

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего профессионального образования
Пермская государственная сельскохозяйственная академия
имени академика Д.Н. Прянишникова

И.А. Самофалова, Ю.А. Рогизная

**ЛАБОРАТОРНО-ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАНЯТИЯ
ПО ХИМИЧЕСКОМУ АНАЛИЗУ ПОЧВ**

Пермь 2013

УДК 631.4
ББК

Самофалова И.А. Лабораторно-практические занятия по химическому анализу почв: учебное пособие / И.А. Самофалова, Ю.А. Рогизная; М-во с.-х. РФ, ФГБОУ ВПО Пермская ГСХА. – Пермь: Изд-во ФГБОУ ВПО Пермская ГСХА, 2013. – 133 с.

Рецензенты:

доктор биологических наук, доцент **А.Б. Умарова** (Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова);

кандидат сельскохозяйственных наук, доцент **Н.М. Мудрых** (Пермская государственная сельскохозяйственная академия имени академика Д.Н. Прянишникова)

Учебное пособие предназначено для проведения лабораторно-практических занятий по дисциплине «Химический анализ почв» для студентов, обучающихся по специальности 021900 «Почвоведение». «Химический анализ почв» является федеральным компонентом цикла общепрофессиональных дисциплин, федеральный компонент ОПД.Ф.11.

Учебное пособие помогает систематизировать знания по химическому анализу почв. В пособии изложены методики определения вещественного состава почв, валовой анализ минеральной и органической части почв, приведены лабораторные работы и задания, справочные материалы по проведению аналитических работ.

Содержание

Введение	5
1. Особенности почвы как объекта химических исследований и показателя химического состава почв	6
2. Элементный (валовой) состав почвы	10
2.1 Отбор и подготовка средней лабораторной и аналитических почвенных проб к анализу	11
2.2 Определение гигроскопической влаги	13
2.3 Определение потери при прокаливании	15
2.4 Разложение почвы сплавлением	18
2.5 Выщелачивание плава водой и разложение карбонатов кислотой	21
2.6 Методы анализа продуктов разложения почв	21
2.7 Определение оксида кремния желатиновым методом	23
2.8 Анализ фильтрата от кремниевой кислоты	25
2.9 Аммиачный метод определения суммы полуторных оксидов	25
2.10 Определение валового содержания железа	28
2.11 Определение валового содержания кальция и магния	29
2.12 Определение валового содержания марганца	32
2.13 Определение валового содержания оксида титана	34
2.14 Определение валового содержания фосфора	36
2.15 Определение валового содержания калия и натрия	38
2.16 Способы выражения элементного состава почвы	42
2.17 Эколого-генетическая оценка валового состава почв	47
2.18 Обработка результатов валового анализа	53
3. Валовой анализ органической части почвы	59
3.1 Определение углерода органических соединений	58
3.1.1 Метод И.В. Тюрина в модификации Симакова	60
3.1.2 Метод И.В. Тюрина в модификации Никитина	61
3.1.3 Метод И.В. Тюрина в модификации Антоновой	63
3.2 Определение содержания общего азота в почве	63
3.3 Определение общего содержания углерода и азота в торфяных почвах	65
3.4 Вычисление массовой доли гумуса (%) в почве и отношение C: N	67
4. Вещественный состав почвы	73
4.1 Определение карбонатов	73
4.2 Определение гипса	77
4.3 Анализ водной вытяжки почв	79
4.3.1 Методика получения водной вытяжки и определение реакции среды	79
4.3.2 Определение суммы водорастворимых веществ (сухой остаток)	81
4.3.3 Определение общей суммы минеральных водорастворимых веществ (прокаленный остаток)	82
4.3.4 Качественное определение содержания ионов и реакции вытяжки	83
4.3.5 Определение общей кислотности водной вытяжки	84

4.3.6	Определение щелочности от растворимых карбонатов	85
4.3.7	Определение щелочности водной вытяжки	86
4.3.8	Определение хлор-иона	87
4.3.9	Определение сульфат-иона	88
4.3.10	Определение водорастворимого кальция и магния	90
4.3.11	Определение калия и натрия	92
4.3.12	Интерпретация данных водной вытяжки из засоленных почв	93
	Словарь терминов	104
	Литература	114
	Приложения	116
1.	Кислотно-основные индикаторы	117
2.	Коэффициенты пересчёта	118
3.	Типы строения профилей	119
4.	Индивидуальные задания по элементному составу почв	120
5.	Показатели состояния органического вещества пахотного слоя почв (% к массе сухой почвы)	122
6.	Индивидуальные задания по органической части почв	122
7.	Содержание карбоната кальция по реакции почвы с 10 % HCl	126
8.	Множитель пересчёта грамм – ионов в миллиграмм - эквивалентах	127
9.	Группировка почв по химизму засоления	128
10.	Классификация почв по степени засоления в зависимости от химизма засоления	129
11.	Роды почв по глубине залегания солевого максимума	130
12.	Деление типов и подтипов солонцов на роды и виды	130
13.	Индивидуальные задания по вещественному составу почв	131

ВВЕДЕНИЕ

Химический анализ почв является одним из наиболее важных средств познания природы, генезиса и плодородия почв. Благодаря большому значению химического анализа почв, ему на всех этапах развития почвоведения уделялось большое внимание.

В начале XX века важный вклад в развитие теоретических основ и методов исследования почв внес К.К. Гедройц (1906). В 1923 году вышла в свет его книга «Химический анализ почв», которая неоднократно переиздавалась. В ней систематизированы и теоретически обоснованы методы химического анализа почв, оценено влияние различных факторов на результаты анализа, рассмотрены основы их интерпретации.

Во второй половине XX в. в издательстве МГУ вышла книга Е.В. Аринушкиной «Руководство по химическому анализу почв» - настольная книга нескольких поколений почвоведов, в настоящее время являющаяся библиографической редкостью. В 1995 и 1998 годах в Московском и Санкт-Петербургском государственных университетах вышли учебное пособие и учебник с одноименным названием «Химический анализ почв» (Растворова О.Т. и др., 1995; Воробьева Л.А., 1998). В 2006 году преподаватели обоих вузов объединили свои усилия и выпустили совместную монографию «Теория и практика химического анализа почв».

В предлагаемом учебном пособии обсуждаются общие теоретические и методические вопросы химического анализа почв, методы определения элементного, группового и вещественного состава почв.

Целью дисциплины «Химический анализ почв» является изучение теоретических основ анализа почв и овладение техникой его выполнения.

Задачи дисциплины: 1) ознакомить студентов с особенностями химического анализа почв, с системой показателей химического состояния почв, методами определения их уровней и приемами интерпретации полученных результатов; 2) научить студентов технике выполнения химического анализа почв.

«Химический анализ почв» преподается после курсов общей химии, аналитической химии и почвоведения, которые являются основой для изучения студентами особенностей химического анализа почв и интерпретации полученных результатов. Изучение курса «Химический анализ почв» является основой выполнения экспериментальной части курсовых и дипломных работ для студентов.

В результате освоения «Химического анализа почв» студент *должен знать* систему показателей химического состояния почв, особенности почвы как объекта химического анализа, показатели химических свойств почвы и химических почвенных процессов, методы определения элементного, вещественного, группового и фракционного состава почв; *должен уметь* выбирать показатели и методику для характеристики химического состояния почв, проводить химический анализ почв, интерпретировать полученные результаты, определять уровни показателей свойств почв; *иметь навыки* техники выполнения химического анализа почв, первичной обработки экспериментальных данных, приемов исследования химического состояния почв; *владеть техникой* вычислений, методами оценки показателей свойств почвы, знаниями по выбору методик для определения минеральных и органоминеральных продуктов почвообразования.

1. ОСОБЕННОСТИ ПОЧВЫ КАК ОБЪЕКТА ХИМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПОКАЗАТЕЛИ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ПОЧВ

Почву изучают как природное образование, состоящее из атомов различных химических элементов и в процессе исследования, определяют их содержание. Это атомный или элементный уровень изучения состава почв. Кроме того изучают состав почв и на ионном и молекулярном уровнях.

Особенности почвы как химической системы:

- 1) **Полихимизм** почв. В почвах один и тот же элемент может входить в состав разных соединений: легкорастворимых солей, сложных алюмосиликатов, органоминеральных веществ. Одно и то же вещество может быть в разных состояниях. Эти компоненты обладают разными свойствами, от которых зависит способность химического элемента переходить из твердых фаз почвы в жидкую, мигрировать в профиле почвы, ландшафте, потребляться растениями и др. Эти показатели позволяют диагностировать почвенные процессы, исследовать трансформацию химического элемента в процессе почвообразования, при внесении удобрений и техногенном загрязнении, оценивать плодородие и мелиоративные особенности почв.
- 2) **Гетерогенность** почв. В составе почвы выделяют твердую, жидкую, газовую фазы. Почва представляет собой многофазную систему с развитыми и неоднородными поверхностями раздела, на которых происходят процессы сорбции и десорбции.
- 3) **Полидисперсность** почв. Твердые фазы почв состоят из частиц разного размера от крупинок песка до коллоидных частиц диаметром в несколько микрометров. Они неодинаковы по составу, обладают разными свойствами и влияют на химические и физические свойства почв.
- 4) **Органо-минеральные взаимодействия** – одна из наиболее специфичных почвенных особенностей. В почвах формируются не только простые и комплексные соли, но и сложные адсорбированные комплексы, состоящие из минералов и органических веществ.
- 5) **Кислотно-основные и окислительно-восстановительные свойства**. В состав почв входят компоненты, проявляющие свойства кислот и оснований, окислителей и восстановителей. При решении теоретических и прикладных проблем почвоведения, агрохимии, мелиорации определяют показатели, характеризующие кислотность и щелочность почв, их окислительно-восстановительное состояние.
- 6) **Динамичность почвенных процессов**. Для природных почв характерны суточная, сезонная, годовая и вековая динамика. Изменения происходят непрерывно, что заставляет трансформировать классические химические представления и понятия, например, о буферности почв.
- 7) **Пространственная неоднородность** – неотъемлемое свойство почв, обусловленное исходной пространственной неоднородностью факторов почвообразования (первичная неоднородность); она может нарастать по мере развития почвообразовательного процесса (вторичная неоднородность).
- 8) **Вариабельность, буферность химических свойств**. Свойства почв неодинаковы даже в пределах одного и того же генетического горизонта. При исследовании процессов формирования почвенного профиля оценивают химические свойства отдельных компонентов организации почвенной массы. Почвы обладают способностью противостоять изменению своих свойств, то есть проявляют буферность.

9) **Неравновесность состояний и термодинамическая необратимость процессов.**

Почва – открытая термодинамическая система, через которую непрерывно протекает поток энергии и вещества. Это не позволяет достичь равновесных состояний, что усугубляется и своеобразной кинетикой почвенно-химических процессов, в которых сочетаются очень быстро и крайне медленно протекающие реакции.

10) **Изменение свойств почв.** В почвах непрерывно происходят разнообразные процессы, которые приводят к изменению химических свойств почв. Могут изменяться химические свойства даже изолированных почвенных проб при их высушивании, растирании, просто при хранении. Например, высушивание увеличивает подвижность калия, оказывая сильное влияние на состояние калия в горизонтах, которые не подвергаются высушиванию в реальных почвенных условиях. Так высушивание почвенных проб из пахотного горизонта увеличило содержание подвижного калия с 10,3 до 12,9 мг/100г почвы. В то же время высушивание пробы из подпахотного горизонта (25-35 см) увеличило содержание подвижного калия в 2 раза, а проб из горизонта, залегающего на глубине 75-85 см – почти в 4 раза. Возможное изменение свойств почвенных проб необходимо принимать во внимание при оценке химического состояния реальных почв.

