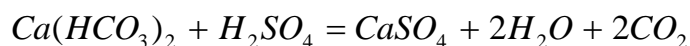
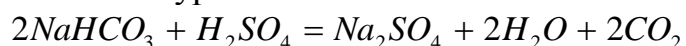
Результаты определения сухого остатка

Горизонт глубина, см	Объем фильтрата, взятый для выпаривания, мл (v)	Номер чашки	Масса пустой чашки, г	Масса чашки с осадком, г	Масса сухого остатка, г (a)	Сухой остаток, % (A)
----------------------	---	-------------	-----------------------	--------------------------	-----------------------------	----------------------

9.1.3. Определение общей щелочности

ПРИНЦИП МЕТОДА. Общую щелочность в водных вытяжках, выражаемую в ионах HCO_3^- определяют путем титрования определенного объема вытяжки кислотой в присутствии метилового оранжевого до перехода желтой (щелочная среда) окраски в оранжевую (розовую) (кислая среда, pH 4,4).

Реакция протекает по уравнению:



ХОД РАБОТЫ: 1. Отбирают пипеткой 25 мл водной вытяжки и помещают ее в коническую колбу на 100 мл.

2. Приливают в колбу 1-2 капли метилоранжа.

3. Титруют вытяжку 0,01 н раствором H_2SO_4 до слабо-розового окрашивания. Колба должна стоять на листе белой бумаги. Как только желтая окраска вытяжки изменится и слегка порозовеет, титрование заканчивают.

Общая щелочность выражается в мг-экв. на 100 г почвы и в процентах от массы воздушно-сухой почвы.

3. Вычислить общую щелочность:

$$а) HCO_3^- = \frac{a \cdot n \cdot V \cdot 100}{v \cdot c},$$

где HCO_3^- – общая щелочность, мг-экв. на 100 г почвы;

a – количество мл 0,01 н. раствора H_2SO_4 , пошедшее на титрование;

n – нормальность титрованного раствора H_2SO_4 ;

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

100 – коэффициент пересчета на 100 г почвы;

v – объем вытяжки, взятый для определения общей щелочности мл;

c – навеска почвы, соответствующая взятому для титрования, объему фильтрата, г.

$$в) HCO_3^- \% = \frac{HCO_3^- \text{ мг-экв.}}{1000} \cdot 61$$

где 61 – эквивалентная масса HCO_3^- ;

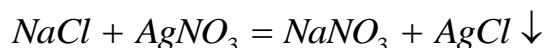
1000 – коэффициент пересчета в г.

Результаты определения общей щелочности

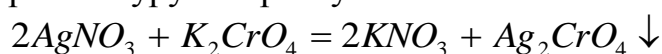
Гори-зонт, глубина, см	Навеска почвы, г, С	Объем фильтрата, мл		0,01 н. H_2SO_4		HCO_3^-	
		общий, V	для титрования, в	нормальность, н	пошло на титрование, мл, а	мг-экв. на 100 г почвы	%

9.1.4. Определение хлор-иона по методу Мора

ПРИНЦИП МЕТОДА. Представление о хлоридном засолении, дает анион – хлор. В основу метода определения хлора положена реакция его взаимодействия с ионами серебра в присутствии ионов хрома, выполняющих роль индикатора.



Когда хлор-ион полностью свяжется с серебром, образуется белый осадок, имеющий желтый цвет от ионов CrO_4^{2-} . Затем в реакцию вступают ионы хрома, которые образуют осадок хромата серебра, дающего в точке эквивалентности красно-бурую окраску:



Перед количественным определением хлор-иона необходимо провести качественную реакцию: в пробирку берут 5 мл вытяжки, подкисляют ее несколькими каплями 10% р-ра HNO_3 , прибавляют 2-3 капли 10% р-ра

$AgNO_3$ и перемешивают содержимое. По виду осадка определяют необходимый объем вытяжки:

№ п/п	Величина и вид осадка	Объем вытяжки для определения хлор-иона, мл
1	Большой хлопьевидный осадок	5
2	Сильная муть	10
3	Слабая муть	20-25
4	Опалесценция	50

При хлоридном засолении почв для анализа берут 5-10 мл вытяжки, которую следует разбавить перед добавлением K_2CrO_4 до 25 мл дистиллированной водой.