11) **Разнокачественность состава почв.** Разные типы, виды и разновидности почв могут иметь такие разные свойства, что для их химической характеристики используют не только разные аналитические приемы, но и разные наборы показателей.

Перечисленные особенности почв обуславливают принципиальные основы методов исследования химического состояния почв, номенклатуру и классификацию показателей химических свойств почв и химических почвенных процессов.

В состав почв входят разнообразные соединения – легко и труднорастворимые соли, комплексные соединения, силикаты и алюмосиликаты, неспецифические и специфические органические соединения. Часть элементов присутствует в почве в виде ионов, сорбированных на поверхности частиц, почвенного поглощающего комплекса.

В связи со сложностью химического состава почв среди его показателей выделяют несколько групп:

- a. Показатели элементного состава минеральной части почв.
- b. Показатели элементного состава органической части почв.
- c. Показатели группового (фракционного) состава соединений химических элементов минеральной части почв.
- d. Показатели группового и фракционного состава гумуса.
- e. Показатели вещественного состава минеральной части почв.
- f. Показатели вещественного состава органического вещества почв.

В обобщенном виде система показателей химического состава почв и единицы, используемые для их выражения, приведена в таблице 1.

Для оценки уровней показателей химических свойств почв и химических почвенных процессов используют единицы физических величин (система единиц СИ) (Орлов Д.С., 1982).

1) Единицы массы – килограммы (кг). Дольные единицы-граммы (г) и миллиграммы (мг).

2) Массовая доля компонента в почве (W):

$$W \text{ компонента} = (m \text{ компонента} / m \text{ компонента системы}) \cdot 100 \%$$

Результаты анализа выражают:

- а) в процентах – % (сотая доля);
- б) в промиллях – ppt (тысячная доля);

- в) в миллионных долях – ppm.
- 3) Достаточно часто применяют единицы, характеризующие выраженную в миллиграммах массу компонента, содержащегося в 1 кг или в 100 г почвы: мг × кг⁻¹, мг/кг, мг/100 г почвы.
- 4) Единица количества вещества – моль. Дольные единицы:
 децимоль (дмоль), моль 10⁻¹;
 сантимоль (смоль), моль 10⁻²;
 миллимоль (ммоль), моль 10⁻³;
 микромоль (мкмоль), моль 10⁻⁶.
- 5) Молярная масса вещества – М (г/моль).
- 6) Молярная концентрация – С_м (моль/л).

Например, с помощью единиц количества вещества результаты анализа почвы с массовой долей сульфат-ионов, равной 0,48 % (W (SO₄²⁻) = 0,48 %), могут быть выражены: 50 ммоль (SO₄²⁻) • кг⁻¹, 5 смоль (SO₄²⁻) или 5 ммоль (SO₄²⁻)/100 г почвы.

Таблица 1

Основные показатели химического состава почв (Воробьева Л.А., 1998)

Показатели	Единицы
1. Показатели элементного состава почв	
<i>1.1 Показатели элементного состава минеральной части почв</i>	
1.1.1 Массовая доля, или валовое содержание химического элемента в почве	%, мг/кг
1.1.2 Количество вещества химического элемента в почве	смоль/кг, моль/кг, мкмоль/кг, моль/100 г
1.1.3 Массовая доля и количество вещества химического элемента в составе гранулометрических фракций, новообразований и других элементов организации почвенной массы	%, мг/кг, смоль/кг, моль/кг, мкмоль/кг, моль/100 г
1.1.4 Запас химического элемента в горизонте или слое почвы	т/га, кг/м ² , моль/га, моль/м ² , мкмоль/м ²
<i>1.2 Показатели элементного состава органической части почв</i>	
1.2.1 Массовые доли С, N, H, S	%
1.2.2 Массовая доля гумуса	%
2. Показатели группового и фракционного состава соединений химических элементов в почвах	
<i>2.1 Показатели группового (фракционного) состава соединений химических элементов минеральной части почв</i>	
2.1.1 Содержание (массовая доля) групп (фракций) соединений химических элементов (Si, Al, Fe, P, Mn и др.)	%, мг/кг, мкг/кг
2.1.2 Доля фракции химического элемента от его общего содержания в почве	%
<i>2.2 Показатели группового и фракционного состава гумуса</i>	
3. Показатели вещественного состава почв	
<i>3.1 Показатели вещественного состава минеральной части почвы</i>	
3.1.1 Массовая доля и количество вещества карбонатов (или СО ₂ карбонатов)	%, смоль/кг, моль/100 г
3.1.2 Массовая доля и количество вещества гипса в почвенном горизонте	%, смоль/кг, моль/100 г
3.1.3 Массовая доля и количество вещества ионов легкорастворимых солей в почвенном горизонте	%, смоль (экв)/кг, моль (экв)/100 г
3.1.4 Плотный или сухой остаток	%
3.1.5 Сумма токсичных солей в почвенном горизонте	%, моль (экв)/100 г
<i>3.2 Показатели вещественного состава органического вещества почв</i>	
3.2.1 Массовая доля восков, смол и других компонентов в составе неспецифических органических веществ	%
3.2.2 Массовая доля специфической части органического вещества	%

Методы определения валового состава минеральной части почвы и почвенного органического вещества существенно отличаются друг от друга, так как основаны на разных принципах. Вследствие этого их рассматривают отдельно. В основе методов определения элементного состава минеральной части почвы обычно лежат реакции, приводящие к переводу химических элементов из твердофазных соединений в растворимое состояние, тогда как элементный анализ органического вещества обычно основан на реакциях окисления органических соединений с образованием газообразных.

Показатели элементного состава характеризуют общее содержание химических элементов в почвенной массе или в выделенных из нее гранулометрических фракциях, новообразованиях и пр. Показатели вещественного состава дают информацию о содержании в почве индивидуальных химических соединений или их известных совокупностей, а группового или фракционного состава соединений химических элементов в почвах – о содержании близких по свойствам, например, по растворимости, групп соединений того или иного химического элемента.

Принципы систематизации показателей внутри трех выделенных групп неодинаковы. Каждая из рубрик показателей элементного состава объединяет столько конкретных показателей, сколько химических элементов присутствует в объекте исследования – почвах, новообразованиях, гранулометрических фракциях. Выделение в системе отдельного показателя, характеризующего содержание каждого конкретного химического элемента в различных почвенных составляющих, нецелесообразно, так как набор этих показателей однотипен для всех химических элементов.

В то же время в рассматриваемой системе в перечень показателей вещественного и группового состава соединений химических элементов в почвах включены индивидуальные показатели. Это связано с тем, что если не каждый из этих показателей, то некоторые их совокупности специфичны для изучаемого химического элемента и позволяют оценить разные аспекты его состояния в почвах или решить вопросы диагностики, классификации или использования почв.

В номенклатуру показателей химического состава почв не включены показатели, характеризующие содержание химических элементов разных степеней окисления. Тогда как именно они позволяют оценить трансформацию соединений тех химических элементов, которые в зависимости от окислительно-восстановительного состояния почв проявляют разную степень окисления. В настоящее время эти вопросы разработаны слабо и не находят широкого применения.

Показатели химического состава почв имеют самостоятельное значение и служат основой для получения многих других показателей свойств почв и почвенных процессов (кривые распределения компонентов в почвенном профиле, коэффициенты аккумуляции солей и адсорбируемости ионов и т.п.).

Вопросы

1. В чем состоят особенности почвы как объекта химических исследований?
2. Почему показатели химического состава разделены на три группы?
3. Назовите показатели элементного состава почв.
4. Назовите показатели группового и фракционного состава элементов в почвах.
5. Назовите показатели вещественного состава почв.

6. Какие единицы используют для оценки уровней показателей химических свойств почв и химических почвенных процессов?

2. ЭЛЕМЕНТНЫЙ (ВАЛОВОЙ) СОСТАВ ПОЧВЫ

Показатели элементного состава характеризуют общее содержание каждого из химических элементов в массе почвы или в массе выделенных из нее гранулометрических фракций, новообразований и пр. независимо от того в виде каких соединений элементы присутствуют в анализируемых объектах.

Валовым или элементным составом почвы называют общее содержание в почве каждого из химических элементов.

Общим или валовым содержанием химического элемента называют суммарное содержание в почве химического элемента, входящего в состав всех имеющихся в почве его химических соединений.

Валовым анализом называют совокупность аналитических приёмов и методов анализа, позволяющих определить валовое (общее) содержание химических элементов в почве.

В почвоведении и смежных науках (геохимия, геология, агрохимия) результаты валового анализа минеральной части почв принято выражать в массовых долях (масса элемента или его оксида на единицу массы почвы). В зависимости от содержания химических элементов в почвах используют проценты (%), миллиграммы на килограмм (мг/кг, млн-1, ppm) или микрограммы на килограмм (мкг/кг, млрд-1, ppb).

Представление результатов валового анализа в виде массовых долей оксидов элементов в высшей степени окисления связано с двумя причинами. Во-первых, так сложилось исторически с тех пор, когда валовое содержание ряда элементов определяли в основном гравиметрическим методом. В этом случае гравиметрической формой определяемого вещества действительно часто был оксид.

Во-вторых, такой вид представления результатов позволяет оценить правильность выполнения валового анализа. Сумма массовых долей высших оксидов всех химических элементов в прокаленной навеске пробы должна составлять 100%. При валовом анализе почв сумма массовых долей оксидов главных структурообразующих элементов – кремния, алюминия, железа, кальция, магния, калия, натрия, титана, марганца, фосфора – обычно составляет более 99% от массы прокалённой навески. Остальные химические элементы в сумме составляют менее одного процента.

Результаты валового анализа не позволяют сделать вывод о содержании в почве отдельных соединений химических элементов или их групп. Для их определения существуют специальные методы анализа. Однако результаты валового анализа используют, в тех случаях, когда необходимо оценить долю отдельных соединений химического элемента от его общего содержания в почве.

Результаты валового анализа используют в следующих целях:

1. Для выявления сходства и различий в химическом составе исследуемых почв в целях изучения их генезиса.
2. Для изучения почвообразовательных процессов, приводящих к перераспределению химических элементов между почвенными горизонтами, почвами и почвообразующими породами, почвами сопряженных ландшафтов.
3. Для контроля химического загрязнения почв, приводящего к изменению их элементного состава.

Для выявления различий в валовом составе, вызванных естественными почвообразовательными или антропогенными процессами, производят сравнение результатов анализа почвенных проб.

При этом необходимо соблюдать следующие условия:

1. Сравнимые почвы должны быть сформированы на одинаковых по составу породах. В этом случае различия в валовом составе будут связаны либо с изменениями породы в ходе почвообразования, либо с антропогенным воздействием.
2. При различном содержании в сравниваемых пробах органического вещества необходимо вносить поправку на его содержание. Особенно важно это при сравнении валового состава минеральной части верхних органогенных и подстилающих их минеральных почвенных горизонтов.

2.1 Отбор и подготовка средней лабораторной и аналитических почвенных проб к анализу

Взятая для анализа первичная почвенная проба неоднородна по составу. Тем не менее, состав отдельных, подготовленных к анализу почвенных проб и навесок должен соответствовать среднему содержанию элементов в первичной почвенной пробе в целом, то есть навески должны быть представительными (Воробьева Л.А., 1995), в связи с этим необходимо взять среднюю лабораторную почвенную пробу.

Ошибки, обусловленные отбором аналитических проб и навесок, называются ошибками представительности. Ошибка представительности возрастает с ростом размера частиц и уменьшением массы навески.

Высокая степень измельчения почвы требуется, когда анализируемая навеска мала. Поэтому для определения гумуса и азота размер частиц навески уменьшается до диаметра 0,25 мм. При анализе навесок массой менее 5 г почву измельчают до диаметра частиц не более 0,5 мм, при навесках 5 г и более можно анализировать почвенные пробы с диаметром частиц до 2 мм.

Средняя лабораторная проба. Отбор средней лабораторной пробы проводят методом квартования. Для этого первичную почвенную пробу помещают на лист чистой бумаги и удаляют большие корни, включения, новообразования. Крупные почвенные агрегаты измельчают пестиком с резиновым наконечником непосредственно на бумаге или в фарфоровой ступке до размера 5-7 мм. Затем почву хорошо перемешивают, распределяют на бумаге ровным слоем или придают ей усеченного конуса, затем делят шпателем по диагонали на четыре равные части. Две противоположные части высыпают в картонную коробку, а из оставшейся на бумаге средней лабораторной почвенной пробы берут аналитические пробы для различных видов анализа.

Аналитическая проба для определения углерода и азота. Среднюю лабораторную почвенную пробу равномерно распределяют на бумаге слоем мощностью около 5 мм. Крупные структурные агрегаты уменьшают шпателем на бумаге или пестиком в ступке. Затем почву распределяют на бумаге и делят на квадраты со стороной 3-4 см, проводя шпателем вертикальные и горизонтальные линии. Из каждого квадрата на всю глубину слоя берут с помощью шпателя небольшое количество почвы и помещают ее в пакетики из кальки. Масса пробы должна быть не менее 7-10 г. Если она окажется меньшей, то среднюю лабораторную пробу на бумаге перемешивают, снова делят на квадраты и берут дополнительное количество почвы в пакетик. Из взятой аналитической пробы почвы тщательно удаляют корни

и другие органические остатки при помощи пинцета, просматривая почву под лупой. Чтобы корни не оставались внутри структурных отдельностей, которые разламывают пестиком или шпателем.

После отбора органических остатков почву просеивают через сито с отверстиями диаметром 0,25 мм. Оставшуюся на сите почву переносят в ступку, измельчают, растирают и снова просеивают. Операцию повторяют до тех пор, пока все частицы не пройдут через отверстие в сите. Аналитические почвенные пробы хранят в пакетиках из кальки.

Аналитическая проба для других анализов. Оставшуюся часть от средней лабораторной почвенной пробы измельчают в фарфоровой ступке с помощью пестика и просеивают через сито с отверстиями диаметром 1 или 2 мм. Растирание и просеивание проводят до тех пор, пока на сите не будут оставаться только частицы скелета почвы.

Почвенные пробы хранят в банках с притертой пробкой, в коробках или пакетиках. Воздух помещений, в которых хранят почвенные пробы, не должен содержать кислот и аммиака. Почвенные пробы никогда не хранят в лабораториях.

Аналитическая проба для валового анализа почв. Почву, просеянную через сито с отверстиями диаметром 1-2 мм, рассеивают равномерно на листе бумаги, делят на квадраты и составляют еще одну аналитическую пробу массой 5-7 г, которую небольшими порциями растирают в агатовой, халцедоновой или яшмовой ступке до состояния пудры (в этом состоянии почва не царапает кожу). Подготовленные аналитические пробы для валового анализа хранят в пакетиках из кальки.

Пакеты, коробки, банки, в которых хранят почвенные пробы, должны быть подписаны и снабжены этикетками.

Лабораторная работа № 1. Подготовка образца почвы к химическому анализу

Приборы и материалы: технические весы с разновесами; почвенные сита с отверстиями диаметром 0,25 мм, 1,0 мм; фарфоровая, агатовая или яшмовая ступка; пинцет; лупа; листы кальки для отобранных проб; почвенный образец; шпатель и лопатка.

Ход определения

1. Взять навеску предварительно высушенного образца почвы массой 600-800 г. Разместить ее на листе бумаги, с помощью пинцета и лупы удалить крупные корни, новообразования и включения.
2. Провести квартование почвенного образца.
3. Взять среднюю лабораторную пробу.
4. Взять аналитическую пробу для определения углерода и азота $m=10$ г. Тщательно удалить корни и др. органические остатки. Просеять почву через сито с диаметром отверстий 0,25 мм. Оставшуюся на сите почву перенести в ступу, растереть и снова просеять. Операцию повторять до тех пор, пока все частицы не пройдут через сито. Подготовленную пробу поместить в пакетик из кальки.
5. *Аналитическая проба для определения рН, обменных катионов, легкорастворимых солей и др. анализов.* Оставшуюся часть средней лабораторной почвенной пробы измельчить в ступке, просеять через сито с диаметром отверстий 1-2 мм. Пробу ($m=300$ г) хранят в банке с притертой крышкой, коробках или пакетах.
6. *Аналитическая проба для валового анализа почв.* Почву, просеянную через сито с отверстиями диаметром 1-2 мм, распределить равномерно на листе бумаги, разделить шпателем на квадраты и составить еще одну аналитическую пробу

$m=5-7$ г. Почву небольшими порциями растереть в агатовой (яшмовой) ступке до состояния пудры. Подготовленную пробу сложить в пакетик из кальки. Пакеты, коробки, банки, в которых хранятся почвенные пробы, должны быть подписаны и снабжены этикетками.

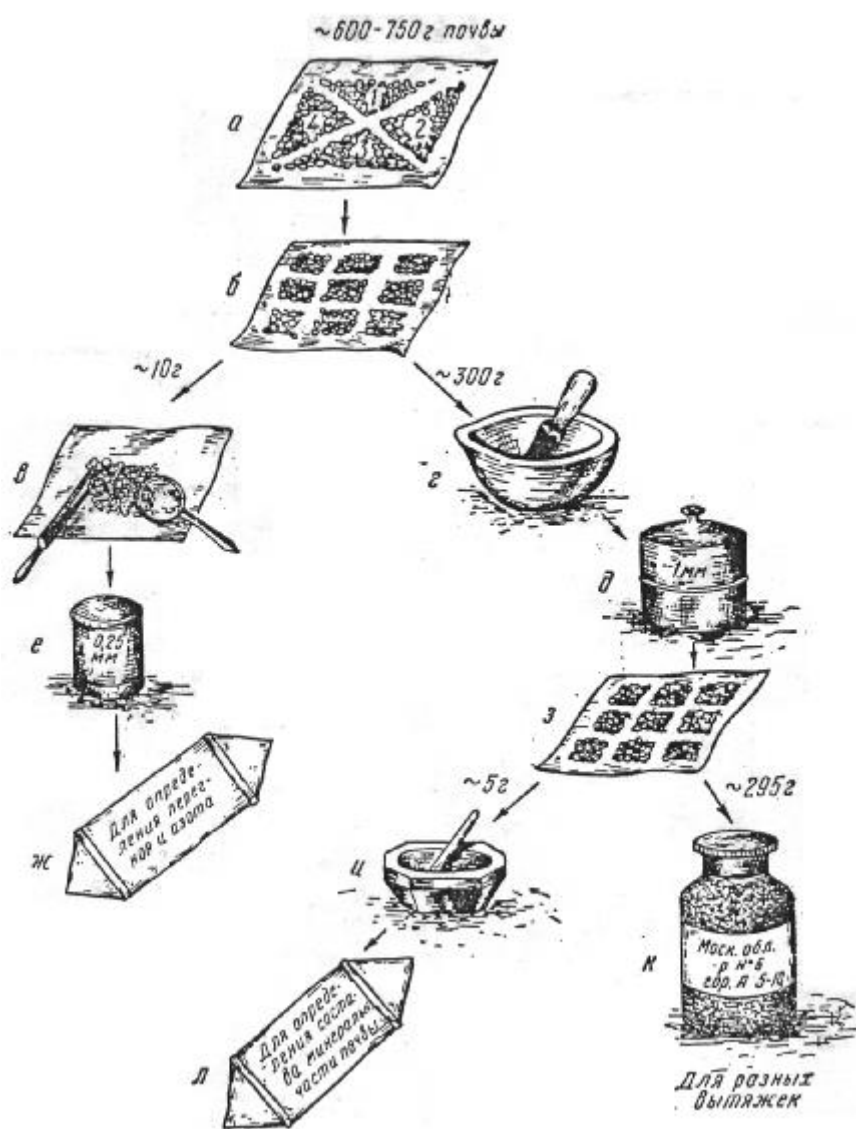


Рис.1 Схема подготовки почвы к химическому анализу: а- квартование почвенного образца; б- взятие лабораторной пробы для определения углерода и азота; в- отбор корешков; е - просеивание через сито с отверстиями диаметром 0,25 мм; ж – хранение пробы, подготовленной для определения углерода и азота; г- измельчение образца почвы в фарфоровой ступке; д- просеивание через сито с отверстиями диаметром 1 мм; з – взятие лабораторной пробы на разложение почвы; и- растирание пробы в халцедоновой или агатовой ступке до пудры; л – хранение подготовленной для разложения почвы; к – хранение образца почвы, просеянного через сито с отверстиями диаметром 1 мм.

2.2 Определение гигроскопической влаги

Анализируют воздушно-сухие почвенные пробы, которые содержат влагу, связанную со способностью почвы, как тонкодисперсного тела, сорбировать паробразную влагу из окружающего воздуха. Эта влага может быть удалена из воз-

душно-сухой почвы при температуре 100-105°C. Эту влагу называют гигроскопической.

Массовая доля гигроскопической влаги неодинакова в разных почвах и зависит от гранулометрического, химического, минералогического составов почв и состояния окружающего воздуха. Чтобы исключить влияние гигроскопической влаги на результаты анализа почв, их выражают на высушенную при 100-105°C почву. Зная содержание гигроскопической влаги, можно:

а) по массе воздушно-сухой почвы рассчитать соответствующую ей массу высушенной почвы;

б) по массовой доле (%) компонента в воздушно-сухой почве рассчитать его массовую долю (%) в высушенной почве.

Для осуществления этих расчетов используют соответствующие коэффициенты K_w и K_w^{-1} . При их расчете за 100 % принимают массу не воздушно-сухой почвы, а высушенной при 105°C, т.е. сухой почвы (абсолютно-сухой почвы). Тогда, чтобы найти массу сухой почвы, величину навески воздушно-сухой почвы умножают на коэффициент K_w . Чтобы рассчитать коэффициент K_w , позволяющий по массе воздушно-сухой почвы найти соответствующую ей массу сухой почвы, составим пропорцию: обозначим массовую долю гигроскопической влаги через $W(\%)$, массу воздушно-сухой почвы через $m_{вс}$, а массу сухой почвы через m_c . Приняв за 100 % массу сухой почвы, получим: $m_c - 100\%$; $m_{вс} - (100 + W)\%$.