ХОД РАБОТЫ: 1. Взять необходимое количество водной вытяжки (5-50 мл) в коническую колбу на 100 мл.

2. Нейтрализовать фильтрат по красной лакмусовой бумаге. Лакмусовую бумагу бросают в колбу с фильтратом, и при ее посинении фильтрат нейтрализуют 0,01 н. раствором H_2SO_4 (из капельницы) при интенсивном помешивании до перехода окраски бумажки из синей в сиреневую. Нейтрализацию не проводят, если красная лакмусовая бумага в водной вытяжке сразу же приобретает сиреневый цвет.

3. Прибавить к вытяжке 1 мл 10% р-ра K_2CrO_4 , независимо от объема взятой для анализа вытяжки.

4. Оттитровать фильтрат 0,01 н. р-ром $AgNO_3$ до красно-бурого цвета.

5. Вычислить содержание хлор-иона:

$$Cl^- \text{ м.-экв.} = \frac{a \cdot n \cdot V \cdot 100}{v \cdot c} \quad Cl \% = \frac{Cl \text{ м.-экв.}}{1000} \cdot 35,45$$

где Cl^- – содержание хлора, мг-экв. на 100 г почвы;

a – количество 0,01 н. раствора $AgNO_3$, пошедшее на титрование, мл;

n – нормальность раствора $AgNO_3$;

V – общий объем фильтрата, мл;

100 – коэффициент пересчета на 100 г почвы;

v – объем вытяжки, взятый для определения хлор-иона, мл;

c – навеска почвы, соответствующая взятому для титрования объему фильтрата, г;

1000 – коэффициент для пересчета в г;

35,45 – эквивалентная масса хлора.

Результаты определения Cl^- – иона:

Горизонт, глубина, см	Навеска почвы, г	Объем фильтрата мл		0,01 н $AgNO_3$		Cl^-	
		общий V	для титро- вания, в	нормальность, н	пошло на титрование, мл, а	мг- экв. на 100 почвы	%

9.1.5. Гравиметрическое определение сульфат-иона

ПРИНЦИП МЕТОДА. Определение иона - SO_4^{2-} основано на получении осадка $BaSO_4$ при взаимодействии иона - SO_4^{2-} с 10% - м раствором $BaCl_2$ и последующим количественным определением массы осадка $BaSO_4$ на аналитических весах.

ХОД РАБОТЫ. 1. Отбирают пипеткой 25 мл водной вытяжки в стакан на 200 мл.

2. Подкисляют фильтрат 2 мл 10% раствора HCl и нагревают содержимое стакана до кипения. Осаждают анион SO_4^{2-} горячим 10% раствором $BaCl_2$, прибавляют его по каплям из пипетки в количестве 10 мл (берем с избытком). Содержимое стакана хорошо взбалтывают.

3. Закрывают стакан стеклом, кипятят на электроплитке 2-3 минуты и оставляют на 1-2 часа стоять в теплом месте для лучшей выкристаллизации соли $BaSO_4$.

4. Осадок отфильтровывают через плотный обеззоленный фильтр, промывают его горячей водой, слегка подкисленной 10% раствором HCl . Промывание заканчивают при исчезновении реакции на барий (проба с 10% H_2SO_4).

5. Фильтр с осадком подсушивают на воронке, помещают во взвешенный фарфоровый тигель и обугливают под тягой на электроплитке, а затем обугленный остаток прокаливают в муфеле до появления белого хлопьевидного осадка. Озоление производят в муфеле при температуре 600-700°C в течение 20-25 минут.