Тогда, $m_c = (m_{вс} - 100) / (100 + W)$, а коэффициент K_w для расчета массы сухой почвы по известной массе воздушно-сухой почвы будет иметь вид:

$$K_w = 100 / (100 + W).$$

Этот коэффициент удобно использовать в тех случаях, когда в одной навеске почвы определяют несколько компонентов, например при валовом анализе почв.

В тех случаях, когда навеску почвы используют для определения только одного компонента (например, углерода или азота) можно вычислить коэффициент, с помощью которого результат анализа, вычисленный на воздушно-сухую почву, пересчитывают на сухую почву. Так как при расчете массовой доли любого компонента величина навески всегда находится в знаменателе расчетного уравнения, то коэффициент, позволяющий результаты анализа, выраженные на воздушно-сухую почву, отнести к почве сухой равен величине, обратной K_w :

$$K_w^{-1} = 1 / K_w = (100 + W) / 100$$

Лабораторная работа № 2. Определение гигроскопической влаги

Приборы и материалы: сушильный шкаф, техно-химические весы, аналитические весы, эксикатор, щипцы с резиновыми наконечниками, почвенный образец.

Ход определения

1. Для определения гигроскопической влаги в почве берут одинаковые небольшие стеклянные бюксы диаметром 2,5-3 см, высушивают их с открытыми крышками в термостате при 100-105°C до постоянного веса (30-40 мин). Охлажденные в эксикаторе бюксы взвешивают с начала на технических весах, затем на аналитических. Операцию повторяют до тех пор, пока вес бюкса не будет изменяться. Вес бюкса устанавливают с точностью до 0,0001 г.

2. Из лабораторной пробы отбирается в бюкс 2-5 г воздушно-сухой почвы, пропущенной через сито с отверстиями 0,25 мм, взвешивают на технических, а затем на аналитических весах и помещают в термостат, нагретый до 100-105°C. Крышка бюкса должна быть снята и поставлена вертикально на стакан.

3. Через 3 часа бюксы вынимают щипцами с резиновыми наконечниками, охлаждают в эксикаторе и взвешивают на аналитических весах. В эксикаторе для сушки воздуха находится H_2SO_4 (конц.) или безводный $CaCl_2$. После этого почву высушивают еще 1 час, охлаждают и снова взвешивают.

Если результат второго взвешивания отличается от первого не более, чем на 0,002 г, высушивание прекращают.

Если после второго высушивания вес оказался больше, высушивание тоже не повторяют, а берут меньший вес, т.е. результат первого взвешивания.

Если вес продолжает убывать, то почву высушивают еще в течение 1 часа.

Многочисленный опыт позволяет считать, что выдерживание почвы в течение 5 часов при 100-105⁰С приводит к полной потере гигроскопической влаги, поэтому почву выдерживают в течение 5-6 часов при этой температуре, а затем бюксы закрывают, охлаждают в эксикаторе и взвешивают.

4. Расчет массовой доли гигроскопической влаги (%) проводят по уравнению:

$$W, \% = [(a-b) \times 100] / b,$$

где, a – масса воздушно-сухой почвы, г; b – масса сухой почвы, г;

Внимание!!! При расчете за 100 % принимают массу сухой почвы.

5. Результаты любого химического анализа, вычисленные на воздушно-сухую навеску, пересчитывают на абсолютно сухую навеску, умножая процентное содержание искомого химического элемента или соединения на коэффициент K_w ($K_w < 1$) или K_w^{-1} (равен величине обратной K_w , $K_w^{-1} > 1$).

Таблица 2

Форма записи результатов

Почва, глубина, см	№ бюкса	Масса, г					W, %	K
		пустого бюкса	бюкса с почвой до высушивания	бюкса с почвой после высушивания	сухой почвы	испарившейся воды		

2.3 Определение потери при прокаливании

Потери при прокаливании (ППП) – убыль в весе при нагревании почвы до 900⁰С. При прокаливании почва теряет адсорбированную или химически связанную воду, гумус, CO_2 карбонатов, адсорбированные газы и частично хлориды.

Величиной потери пользуются для вычисления общего содержания минеральных веществ в почве, для вычисления содержания химически связанной воды и для пересчета содержания элементов минеральной части почвы на прокаленную навеску.

Для почвоведов важно не только получить правильные результаты анализа, но и уметь грамотно интерпретировать их. В процессе почвообразования происходит дифференциация почвенного профиля на генетические горизонты. Эта дифференциация обусловлена перераспределением химических соединений. Оценить процессы перемещения веществ в пределах почвенной толщи, помогает валовой анализ почв. При его проведении определяют общее, или валовое содержание элемента в почве. Результаты валового анализа могут быть выражены в процентах на сухую почву, но часто их представляют в процентах на прокаленную почву. Пересчет результатов анализа на прокаленную почву считается крупным усовершен-

ствованием, облегчившим интерпретацию результатов анализа проб, взятых из почвенного профиля по генетическим горизонтам.

Потеря при прокаливании некарбонатных почв включает гумус и химически связанную воду, т.е. группы ОН, входящие в состав молекул и при прокаливании удаляющиеся в виде Н₂О. Содержание химически связанной воды может дать ценные сведения о минералогическом составе почв, особенно при анализе илистой и коллоидной фракции. Содержание химически связанной воды вычисляют, вычитая из потери при прокаливании (%) массовую долю (%) гумуса. При анализе карбонатных почв в потерю от прокаливании входит также СО₂ карбонатов, при анализе засоленных почв – хлориды.

В таблице 3 приведены результаты расчета валового анализа почвы, выраженные в процентах на сухую и прокаленную почву.

Таблица 3

Результаты валового анализа дерново-сильнопodzолистой почвы (%)
(Роде А.А., 1971)

Горизонт	На сухую почву			На прокаленную почву
	ППП	гумус	SiO ₂	SiO ₂
A ₁	8,83	4,31	68,90	75,58
E	4,07	0,92	72,04	75,12
EB	3,74	0,39	69,15	71,83
B ₁	4,79	0,30	63,39	66,59

Результаты анализа, выраженные на сухую почву, свидетельствуют о более низком содержании SiO₂ в гор. А₁ по сравнению с гор. Е. Пересчет результатов анализа на прокаленную почву показывает, что содержание SiO₂ в этих горизонтах практически одинаково. Полученная разница связана с тем, что в первом случае результаты анализа выражены на почвенную массу в целом, которая в горизонте А₁ «разбавлена» гумусом (см. табл. 3), а во втором – на минеральную часть почвы и поэтому показывают практически одинаковое содержание SiO₂. Таким образом, пересчет результатов анализа на прокаленную почву свидетельствует, что обеднение горизонта А₁ кремнием относительно, оно связано с накоплением в этом горизонте гумуса. Не только накопление гумуса, но и перераспределение и аккумуляция относительно подвижных карбонатов кальция затрудняют интерпретацию результатов валового анализа, не позволяют оценить распределение в почвенном профиле минеральных компонентов, особенно полуторных оксидов. При анализе карбонатных почв делают пересчет на бескарбонатную навеску; иногда результаты анализа выражают в процентах на безгумусную навеску.

Чтобы осуществить пересчет на прокаленную почву, результаты анализа, выраженные на сухую почву, умножают на коэффициент: $K=100/(100 - \text{ППП})$, где ППП – потеря при прокаливании, выраженная в процентах на сухую почву.

Для пересчета результатов анализа на безгумусную и бескарбонатную почву, их умножают на коэффициент:

$$K= 100 / (100 - [\text{гумус}] - [\text{CaCO}_3]),$$

где [гумус] и [CaCO₃] – массовые доли гумуса и CaCO₃, выраженные в процентах на сухую почву. На этот коэффициент умножают результаты определения всех химических элементов, кроме кальция, так как результат определения валового содержания кальция представляет собой сумму кальция карбонатов и кальция, вхо-

дящего в состав силикатов и других соединений. На коэффициент K умножают массовую долю (%) некарбонатного кальция, которую вычисляют по разности между общим количеством кальция в почве и кальцием, входящим в состав карбонатов.

Лабораторная работа № 3. Определение потери при прокаливании

Приборы и материалы: муфельная печь, муфельные щипцы, аналитические весы, фарфоровый тигель, эксикатор.

Ход определения

1. Довести фарфоровый тигель до постоянного веса высушиванием в сушильном шкафу.
2. На аналитических весах взять в фарфоровом тигле 1 г почвы, пропущенной через сито с отверстиями 0,25 мм.
3. Тигель с навеской почвы ставят в холодную муфельную печь, нагревают ее до 900°C и прокаливают почву при этой температуре 1 час, считая время с момента установления требуемой температуры.
4. Тигель вынимают из муфеля, охлаждают в эксикаторе.
5. Взвешивают на аналитических весах. Прокаленная почва гигроскопична, поэтому взвешивание производят до сотых долей грамма, после чего повторяют прокаливание 10-20 минут и после охлаждения вновь взвешивают тигель. При этом сначала на правую чашку весов ставят все необходимые разновесы и только после этого вынимают тигель из эксикатора, быстро ставят на весы и устанавливают точный вес прокаленной почвы.
6. Результаты записывают в таблицу 4.
7. Величину потери при прокаливании выражают в % от высушенной почвы и вычисляют по формуле:

$$ППП \% = [(a - b)100 \cdot K_w] \cdot a - W \%, \text{ где}$$

a – навеска воздушно-сухой почвы, г;

b – масса прокаленной почвы;

$(a-b)$ – масса летучих компонентов, удаленных из почвы при прокаливании, г;

$W\%$ – массовая доля гигроскопической влаги;

K_w – коэффициент пересчета результатов анализа на сухую навеску.

Вычисление содержания химически связанной воды

Химически связанная вода (ХСВ) представлена кристаллизационной и конституционной. Кристаллизационная вода удаляется из почвы при нагревании до 300°C, конституционная начинает высвобождаться при нагревании выше 300°C и полностью удаляется из почвенных минералов при 800-850°C.

В бескарбонатных почвах за содержание химически связанной воды принимают разность между величиной потери при прокаливании и содержанием гумуса. В карбонатных почвах из величины ППП вычитают еще и содержание CO_2 карбонатов.

Содержание химически связанной воды используют для пересчета результатов валового анализа на безводную почву. В почвах с элювиально-иллювиальной дифференциацией профиля максимальное содержание этой воды приурочено к горизонтам накопления ила и полуторных оксидов (обычно гор. Bt, Vf), минимальное – к горизонту накопления кремнезема (A_2 , E, EL).

Содержание химически связанной воды вычисляют по формуле:

- 1) для карбонатных почв: $\% ХСВ = \% ППП - (\% \text{ гумуса} + \% CO_2 \text{ карбонатов});$

- 2) для безкарбонатных почв: $\% ХСВ = \% ППП - \% \text{ гумуса}$;
 3) для безгумусовых почв: $\% ХСВ = \% ППП - \% \text{ CO}_2 \text{ карбонатов}$.

Вычисление общего содержания минеральных веществ в почве

Общее содержание минеральных веществ называют также минеральным (МО) или прокаленным остатком (ПО). В органогенных горизонтах ПО называют *зольностью*. Общее содержание минеральных веществ в почве узнают по разности, вычитая из 100 % общего содержания всех компонентов почвы содержание ППП в %: $ПО (МО) = 100 \% - ППП$. Это одна из главных характеристик органогенных горизонтов.