6. Вынимают тигель из муфеля, охлаждают в эксикаторе, взвешивают на аналитических весах и по разности между массой осадка с тиглем и массой пустого тигля находят массу прокаленного осадка $BaSO_4$.

$$SO_4^{2-} = \frac{a \cdot V \cdot 0.4114 \cdot 100}{v \cdot c},$$

где a - масса осадков в граммах;

V - общее количество воды, взятое для приготовления водной вытяжки;

0.4114 - коэффициент перевода $BaSO_4$ в SO_4^{2-} ;

100 - коэффициент для перевода в проценты;

v - объем вытяжки, взятой для определения SO_4^{2-} ;

c - навеска почвы (г).

Содержание SO_4^{2-} в мг-экв. на 100 г почвы вычисляют по формуле:

$$\frac{SO_4 \% \cdot 1000}{48.03}$$

9.1.6. Комплексометрическое определение ионов кальция и магния

Эта методика (принцип метода и ход работы) в значительной мере дублирует определение обменных форм кальция и магния (см. пункт 2.1).

ХОД РАБОТЫ. В коническую колбу на 100 мл берут 25 мл вытяжки, прибавляют 5 мл буферного раствора, индикатора хромогена черного на кончике стеклянной палочки и титруют 0,01 н раствором трилона Б при энергичном помешивании до перехода окраски от винно-красной до синей с зеленоватым оттенком. При прибавлении избытка трилона Б окраска больше не меняется и поэтому в качестве эталона может служить заведомо перетитрованная проба.

Вычисление результатов

Суммарное содержание кальция и магния рассчитывается по формуле:

$$X = \frac{a \cdot N \cdot V \cdot 100}{B \cdot C},$$

где X - сумма кальция и магния в мг-экв. на 100 г почвы;

a - количество мл раствора трилона Б, израсходованного на титрование;

N - нормальность трилона Б;

V - объем всей вытяжки;

B - объем вытяжки, взятой для титрования;

C - навеска почвы (г).

Определение кальция

1. Отбирают пипеткой 5, 10 или 25 мл вытяжки в зависимости от качественной пробы на Ca^{++} и помещают ее в коническую колбу на 100 мл.
2. Добавляют в колбу 2 мл 10% раствора KOH или $NaOH$ (для доведения pH раствора до 12) и вносят на кончике стеклянной палочки индикатор мурексид (0,2-0,3 г). Раствор окрашивается в ярко-розовый цвет.
3. Титруют содержимое колбы 0,01 н раствором трилона Б до перехода ярко-розовой окраски в фиолетовую (лиловую). Титровать нужно медленно при постоянном перемешивании содержимого.

Количество кальция вычисляют по формуле, приведенной для расчета суммы катионов кальция и магния, а для выражения результатов в процентах, полученная величина Ca^{++} в мг-экв. делится на 1000 и умножается на его эквивалентную массу (20).

Расчёт содержания Mg^{++} в мг-экв. :

$$C = A - B,$$

где C - содержание Mg^{++} в мг-экв. на 100 г почвы;
 A - содержание $Ca^{++} + Mg^{++}$ в мг-экв. на 100 г почвы;
 B - содержание Ca^{++} в мг-экв. на 100 г почвы.

Содержание Mg^{++} в процентах вычисляют по формуле:

$$Mg \% = \frac{C \cdot 12.16}{1000},$$

где C - содержание Mg^{++} в мг-экв. на 100 г почвы;
 12.16 - эквивалентная масса магния;
 1000 - коэффициент пересчета в граммы.

9.1.7. Определение ионов натрия расчетным методом

При массовых анализах почв натрий вычисляют по разности между суммой анионов и суммой катионов:

$$Na^+ \text{ мг-экв.} = \Sigma \text{ анионов (мг-экв.)} - (Ca^{2+} + Mg^{2+}) \text{ (мг-экв.)}$$

Для выражения содержания натрия в процентах необходимо:

$$Na \% = \frac{Na \text{ мг-экв.} \cdot 23}{1000},$$

где 23 – эквивалентная масса натрия;
 1000 – коэффициент для пересчета в г.

9.1.8. Оформление и проверка результатов анализа

Все данные по результатам анализа водной вытяжки заносят в сводную таблицу.

Таблица. Состав водной вытяжки (числитель – % от массы сухой почвы; знаменатель – мг-экв. на 100г почвы)

Почва	Горизонт, глубина, см	Сухой остаток, %	Анионы				Катионы			
			HCO_3^-	Cl^-	SO_4^{2-}	Σ	Ca^{++}	Mg^{++}	$\Sigma Ca+Mg$	Na по разности

Проверка точности результатов анализа водной вытяжки основана на сравнении величины сухого остатка с суммой всех ионов. При суммировании ионов необходимо брать половину содержания HCO_3^- , т.к. при определении сухого остатка половина углекислоты бикарбонатов переходит в газообразное состояние:



Если сухой остаток равен или на 3-5 % больше суммы всех ионов, то

считается, что анализ водной вытяжки выполнен с достаточной степенью точности.

На основании данных анализа водной вытяжки определяют химизм (тип) и степень засоления (солончаковатости), вычисляют количество токсичных ионов и солей.

9.1.9. Интерпретация данных водной вытяжки

Результаты анализа водной вытяжки используют для выявления глубины залегания солевых горизонтов, оценки степени и типа засоления почвы, направленности миграции солей в почвенном профиле.

Разделение почв по глубине залегания верхнего солевого горизонта и оценка солевого режима

К типичным представителям засоленных почв относятся солончаки (автоморфные и гидроморфные), характеризующиеся высоким содержанием солей в пределах всего профиля часто с максимумом их на поверхности, где они образуют солевую корку.

Кроме собственно солончаков в засушливых и аридных регионах засолению могут быть подвержены черноземы, каштановые, бурые полупустынные почвы, сероземы и их полугидроморфные аналоги. Особую группу засоленных почв представляют солонцы и солонцеватые почвы, в которых сопряжен солонцовый процесс с засолением.

В зависимости от глубины залегания первого солевого максимума, засоленные почвы на уровне рода подразделяются на солончаковые – соли в слое 0-30 см, высокосолончаковатые 30-50 см, солончаковатые – 50-100 см, глубокосолончаковатые – 100-150 см, глубокозасоленные – 150-200 см, потенциальнозасоленные – 200-300 см. Химизм (тип) засоления устанавливается по соотношению ионов в этих слоях. При малом варьировании химизма засоления в пределах почвенного профиля тип засоления устанавливается по средним показателям для расчетного слоя; при значительном – по верхнему засоленному горизонту с указанием химизма засоления более глубоких горизонтов.

По величине сухого остатка можно судить о характере **миграции** солей в почвенном профиле. Если максимум солей приурочен непосредственно к поверхности, а ниже по профилю величина сухого остатка существенно уменьшается, то такой характер солевого профиля свидетельствует о том, что почва находится на **первой** стадии засоления.

В том случае, когда величина сухого остатка наибольшая в верхней части почвы, а соли содержатся в значительных количествах (>1%) в пределах всего профиля, имеет место **прогрессивное** засоление. Такие почвы представляют собой мощные солончаки.

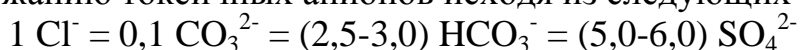
Если соли содержатся в значительных количествах во всем профиле, а величина сухого остатка самая высокая в его нижней части, то это

свидетельствует о начавшемся процессе **рассоления** почвы.

Оценка степени засоления почв по содержанию токсичных ионов

При одном и том же общем количестве солей, но различном их составе, почвы могут иметь разную степень засоления. Это обусловлено неодинаковой **токсичностью** для растений разных солей и ионов. Поэтому при агрономической оценке засоленных почв важнейшее значение приобретает качественный состав солей. И уже исходя из содержания токсичных ионов устанавливается степень и химизм засоления почвы. Количество и состав токсичных солей чаще всего определяют путем связывания ионов в гипотетические соли.