Вычисление общей потери при нагревании почвы

Общая потеря (ОП) включает в себя гигроскопическую влагу (W) и ППП:

$$ОП = W + ППП$$

Для пересчета количества оксида с воздушно-сухой навески на прокаленную используют коэффициент:

$$K_{ОП} = 100 / (100 - ОП),$$

где ОП – общая потеря массы почвы при сушке и прокаливании, %.

Таблица 4

Форма записи результатов

№	Почва, глубина, гор.	№ тигля	Масса, г				ППП, %	ХСВ, %	МО, %
			тигля		воздушно-сухой почвы	потеря в весе			
			пустого	с почвой					
				до прокаливания	после прокаливания				

2.4 Разложение почвы сплавлением

Химия процессов сплавления сложна и недостаточно изучена. При сплавлении происходит взаимодействие почвы с соединениями щелочных металлов (плавнями) при высокой температуре в расплавленном состоянии. Установлено, что при сплавлении одновременно протекают окислительно-восстановительные и кислотно-основные реакции, которые приводят к глубоким изменениям в структуре минералов. Этому способствует и обогащение почвы щелочными металлами. В результате сплавления вместо природных оксидов, силикатов и алюмосиликатов образуется смесь более простых соединений, состоящая из силикатов щелочных металлов, их карбонатов, алюминатов и манганатов, растворимых в воде или кислотах. Продукт сплавления называют *плавом*.

Для сплавления могут быть использованы щелочные (N_2CO_3 , K_2CO_3 , NaOH, бораты щелочных металлов и их смеси), кислотные (гидросульфат или пиросульфат калия, B_2O_3), окислительные и восстановительные (пероксид натрия, смеси пероксида натрия со щелочными солями) плавни. Выбор плавня определяется составом почвы, набором элементов, которые надо определить и выбранными методами анализа.

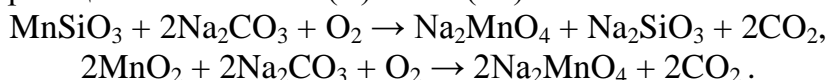
В почвах, как правило, преобладают кислотные оксиды, поэтому при анализе почв наиболее широко используют щелочное сплавление со смесью карбонатов натрия и калия. Смесь безводных карбонатов натрия и калия плавится при температуре около $700^\circ C$, т.е. при более низкой температуре, чем температура плавления

каждого из компонентов (температура плавления Ca_2CO_3 – 853°C , K_2CO_3 – 903°C). Сплавление почв с карбонатами калия и натрия проводят при температуре около 1000°C в платиновых тиглях. При сплавлении используют 6-кратное количество плавня по отношению к массе почвы. Примером реакции, протекающей в процессе сплавления, может служить взаимодействие с плавнем ортоклаза:

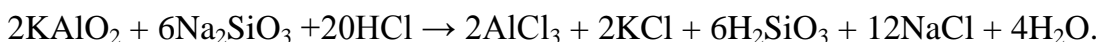


В результате реакции образуются щелочные соли кремниевой кислоты и другие растворимые соединения. Выделяющийся при сплавлении диоксид углерода способствует перемешиванию содержимого тигля, что ускоряет реакцию разложения. Карбонатные плавни способствуют окислению некоторых элементов (S, Mn, Cr) и тем самым облегчают разложение минералов.

Например, реакция плавня с Mn (II) и Mn (IV):



Полученный при сплавлении плав разлагают последовательной обработкой водой и соляной кислотой:



При разложении плава соляной кислотой хром переходит в Cr (II), марганец – в Mn (II), а селен, теллур, ванадий – в четырехвалентное состояние, образуются растворимые хлориды металлов.

Лабораторная работа № 4. Сплавление почвы с Na_2CO_3 + K_2CO_3

Приборы и материалы: муфельная печь, муфельные щипцы, аналитические весы, технические весы, стеклянная лопаточка, агатовая ступка, пестик, калька, платиновый тигель, эксикатор, смесь солей Na_2CO_3 + K_2CO_3 , 2 большие фарфоровые чашки, фарфоровая чашка диаметром 12 см, промывалка с горячей дистиллированной водой, часовое стекло, концентрированная соляная кислота.

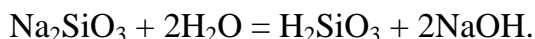
Ход определения

1. Навеску почвы (0,5-1 г), растертой до состояния пудры в агатовой ступке, берут на аналитических весах в предварительно взвешенном платиновом тигле. Почву на дно тигля помещают осторожно с помощью стеклянной лопаточки, стараясь, чтобы частицы почвы не попадали на стенки тигля.
2. На технических весах отвешивают на глянцевой бумаге 5 г растертой безводной х.ч. смеси углекислых солей калия и натрия. Количество плавня должно в 6 раз превышать количество почвы, взятой для сплавления. При анализе гидроморфных почв в плавень добавляют 0,3 г нитрата калия или натрия. Одновременно такую же навеску плавня берут для контрольного опыта на чистоту реактивов, показания которого вычитают из результатов определения каждого элемента.
3. Часть плавня (≈ 1 г) оставляют для покрытия смеси, а остальную массу тщательно смешивают с навеской почвы следующим образом. Небольшие порции плавня переносят стеклянной лопаточкой в платиновый тигель с навеской почвы и каждую новую порцию плавня хорошо перемешивают с ней. Когда весь плавень, предназначенный для смешивания, будет использован, вытирают лопаточку плавнем, оставленным для крышки, и покрывают смесь в тигле, равномерно распределяя его по поверхности смеси почвы с углесолями. Для лучшего прогревания уплотняют содержимое тигля постукиванием по чистой поверхности стола. Смесь почвы с плавнем не должна занимать больше половины объема

- тигля, так как сплавление сопровождается обильным выделением CO_2 , смесь вспучивается и может быть выброшена из тигля.
4. Тигель закрывают платиновой крышкой, оставляя щель шириной около 0,5 см для предотвращения восстановительных процессов и помещают в холодную муфельную печь, загруженный тигель можно поместить в слабо нагретую, но не накалившую печь, иначе смесь будет выброшена из тигля парами воды и газами вследствие их бурного выделения, поэтому начальная стадия сплавления является самым ответственным моментом.
 5. Включают муфель, нагревают смесь до полного плавления (1,5-2 часа с момента начала нагрева муфельной печи). Плавление начинается при температуре около 800°C (темно-красное плавление), заканчивается при 1000°C (светло-красное плавление) и сопровождается обильным выделением CO_2 в результате взаимодействия углекислых щелочей с алюмосиликатами, сжигания органических веществ и улетучивания CO_2 поглощенного почвой. Под конец плавления выделение пузырьков CO_2 прекращается и жидкая масса на дне тигля переливается слабыми струйками. Процесс сплавления считают законченным, когда жидкая масса в тигле становится однородной и не содержит крупинок плавня.
 6. Заполняют две большие фарфоровые чашки на $3/4$ их объема холодной дистиллированной водой.
 7. По окончании плавления раскаленный тигель не снимая крышки вынимают из печи длинными щипцами, и делают несколько круговых движений, чтобы распределить жидкую массу по стенкам тигля и быстро не выпуская тигель из рук, и крепко держа его щипцами, осторожно погружают в холодную воду не больше, чем на $2/3$ высоты на 1-2 минуты.
 8. Затем тигель переносят во вторую чашку с дистиллированной водой на 3-4 минуты и по охлаждении ставят на часовое стекло или в чистую фарфоровую чашку диаметром 12 см. При выполнении этих операций крышку не снимают с тигля, так как при быстром охлаждении масса плава растрескивается и ее кусочки могут вылететь из тигля.
 9. Оставляют плав в тигле охладиться.
 10. Затем проводят следующее: в тигель добавляют из промывалки горячую дистиллированную воду с таким расчетом, чтобы она покрывала плав, закрывают крышкой и оставляют на несколько минут (2-3).
 11. Круговыми движениями стеклянного пестика плав отделяют от стенок и содержимое тигля переносят в фарфоровую чашку диаметром 12 см или химический стакан вместимостью 200-300 мл. Наклоняют тигель над чашкой и осторожно выливают в нее по пестику содержимое тигля. Если плав не выпадает из тигля, его снова обрабатывают водой и отделяют от стенок пестиком, затрачивая на всю эту операцию примерно 20 мл дистиллированной воды. Приливать много воды в тигель нет смысла, так как потребуются больше времени на выпаривание.
 12. Крышку и тигель несколько раз промывают небольшими порциями воды, жидкость из тигля выливают в чашку или стакан обязательно по пестику.

2.5 Выщелачивание плава водой и разложение карбонатов кислотой

При обработке плава водой в раствор переходит избыток углекислого калия и натрия, а также растворимые соединения, которые образовались в результате плавления. Соли метакремниевой кислоты разлагаются с выделением белого геля кремниевой кислоты по уравнению:



Лабораторная работа № 5. Выщелачивание и разложение плава

При выщелачивании плава воду в тигель приливают небольшими порциями, чтобы раствор в чашке занимал не больше половины ее объема. Остатки плава на стенках тигля отделяют стеклянным пестиком и присоединяют к раствору в фарфоровой чашке. Когда плава будет перенесен, чашку или стакан накрывают покровным стеклом, а крышку и тигель несколько раз обрабатывают из капельницы концентрированной или разбавленной (1:1) соляной кислотой. Соляную кислоту выливают из тигля в чашку или стакан обязательно по пестику, немного отодвинув покровное стекло, которое предохраняет содержимое чашки или стакана от разбрызгивания за счет бурного выделения CO_2 при нейтрализации карбонатов. Крышку и тигель споласкивают дистиллированной водой, количественно перенося компоненты плава по пестику в чашку или стакан.

Слегка приподнимая стекло с одной стороны, осторожно приливают по стенкам чашки 20 мл HCl пл. 1,19, пестиком перемешивая содержимое чашки или стакана и раздавливая кусочки плава, раствор при этом приобретает желтоватую окраску, образованием хлорида железа. В противном случае добавляют еще некоторое количество соляной кислоты. Если частицы плава растворяются медленно, то чашки или стаканы ставят на водяную баню.

Так как при раздавливании комочков плава выделяется CO_2 , чашка все время должна быть прикрыта стеклом для устранения потерь при разбрызгивании. Изменение окраски раствора и превращение выделения пузырьков газа служит признаком полного разложения углекислых солей. Когда плава полностью растворится, снимают покровное стекло, обмывают его над чашкой или стаканом дистиллированной водой из промывалки, а чашки оставляют на водяной бане открытыми для выпаривания раствора (пестик все время находится в чашке) до состояния влажных солей. Содержимое стаканов удобно выпаривать на слабо нагретых плитках.

2.6 Методы анализа продуктов разложения почв

Анализ продуктов разложения начинается с выделения и количественного определения кремния.

В результате получают фильтрат, в котором определяют остальные химические элементы.

Для их определения используют разнообразные методы количественного анализа (таблица 5).

Результаты, необходимые для расчетов записывают в таблицу 6.