Более простой метод определения степени засоления почв основан на оценке "суммарного эффекта" влияния токсичных ионов. В этом случае не учитывается тип засоления почвы и используются данные только по содержанию токсичных анионов исходя из следующих соотношений:



Известно, что ионы обладают разной степенью токсичности, но "суммарный эффект" токсичных ионов принято выражать в эквивалентах хлора. Исходя из приведенного равенства следует, что 1 мг-экв. Cl^- в 10 раз менее токсичен для растений чем 1 мг-экв CO_3^{2-} и наоборот, в 2,5-3 раза более токсичен чем ион HCO_3^- и в 5-6 раз токсичнее, чем ион SO_4^{2-} . При определении степени засоления почвы по этому методу пользуются данными таблицы.

При засолении почв без участия гипса следует пользоваться низшими показателями "суммарного эффекта", а при в присутствии гипса – высшими.

Классификация почв по степени засоления с учетом "суммарного эффекта" токсичных ионов. (Н.И.Базилевич, Е.И.Панкова)

Степень засоления	"Суммарный эффект" токсичных ионов (CO_3^{2-} , HCO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-}), выраженный в мг-экв. Cl^-
Незасоленные	<0,3
Слабозасоленные	0,31-1,0 (1,5)
Среднезасоленные	1,1 (1,6) - 3,0 (3,5)
Сильнозасоленные	3,1 (3,6) - 7,0 (7,5)
Очень сильнозасоленные	> 7,0 (7,5)

Следовательно, согласно равенству «суммарный эффект» (СЭ) ионов в мг-экв. будет равен:

$$CЭ = \frac{Cl}{1} + \frac{CO_3}{0,1} + \frac{HCO_3}{2,5-3} + \frac{SO_4}{5-6}$$

При оценке степени засоления по «суммарному эффекту» принимают что вес ионов CO_3^{2-} и Cl^- относятся к токсичным. Ионы HCO_3^- и SO_4^{2-} могут

входить в состав токсичных и нетоксичных солей ($\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$, CaSO_4). Для нахождения количества токсичных ионов HCO_3^- и SO_4^{2-} поступают следующим образом.

В начале определяется возможное содержание ионов HCO_3^- , связанных с кальцием. При содержании в водной вытяжке даже следов соды с кальцием можно связывать не более 0,6 мг-экв. HCO_3^- . При отсутствии в водной вытяжке CO_3^{2-} , но при наличии высокой общей щелочности ($> 1,4$ мг-экв./100 г почвы HCO_3^-) количество HCO_3^- связанное с кальцием также не превышает 0,6 мг-экв на 100 г почвы. Оставшиеся ионы HCO_3^- относят к токсичным.

Если содержание ионов HCO_3^- в водной вытяжке меньше 1,4 мг-экв. на 100 г почвы, то сначала они связываются с кальцием в соль $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$. Если после этого ионы HCO_3^- еще остаются, то они считаются токсичными, а если все связаны с Ca^{2+} , то токсичных ионов HCO_3^- нет. Связывание ионов Ca^{2+} с HCO_3^- и в последующем с SO_4^{2-} проводится в эквивалентных отношениях, то есть тому или иному количеству Ca^{2+} (в мг-экв.) соответствует аналогичное количество HCO_3^- (SO_4^{2-}).

Если после связывания с HCO_3^- не остается свободных ионов Ca^{2+} , то все ионы SO_4^{2-} относят к токсичным. При наличии свободных ионов Ca^{2+} они связываются с эквивалентным количеством ионов SO_4^{2-} . Все оставшиеся несвязанными с Ca^{2+} ионы SO_4^{2-} считаются токсичными.

Пример расчета

Для расчетов воспользуемся данными таблицы с учетом того, что гипс в данных горизонтах отсутствует.