Таблица 5

Методы определения валового содержания оксидов в почвах

Определение	Метод
SiO ₂	Определяется взвешиванием в форме SiO ₂ - гравиметрическим методом, основан на осаждении полимеризованной кремнекислоты соляной с добавлением желатина. Осадок SiO ₂ прокаливается, высушивается.
R ₂ O ₃	Применяют 3 способа: аммиачный в бескарбонатных почвах; ацетатный в карбонатных; уротропином, если не определяют SO ₃ .
Fe ₂ O ₃	Йодометрический - основан на выделении свободного йода при восстановлении Fe ³⁺ йодид-ионом в присутствии йодистой Cu в качестве катализатора. Образуется йод в эквивалентных Fe количестве, который оттитровывают тиосульфатом Na.
	Комплексонометрический – основан на способности трилона Б при pH=1-1,5 образовывать с ионом Fe ³⁺ почти бесцветный малодиссоциирующий комплекс. В раствор содержащий Fe вносят раствор сульфосолициловой кислоты, образуется соединение лилово-красного цвета. титруют трилоном Б и в точке эквивалентности окраска исчезает, т.к. комплекс извлекает Fe из окрашенного соединения.
	Колориметрический – с использованием сульфосолициловой кислоты pH=8-11,5. Сульфосолициловая кислота с Fe образует комплекс-ионы желтого цвета, колориметрируют.
Al ₂ O ₃	По разности R ₂ O ₃ -Fe ₂ O ₃ =Al ₂ O ₃
	Комплексонометрически – путем обратного титрования в присутствии различных индикаторов (дитизон-силинолевым оранжевый). Добавляют трилон Б в избытке, оттитровывают чаще всего сульфатом Zn в присутствии индикатора, который имеет розовый цвет.
P ₂ O ₅ (гравиметрические, титриметрические)	Метод двойного осаждения (весовой). Фосфор осаждается в виде фосфомолибдата аммония затем его переосаждают в форме двойного фосфата MgNH ₄ PO ₄ . Этот осадок при прокаливании переходит в пирофосфат Mg ₂ P ₂ O ₇ .
	Колориметрический – основан на способности фосфора образовывать в кислой среде с раствором молибденовокислого аммония соединения фосфорномолибденовой кислоты. При прибавлении к раствору этой кислоты восстанавливается, входящий в ее состав Mo ⁶⁺ до Mo ⁵⁺ пропорционально имеющемуся в растворе количеству фосфора. При этом образуется фосфорно-молибденовая синь и раствор окрашивается в синий (StCl ₂) Колориметрируют на приборе
CaO	Комплексонометрический – основан на способности трилона Б извлекать Ca из его окрашенного соединения с мурексидом, окраска изменяется из розовой в лиловую
	Оксалатный – основан на получении осадка оксалата CaC ₂ O ₄ для чего к исследуемому раствору приливают р-р оксалата аммония (NH ₄) ₂ C ₂ O ₄ . Весовая модификация – отфильтровывают, промывают, прокаливают взвешивают. Объемная – полученный осадок растворяют в 5 % растворе серной кислоты, образуется щавелевая кислота в эквивалентном Ca количестве. Оттитровывают перманганатом K и по его количеству рассчитывают содержание Ca.
MgO	Трилонометрический – основан на извлечении Mg трилоном Б из окрашенного комплекса Mg с металло-индикатором (хромоген темно-синий, хромоген черный); 2 способ по разности Ca+Mg – Ca (прямое титрование в одной колбе с Ca, после того, как Ca оттитрован).
	Весовой (фосфатный), когда Mg выделяют из раствора в виде 2-го фосфата Mg и аммония. Осаждение проводят 2-узамещенным фосфорнокислым Na или (NH ₄) ₂ HPO ₄ или их смесью 1:1. Осаждение проводится в присутствии хлорида аммония и NH ₄ OH, чтобы не было гидролиза образовавшегося осадка и чтобы не образовался осадок Mg(OH) ₂ . Осадок отфильтровывают, промывают, взвешивают. Делают поправки на Mn.
SO ₃	Весовой основан на осаждении BaCl ₂ с образованием BaSO ₄ - отфильтровывают, промывают, взвешивают.

	Комплексонометрический – проводят косвенным путем, т.к. трилон Б взаимодействует только с катионами. Определяется по избытку ионов бария вводимых в раствор для осаждения ионов SO ₄ . В анализируемый раствор вводят известные количества осадительной смеси BaCl ₂ +MgCl ₂ взятой в избытке, не отфильтровывают образовав осадок BaSO ₄ и оттитровывают избыток осадительной смеси трилона Б. Отдельно проводят холостое титрование, взяв тоже количество смеси. По разнице (холостое-трилон Б пошедший на титрование Ca+Mg=SO ₃)
TiO ₂	Пероксидный
MnO	Перманганатный (фотометрически) – основан на окислении Mn (II) до MnO ₄ ⁻ . В качестве окислителей используют (NH ₄) ₂ S ₂ O ₈ - персульфатный вариант метода; или KIO ₄ (или Na ₃ H ₂ IO ₆) – периодатный вариант метода. Окисление проводят в азотнокислой или сернокислой среде.
K ₂ O, Na ₂ O	Пламенно-фотометрическое определение
	Классические химические методы

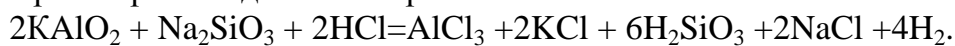
Таблица 6

Форма записи результатов

№ пробы	Навеска воздушно-сухой почвы, г	Гигроскопическая влага, %	Масса сухой почвы, г

2.7 Определение оксида кремния желатиновым методом

При взаимодействии силиката натрия с соляной кислотой происходит выделение в раствор свободной метакремниевой кислоты:



Она переходит в раствор в виде золя, состоящего из отрицательно заряженных мицелл кремниевой кислоты. Поскольку в двойном электрическом слое этой мицеллы в качестве противоионов находятся H⁺-ионы, прибавление соляной кислоты нарушает ионное равновесие и вызывает коагуляцию коллоидных частиц с образованием геля кремневой кислоты [(SiO₂)_m × nHSiO₃ - x(n-x)H⁺]^{x-} × xH⁺, который выпадает на дно чашки в виде белого студенистого осадка. Коагуляция будет более полной в присутствии раствора желатина. Он является амфотерным коллоидом, имеющим кислые (карбоксильные) и основные (амино) группы, которая в кислой среде приобретает положительный заряд. При взаимодействии положительно заряженных гидрофильных частиц желатина с отрицательно заряженными гидрофильными частицами кремневой кислоты происходит нейтрализация зарядов, что ведет к коагуляции и полному выделению геля кремневой кислоты.

Лабораторная работы № 6. Определение оксида кремния желатиновым методом

Приборы и материалы: муфельная печь, муфельные щипцы, аналитические весы, технические весы, эксикатор, фарфоровая чашка с влажными солями, 25-30 мл горячей дистиллированной воды, часовое стекло, стеклянный пестик, пипетка, водяная баня, фильтр с белой лентой диаметром 9-11 см, мерная колба на 200-250 мл, воронка для фильтрования, промывалка с горячей дистиллированной водой, фарфоровый тигель.

Реактивы.

1. HCl пл. 1,19, свободная от примесей железа.
2. Раствор желатина (1 %): к 100 мл дистиллированной воды, нагретой до 70°C, прибавляют 1 г желатина. Ставят на водяную баню и держат на ней до полного

растворения, время от времени перемешивая легким взбалтыванием. Температура не должна подниматься выше 70°C , так как иначе желатин теряет свое коагулирующее действие. Раствор должен быть свежеприготовленным.

3. 1 % раствор HCl : 22,6 мл HCl пл. 1,19 разбавляют дистиллированной водой до 100 мл (кислоту приливают в воду).

4. Раствор роданида аммония (10 %). Отвешивают 10 г NH_4CNS и растворяют в 50 мл дистиллированной воды, а затем доводят раствор до объема 100 мл.

Ход определения

1. В фарфоровую чашку с влажными солями приливают 25-30 мл HCl пл. 1,19, смачивая ею соли и края чашки. Тщательно размешивают содержимое чашки стеклянным пестиком, прикрывая чашку стеклом и ставят на горячую, но **не кипящую!** водяную баню минут на 10, чтобы подогреть раствор до $60-70^{\circ}\text{C}$.

2. Затем в чашку вливают из пипетки по каплям 5 мл свежеприготовленного 1 % раствора желатина, тщательно перемешивая пестиком круговым движением каждую прибавленную каплю этого раствора.

3. Снова ставят чашку под стеклом на горячую (не кипящую) баню на 5-10 мин для полного взаимодействия желатина с кремневой кислотой.

4. Затем приливают в чашку 25-30 мл горячей дистиллированной воды, чтобы снизить кислотность раствора перед фильтрованием.

5. Хорошо перемешивают содержимое чашки, чтобы растворить соли полностью, дают стоять на бане 3-5 минут для осаждения геля и декантируют раствор через фильтр с белой лентой диаметром 9-11 см.

6. Фильтрат и промывные воды собирают в мерную колбу емкостью 200-250 мл.

7. Осадок переносят на фильтр 2-3-кратным обмыванием чашки 1 % раствором HCl . Чашку тщательно очищают от частиц кремневой кислоты кусочками беззольного фильтра, присоединяя их к осадку, находящемуся в воронке. Фильтрование и промывание осадка ведут методом декантации. Жидкость надо сливать быстро в один прием, оставляя осадок на дне чашки. Пестик возвращают в чашку.

8. Осадок промывают, добавляя из промывалки небольшие порции промывной жидкости (горячий 1 % HCl). Осадок взмучивают пестиком, дают ему отстояться 1-2 минуты, ставят чашку или стакан на горячую баню. Прозрачную надосадочную жидкость быстро сливают по пестиком на фильтр, оставляя осадок в чашке. Каждую последующую порцию промывной жидкости приливают в чашку после того, как предыдущая порция полностью профильтруется. Чтобы осадок не осаждался, чашку или стакан держат на водяной бане, прикрыв стеклом, а жидкость в промывалке по мере необходимости подогревают. Промывание считается законченным, когда из осадка на фильтрате полностью удаляются ионы Fe^{3+} .

9. *Проба на Fe^{3+}* : подставляют под воронку фарфоровую чашку (пробирку) и собирают несколько капель стекающего с воронки фильтрата, прибавляют каплю 10 % раствора роданида аммония NH_4CNS или KCNS . В кислом растворе в присутствии Fe^{3+} получается красная окраска роданида железа $\text{Fe}(\text{SCN})_3$. Отсутствие окраски при условии кислой среды показывает, что железо, а следовательно, и другие примеси удалены из осадка.

10. Если количество промывных вод превышает 250 мл, жидкость в стакане упаривают.

11. Промытый осадок на фильтре промывают 2-3 раза горячей дистиллированной водой, подсушивают на воздухе.

12. В доведенный до постоянного веса и взвешанный на аналитических весах фарфоровый тигель помещают фильтр с осадком.

13. Тигель с фильтром и осадком ставят в холодный муфель, постепенно повышают температуру и прокаливают при 1000-1200°C до постоянной массы в муфельной печи. Продолжительность первого прокаливания – 1,5 ч, второго – 40 мин.

14. Содержание кремния в виде кремнезема SiO₂ вычисляют по формуле:

$$SiO_2 \% = a \times 100 \times Kw / c, \text{ где}$$

a – вес прокаленного осадка кремнезема, г;

c – навеска почвы, взятая для сплавления, г;

Kw – коэффициент для пересчета на сухую почву.

15. Результаты записывают в таблицу 7.