Данные анализа водной вытяжки (мг-экв. на 100 г почвы)

Почва	Глубина образца, см	CO_3^-	HCO_3^-	Cl^-	SO_4^{2-}	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^+
Солонец каштановый средненатриевый	0-10	нет	1,21	0,59	0,17	1,15	0,12	0,70
	50-60	нет	0,23	2,53	23,88	5,00	10,66	10,98
	80-90	0,17	0,87	6,37	10,19	3,50	4,92	9,18

Слой 0-10 см. В этом слое нет ионов CO_3^- , а содержание ионов HCO_3^- меньше 1,4 мг-экв., следовательно нет ограничений при связывании ионов Ca^{2+} и HCO_3^- .

$$1,15 \text{ мг-экв } \text{Ca}^{2+} + 1,15 \text{ мг-экв } \text{HCO}_3^- = 2,30 \text{ мг-экв } \text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$$

Из общего количества ионов HCO_3^- (1,21 мг-экв) свободным осталось – 1,21 мг-экв. – 1,15 мг-экв. = 0,06 мг-экв., которое и будет относиться к токсичным.

Поскольку весь Ca^{2+} связан в соль $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$, то все ионы SO_4^{2-} также следует отнести к токсичным. Токсичный эффект будет складываться из

суммарного действия ионов Cl^- , SO_4^{2-} и части ионов HCO_3^- .

$$CЭ = 0,59(Cl^-) + \frac{0,06(HCO_3^-)}{2,5} + \frac{0,17(SO_4^{2-})}{5} = 0,65 \text{ мг-экв.}$$

Согласно таблице (стр. 62) в данном горизонте отмечается слабая степень засоления.

Слой 50-60 см. Ограничений по связыванию ионов HCO_3^- и Ca^{2+} нет, причем токсичные ионы HCO_3^- отсутствуют, поскольку полностью связаны в нетоксичную соль $Ca(HCO_3)_2$.

$$0,23 \text{ мг-экв } HCO_3^- + 0,23 \text{ мг-экв. } Ca^{2+} = 0,46 \text{ мг-экв } Ca(HCO_3)_2$$

Свободным осталось 4,77 мг-экв. ионов Ca^{2+} (5,00 – 0,23), которые связываются с ионами SO_4^{2-} в другую нетоксичную соль – $CaSO_4$.

$$4,77 \text{ мг-экв } Ca^{2+} + 4,77 \text{ мг-экв. } SO_4^{2-} = 9,54 \text{ мг-экв. } CaSO_4$$

Оставшееся количество ионов SO_4^{2-} – 19,11 мг-экв. (23,88 – 4,77) относится к токсичным.

Токсичный эффект будет складываться из суммарного действия ионов Cl^- и части ионов SO_4^{2-} .

$$CЭ = 2,53(Cl^-) + \frac{19,11(SO_4^{2-})}{5} = 6,35 \text{ мг-экв.}$$

Согласно таблице (стр. 62) в данном горизонте отмечается сильная степень засоления.

Слой 80-90 см. В данном горизонте присутствуют ионы CO_3^- поэтому с Ca^{2+} можно связать только 0,6 мг-экв. HCO_3^- .

$$0,6 \text{ мг-экв } Ca^{2+} + 0,6 \text{ мг-экв. } HCO_3^- = 1,2 \text{ мг-экв. } Ca(HCO_3)_2$$

Остальные 0,27 мг-экв. HCO_3^- (0,87 – 0,6) относятся к токсичным. Свободные 2,90 мг-экв. Ca^{2+} (3,50-0,60) связываются с ионами SO_4^{2-} :

$$2,90 \text{ мг-экв } Ca^{2+} + 2,90 \text{ мг-экв. } SO_4^{2-} = 5,8 \text{ мг-экв } CaSO_4$$

Оставшееся количество ионов SO_4^{2-} – 7,29 мг-экв. (10,19-2,90) входит в состав токсичных солей.

Суммарный токсичный эффект будет складываться из ионов CO_3^- , Cl^- и частично из ионов HCO_3^- и SO_4^{2-} :

$$CЭ = 6,37(Cl^-) + \frac{0,17(CO_3^{2-})}{0,1} + \frac{0,27(HCO_3^-)}{2,5} + \frac{7,29(SO_4^{2-})}{5} = 9,64 \text{ мг-экв.}$$

Горизонт характеризуется очень сильной степенью засоления.

Наиболее эффективным приемом удаления солей и опреснения почв является промывка. Нормы расхода воды на промывку засоленных почв зависят от степени засоления, влажности, механического состава и глубины залегания грунтовых вод.