Таблица 7

Форма записи результатов определения кремния

Почва	Глубина, см	№ тигля	Масса, г				%, SiO ₂
			навески почвы	пустого тигля	тигля с осадком после прокаливания	осадка SiO ₂	

2.8 Анализ фильтрата от кремниевой кислоты

В фильтрате после осаждения кремневой кислоты определяют железо, алюминий, титан, марганец, калий, кальций, магний, серу, фосфор.

Определению кальция, магния и серы мешают полумторные оксиды, поэтому эти элементы определяют после выделения полумторных оксидов.

При анализе фильтрата от кремневой кислоты необходимо соблюдать обязательное правило: *прежде, чем брать раствор пипеткой из мерной колбы, следует перемещать его круговыми движениями, чтобы раствор был однородным по концентрации.*

2.9 Аммиачный метод определения суммы полумторных оксидов

Метод основан на осаждении железа и алюминия в виде гидроксидов аммиаком при нагревании. При нейтрализации фильтрата от кремнекислоты аммиаком последовательно осаждаются гидроксид титана (рН 1-1,5), затем гидроксид железа (рН 2-5) и, наконец, гидроксид алюминия (рН 4,5-6,5). Аммиак добавляют до изменения окраски индикатора метилового красного от красной в желтую.

Избыток аммиака может привести к растворению гидроксида алюминия, обладающего амфотерными свойствами. Кроме того, в щелочной среде может происходить осаждение гидроксида магния.

Аммиаком по метиловому красному в виде гидроксидов осаждаются Fe³⁺, Al³⁺, Cr³⁺, Ti⁴⁺ и, кроме того, в осадок выпадают ванадаты и фосфаты перечисленных металлов. В состав осадка входят Al₂O₃, Fe₂O₃, Cr₂O₃, TiO₂, P₂O₅, V₂O₅.

При нейтрализации анализируемого солянокислого раствора аммиаком образуется большое количество хлорида аммония, который препятствует повышению рН и адсорбции других ионов на поверхности осадка гидроксидов.

Чтобы от суммы смешанного осадка оксидов (R₂O₃) перейти к сумме оксидов алюминия и железа, необходимо из массы смешанного прокаленного осадка

вычесть содержания P_2O_5 , TiO_2 , определяемые в отдельных пробах солянокислого раствора.

По распределению полуторных оксидов в профиле почв диагностируют почвенные процессы.

Лабораторная работа № 7. Определение суммы полуторных оксидов аммиачным методом

Приборы и материалы: пипетка на 50 мл, химический стакан на 100-150 мл, электрическая плитка, стеклянная палочка с резиновым наконечником, часовое стекло, беззольный рыхлый фильтр (красная лента) диаметром 9-11 см, воронка, химический стакан на 500 мл, фарфоровый тигель, муфельная печь, муфельные щипцы, аналитические весы, технические весы, эксикатор, пробирка.

Реактивы.

1. HCl пл. 1,19.
2. 1 % NH_4NO_3 : 10 г NH_4NO_3 растворяют в 500 мл дистиллированной воды и доводят до метки 1000 мл в раствор добавляют несколько капель концентрированного NH_4OH до слабощелочной реакции по метиловому красному.
3. 25 % раствор (концентрированный) NH_4OH .
4. 10 % раствор NH_4OH : 42,2 мл 25 % раствора NH_4OH разбавляют в 50 мл дистиллированной воды и доводят водой до 100 мл.
5. 1 % раствор $AgNO_3$.
6. HNO_3 (плотность 1,40) в капельнице.
7. Метиловый красный – 0,1 % спиртовой раствор (приложение 1).

Ход определения

1. Содержимое колбы (фильтрат от кремниевой кислоты) перемешивают и берут пипеткой 50 (100) мл и помещают в химический стакан.
2. Нагревают раствор до первого пузырька (!), снимают с огня и нейтрализуют горячий раствор гидроксидом аммония, приливая по каплям 25 % раствор (концентрированный) NH_4OH , тщательно перемешивая стеклянной палочкой каждую прибавленную каплю.
3. Когда раствор помутнеет, т. е. часть кислоты будет нейтрализована, прибавляют 2 капли индикатора метилового красного и продолжают нейтрализацию 10 % раствором NH_4OH , чтобы не вводить в раствор большого избытка аммиака. Вновь прибавляют каплю раствора аммиака, тщательно размешивают. **Нейтрализацию прекращают в тот момент, когда индикатор изменит свою окраску в желтую.**

При большом содержании железа бурая окраска гидроксида железа мешает наблюдению за изменением окраски, в этом случае, дают раствору немного отстояться и проверяют окраску индикатора по верхней прозрачной части раствора.

При нейтрализации кислого раствора окраска его из желтой переходит в коричневую, вследствие образования коллоидного раствора гидроксида железа. Затем раствор мутнеет от геля $Fe(OH)_3$.

Окраска индикатора метилового красного изменяется в интервале рН 4,4-6,2. Этот интервал близок к величине рН полного вытеснения из раствора гидроксидов железа и алюминия, затем следует прибавить еще 2-3 капли 10 % NH_4OH до слабого запаха аммиака.

В том случае, когда прилито слишком много аммиака и наблюдается опалесценция от гидроксида алюминия, следует прибавить по каплям концентрирован-

ную HCl, чтобы растворить весь осадок и повторить заново осаждение 10 % раствором NH₄OH. Критерием правильного осаждения R(OH)₃ являются три признака: желтая окраска индикатора, слабый запах аммиака и «зрелость» осадка (если образуются не хлопья, а равномерная муть, значит pH раствора выше или ниже требуемого значения).

4. По окончании осаждения гидроксидов раствор нагревают до кипения, снимают с огня, прикрывают стеклом и дают осадку осесть на дно.
5. Как только осадок осядет, немедленно декантируют раствор (горячий) через беззольный рыхлый фильтр (красная лента) диаметром 9-11 см в мерную колбу на 200-250 мл. Воронка должна быть небольшая, а фильтр хорошо подогнан. Как правило, фильтрат течет сплошной струей, что позволяет слить раствор над осадком, а затем перенести на фильтр сам осадок за один прием, не отнимая носик стакана от палочки, по которой раствор сливают на воронку.
6. Температура фильтруемого раствора должна быть не ниже 70-80°C.
7. Если осадок не был перенесен на фильтр полностью, то осадок на дне стакана промывают 1-2 раза декантацией горячим щелочным 1 % раствором NH₄NO₃ имеющим pH примерно 6,2 (**pH проверить!!!**). Для этого следует прилить в промывалку с 1 % NH₄NO₃ 1-2 капли метилового красного и размешать раствор. Раствор должен окраситься в желтый цвет. Если раствор окажется красным, прибавляют 1-2 капли аммиака, перемешивают и добиваются желтой окраски промывной жидкости.
8. Окончательно переносят осадок на фильтр, частицы осадка снимают со стенок стакана кусочками беззольного фильтра при помощи стеклянной палочки с резиновым наконечником и переносят на фильтр.
9. Промывание ведут до отсутствия хлор-иона в пробе фильтрата. Испытание проводят после 8-10 кратного промывания следующим образом: подставляют под воронку чистую пробирку, собирают 1-2 мл фильтрата, приливают 1 мл концентрированной HNO₃, после чего добавляют 2-3 капли 1 % AgNO₃ и перемешивают раствор. Отсутствие осадка и опалесценции в собранном фильтрате указывают на чистоту промытых гидроксидов. **Всегда при промывании осадков R(OH)₃ необходимо прежде всего проверить промывную жидкость на содержание Cl⁻, иначе промывание может быть бесконечным.**
10. Фильтрат после осаждения полуторных оксидов сохраняют для последующего определения в нем кальция и магния.
11. Промытый и высушенный на воздухе осадок R(OH)₃ на фильтре помещают во взвешенный на аналитических весах тигель (заранее просушенный), озоляют под тягой на электроплитке, затем тигель с фильтром и осадком помещают в холодную муфельную печь, включают ее и прокаливают осадок до постоянного веса при температуре 850-950°C (светло-красное, светло-оранжевое каление).

12. Массовую долю полуторных оксидов вычисляют по формуле:

$$\% R_2O_3 = m_0 \times V_0 \times 100 / (V_{ал} \times m), \text{ где}$$

m_0 – масса прокаленного осадка полуторных оксидов за вычетом показаний холодного опыта, г;

m – навеска сухой почвы, г;

V_0 – общий объем фильтрата после определения SiO₂, мл;

$V_{ал}$ – объем аликвоты фильтрата, взятой для определения, мл.

13. Результаты записывают в таблицу 8.

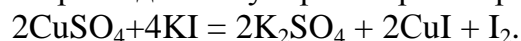
Результаты определения полуторных оксидов

Почва	Глубина, см	№ тигля	Масса, г			Объем фильтрата, мл		Масса осадка R ₂ O ₃ , г	R ₂ O ₃ , %
			навески сухой почвы	пустого тигля	тигля с осадком после прокаливания	от SiO ₂ общий	аликвоты		

2.10 Определение валового содержания железа

Определение содержания валового железа по генетическим горизонтам почв позволяет выявить направление почвообразовательного процесса, так как распределение железа в почвенном профиле характерно для каждого типа почв.

Содержание Fe₂O₃ определяют объемным йодометрическим методом. Метод основан на выделении свободного I₂ при восстановлении Fe³⁺ йодид-ионом в присутствии йодистой меди CuI в качестве катализатора. Йодистую медь белого цвета получают смешиванием раствора медного купороса с раствором йодистого калия:



Окрашенный йодом бурый раствор обесцвечивают тиосульфатом, и затем к катализатору приливают испытуемый раствор, содержащий железо. При взаимодействии трехвалентного железа с избытком йодида калия, происходит восстановление железа по уравнению: $2\text{Fe}^{3+} + 2\text{I}^- \leftrightarrow 3\text{Fe}^{2+} + \text{I}_2$.

Выделившийся в эквивалентном количестве свободный йод оттитровывают тиосульфатом: $\text{I}_2 + 2\text{S}_2\text{O}_3^{2-} = \text{S}_4\text{O}_6^{2-} + 2\text{I}^-$ и по количеству I₂ определяют содержание железа в растворе.

Эквивалентность между Fe³⁺ и I₂ обусловлена тем, что железо, восстанавливаясь, присоединяет электроны по схеме: $2\text{Fe}^{3+} + 2\bar{e}$ в таком количестве, в каком их теряет йодид-ион, окисляясь до элементарного йода: $\text{I}^- - 2\bar{e} \leftrightarrow \text{I}_2$.

Избыток йодида калия в растворе снижает окислительный потенциал системы 2I/I₂, и тем самым обеспечивает восстановление железа. Эта реакция протекает в кислой среде без нагревания, т. к. нагревание ведет к потере йода вследствие его улетучивания.

Лабораторная работа № 8. Определение валового содержания железа йодометрически по Гану-Виндишу (Аринушкина Е.В., 1961)

Приборы и материалы: пипетки на 5, 10, 25 мл, коническая колба на 250 мл, пипетка для титрования.

Реактивы:

- 0,1 н раствор сульфата меди.
- 10 % раствора йодида калия.
- 0,02 н раствор тиосульфата.
- 0,5 % раствора крахмала.