Перед проведением промывки необходимо решить две задачи: 1). Вычислить количество солей (по сухому остатку, % в расчетном (промываемом) слое почвы:

$$S = a \cdot d \cdot h$$

где S – количество солей, т/га;

a – сухой остаток, %;

d – плотность почвы, г/см³ ;

h – мощность слоя, см..

2) Рассчитать промывную норму с дренажем по формуле Л.П.Розова:

$$M = ППВ - m + n \cdot ППВ$$

где M – промывная норма, м³/га;

ППВ – предельная полевая влагемкость расчетного слоя, м³/га ;

m – запас воды в том же слое перед промывкой, м³/га;

n – коэффициент, зависящий от степени и характера засоления, равный от 0,5 до 3,0. Чем тяжелее почва и чем больше она засолена, тем выше этот показатель.

Для промывок засоленных почв В.Р.Волобуев рекомендует следующие нормы воды:

При содержании солей в сухом остатке, %	0,5-1,0	1,0-1,5	1,5-2,0	2,0-3,0
Промывная норма, м ³ /га	3250	5250	7200	10250

В почвах с натриевым засолением после промывок возможно проявление процесса осолонцевания. Чтобы избежать его, с промывными водами следует вносить гипс. Контролировать этот процесс можно, исходя из следующего соотношения катионов:

Отношение катионов
мг-экв. на 100 г почвы

$$\frac{Na + K}{Ca + Mg} < 1$$

$$\frac{Na + K}{Ca + Mg} = 1-4$$

$$\frac{Na + K}{Ca + Mg} > 4$$

Осолонцевание почв при
орошении и при промывках

Исключено

Возможно

Неизбежно

Отношение различных растений к засолению неодинаково. Несолеустойчивые растения (кукуруза, фасоль, лук, картофель, капуста, яблоня и др.) могут давать максимальный урожай только на незасоленных почвах. Средне солеустойчивые (люцерна, томаты, морковь, перец, виноград и др.) – на незасоленных, слабо- и средnezасоленных почвах и лишь солянки могут расти на сильнозасоленных почвах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бридько Ю.И. Методические указания по изучению водно-физических свойств почв/ Ю.И. Бридько. – Краснодар: КубГАУ, 1983 – 50с.
2. Вальков В.Ф. Почвоведение (почвы Северного Кавказа): учеб. для вузов / В.Ф.Вальков, Ю.А. Штомпель, В.И. Тюльпанов. – Краснодар: Сов. Кубань, 2002. – 728с.
3. Вальков В.Ф. Почвоведение: Учебник для вузов / В.Ф. Вальков, К.Ш. Казеев, С.И. Колесников. – М.: ИКЦ «МарТ», Ростов н/Д: Издательский центр «МарТ», 2004. – 496с.
4. Классификация и диагностика почв СССР. М., Колос, 1977
5. Мамонтов В.Г. Общее почвоведение / Мамонтов В.Г. [и др.]. – М.: КолосС, 2006. – 456с.
6. Муха В.Д. Агрочесоведение / В.Д. Муха, Н.И. Картамышев, Д.В. Муха. - М.: КолосС, 2004. - 528с.
7. Почвоведение под ред. И.С. Кауричева. М., Агропромиздат, 1989.
8. Практикум по почвоведению (почвы Северного Кавказа): учеб. пособие для вузов. – Краснодар: Советская Кубань, 2003. – 328 с.

У ч е б н о е и з д а н и е

**Терпелец Виктор Иванович,
Слюсарев Валерий Никифорович**

**АГРОФИЗИЧЕСКИЕ И АГРОХИМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ
ИССЛЕДОВАНИЯ ПОЧВ**

Учебно-методическое пособие

В авторской редакции

Подписано в печать _____ 2016 г. Формат 60×84^{1/8}
Усл. печ. л. 8,1 Уч-изд. л.2,9
Тираж экз. Заказ №

Редакционный отдел и типография
Кубанского государственного аграрного университета.
350044, г. Краснодар, ул. Калинина, 13