Ход определения

- В коническую колбу на 250 мл вносят пипеткой 5 мл 0,1 н раствора сульфата меди и 10 мл 10 % раствора йодида калия.
- Окрашенную бурюю смесь йодида меди и йодида калия оттитровывают 0,02 н раствором тиосульфата до кремовой окраски.

3. Затем приливают 2 мл 0,5 % раствора крахмала (свежеприготовленного), и продолжают титрование, энергично взбалтывая раствор до обесцвечивания синей окраски крахмала. Это титрование проводят с целью освобождения раствора от йода, поэтому количество титранта пошедшего на титрование не записывают.
4. В оттитрованный раствор вносят 25 мл фильтрата после осаждения оксида кремния (окрашивается в синий цвет) и титруют выделившийся йод раствором тиосульфата при тщательном перемешивании до обесцвечивания синей окраски крахмала. Так как испытуемый раствор содержит соляную кислоту, то белый осадок йодида меди в оттитрованном растворе имеет зеленоватый оттенок от примеси хлорида меди.
5. Записывают количество титранта (мл) пошедшего на титрование, нормальность тиосульфата в таблицу 9, и вычисляют содержание железа с учетом показателей холостого титрования:

$$Fe_2O_3 \% = (a \cdot n \cdot 0,08 \cdot 100) / c , \text{ где}$$

a – количество тиосульфата, пошедшего на титрование испытуемого раствора;

n – нормальность тиосульфата (приложение 2);

c – навеска, соответствующая объему аликвоты взятой для титрования;

0,08 – граммовое значение 1 мг-экв оксида железа.

Таблица 9

Результаты определения валового содержания железа

Почва, глубина, см	Навеска сухой почвы, г	Навеска, соответствующая аликвоте, г (<i>c</i>)	Объем фильтрата, мл		Тиосульфат Na		Fe ₂ O ₃ , %
			общий V ₀	для анализа V _{ал}	<i>n</i>	объем, мл	

2.11 Определение валового содержания кальция и магния

Низкая устойчивость комплексонов кальция и магния позволяет проводить их комплексометрическое титрование только в щелочной среде.

Кальций определяют в растворах с pH 12,5, магний – с pH около 10. Несмотря на то, что константы устойчивости комплексонов кальция и магния различаются всего на два порядка, комплексометрическим методом может быть проведено селективное определение кальция в присутствии магния. Такое определение возможно потому, что в сильнощелочной среде (pH 12,5) образуются прочные комплексы магния с OH-ионами. В связи с этим эффективная константа устойчивости комплексонов магния понижается, увеличивается разница в устойчивости комплексонов кальция и магния и становится возможным селективное определение кальция в присутствии магния.

Кальций титруют с индикатором мурексидом. В сильнощелочной среде кальций с мурексидом образует комплексное соединение, окрашивающее раствор в розовый цвет. При титровании комплексом III (трилон Б) образуется более устойчивый комплексонат кальция, а комплекс кальция с мурексидом разрушается; раствор при этом окрашивается в фиолетовый цвет, обусловленный появлением в нем свободного мурексида. Кальций можно титровать и с другими индикаторами: кислотным хромом темно-синим, кальцеином (флуорексоном), со смесью мурексида и нафтолового зеленого и пр.

При определении кальция щелочную среду создают, добавляя растворы КОН или NaOH. Эти растворы не должны поглощать CO₂, в противном случае может образоваться осадок карбоната кальция.

При медленном титровании осадок карбоната кальция растворяется, однако если он образуется, то переход окраски при титровании будет не четкий. Для того, чтобы избежать выпадения в осадок карбоната кальция, гидроксидов магния и фосфатов магния и кальция, комплексометрическое титрование кальция проводят в разбавленных растворах.

Многие металлы мешают комплексометрическому определению кальция. Эти металлы могут:

- 1) титроваться комплексоном III вместе с кальцием и тем самым завышать результаты анализа;
- 2) разрушать индикаторы, например, Mn (IV) и Fe (III) разрушают эриохром черный, для восстановления Mn (IV) в раствор вводят гидросиламин;
- 3) многие металлы (Co, Ni, Си, Al и др.) способны блокировать индикаторы, образуя с ними устойчивые комплексы и не позволяя проводить титрование комплексоном.

Рационально определение кальция проводить в фильтрате, полученном при отделении полуторных оксидов. При осаждении полуторных оксидов аммиаком удаляются в виде гидроксидов многие мешающие определению кальция ионы. Однако ионы металлов, образующие растворимые в воде аммиакаты, при добавлении аммиака не осаждаются. Для устранения помех раствор перед титрованием сильно (в 2-3 раза и более) разбавляют водой, добавляют гидросиламин – восстановитель, который переводит Mn (IV) в Mn (II) и удерживает марганец в растворе, а также сульфид или диэтилдитиокарбаминат натрия для связывания Cu, Ni, Mn, Co и других элементов.

Определение магния возможно теми же методами, что и кальция.

Лабораторная работа № 9. Определение валового содержания кальция и магния комплексометрически

Приборы и материалы: конические колбы емкостью на 250 мл (4-6 шт.), пипетки на 25 мл, пипетка для титрования.

Реактивы:

1. Дистиллированная вода, свободная от примесей кальция и магния.
2. 1 % раствор сульфида натрия или сухая соль диэтилдитиокарбамината натрия.
3. Гидросиламин солянокислый.
4. 20 % раствор КОН или NaOH. Твердую щелочь отвешивают в фарфоровой чашке в количестве 200 г с точностью взвешивания до 1 г. Предварительно куски щелочи дважды обмывают малым количеством дистиллированной воды, чтобы смыть с поверхности карбонаты. При необходимости твердую щелочь размельчают в защитных очках и резиновых перчатках. Растворяют щелочь в фарфоровом или термостойком стеклянном стакане, добавляя порциями 800 мл воды. После охлаждения содержимое стакана переливают в бутылку с каучуковой пробкой. Если раствор непрозрачный, фильтруют его через стеклянный фильтр (бумажный фильтр щелочь разъедает).
5. Мурексид. Смесь 1 части сухого индикатора с 40 частями «х.ч.» NaCl или KCl перетертая в агатовой ступке до однородного тонкого порошка. Хранят в темной склянке.

6. 0,01М раствор комплексона III готовят из фиксанала.

Ход определения

I. Определение суммы кальция и магния

1. Берут 25 мл фильтрата, освобожденного от R_2O_3 и разбавляют до 100 мл дистиллированной водой (в две колбы по 25 мл).
2. В каждую колбу добавляют:
 - 10 капель 1 % раствора солянокислого гидроксилamina (для устранения влияния марганца),
 - 2-3 капли 1 % раствора $Na_2S \cdot 9H_2O$ (для устранения влияния меди),
 - 10 мл хлоридно-аммиачного буфера
 - 10 капель хромогена черного.
3. Титруют содержимое одной из колб 0,05 или 0,02 н раствором трилона Б, вторая колба служит для сравнения окраски. При титровании раствор тщательно перемешивают, вишнево-красный цвет вблизи точки эквивалентности приобретает лиловую окраску, после чего титрую медленно, по каплям до сине-голубого цвета (может быть с зеленоватым оттенком).
4. Записывают в таблицу 10 результаты титрования.

II. Определение кальция

5. Из мерной колбы, содержащей фильтрат от полуторных оксидов, отбирают пипеткой 2-3 аликвоты по 25 мл в конические колбы вместимостью 250 мл и разбавляют дистиллированной водой в 2-3 раза (примерно до 100 мл).
6. К пробам последовательно прибавляют, каждый раз перемешивая:
 - 2 мл 5 % раствора или несколько кристалликов гидроксилamina;
 - 2-3 капли 1%-ного раствора сульфида натрия Na_2S или диэтилдитиокарбаминат натрия (сухой реактив) на кончике шпателя;
 - 10-15 мл 20 % раствора КОН или NaOH для создания сильнощелочной среды ($pH > 12,5$), если при добавлении щелочи выпадает осадок $Mg(OH)_2$, что происходит в случае высокого содержания магния в растворе, берут новую порцию фильтрата и разбавляют ее в 10 раз, чтобы снизить концентрацию ионов Mg^{2+} ;
 - индикатор мурексид (на кончике шпателя, до ярко розовой окраски) добавляют непосредственно перед титрованием.
7. Немедленно титруют при постоянном и энергичном перемешивании одну из колб 0,01М раствором комплексона III (трилона Б) до перехода окраски из розовой в фиолетовую. В качестве «свидетеля» - эталона окраски – используют перетитрованную пробу. Окончание титрования улавливается лучше, если смотреть через зеленое стекло.
8. Отметить количество трилона Б пошедшего на титрование, добавляют в колбу избыток трилона Б и оттитровывают содержимое второй колбы используя в качестве свидетеля первую оттитрованную колбу.
9. Параллельно с титрованием анализируемой аликвоты выполняют титрование холостой пробы для поправки на чистоту реактивов и дистиллированной воды.
10. Результат титрования записывают в таблицу 10 и рассчитывают содержание оксида кальция.

III. Определение магния

11. Для определения содержания магния определяют разность между титрованием пошедшего на сумму $Ca+Mg$ и титрованием пошедшего на кальций.
12. Рассчитывают результаты по формулам:

$$CaO \% = (b \times n \times K \times 100 \times 0.028) / p ,$$

$$MgO \% = ((a - b) \times n \times K \times 100 \times 0.020) / p \quad \text{где,}$$

- a – количество трилона Б, пошедшее на титрование суммы кальция и магния, мл;
 b – количество трилона Б, пошедшее на титрование кальция, мл;
 n – концентрация трилона Б;
 K – поправка к титру трилона Б;
 p – навеска почвы, соответствующая объему аликвотной части фильтрата из под R_2O_3 ;
 0.028 – граммовое значение 1 мг-экв оксида кальция;
 0.020 – граммовое значение 1 мг-экв оксида магния.

Таблица 10

Результаты определения валового содержания кальция и магния

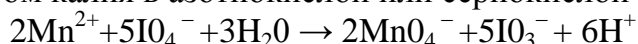
Почва, глубина	Навеска сухой почвы, г	Объем фильтрата, мл				Трилон Б на титрование		CaO, %	MgO, %
		№1	№2	аликвота	навеска соотв. аликвоте, г	Ca+Mg мл	Ca, мл		

Примечание: № 1 – фильтрат после отделения Si O₂; № 2 – после осаждения R₂O₃

2.12 Определение валового содержания марганца

Образование MnO_4^- возможно в азотнокислой или сернокислой среде при нагревании, но не в солянокислой, так как ион хлора восстанавливает ион марганцевой кислоты по уравнению: $2MnO_4^- + 10Cl^- + 16H^+ = 2Mn^{2+} + 5Cl_2 + 8H_2O$.

Периодатный вариант определения марганца основан на окислении Mn^{2+} до MnO_4^- метапериодатом калия в азотнокислой или сернокислой среде:



Для окисления марганца периодатом требуется более кислая среда (10 % раствор H_2SO_4 по объему). Окисление идет без катализатора, но при более длительном нагревании и обязательном присутствии H_3PO_4 , которая препятствует образованию двуоксида марганца и связывает железо в бесцветный комплексный ион $[Fe(PO_4)_2]^{3-}$. Фосфорная кислота не только стабилизирует перманганат-ион, но и предупреждает осаждение марганца.

Полученные при окислении периодатом растворы отличаются большой прозрачностью, чистотой окраски и ее значительной стойкостью (могут сохраняться без изменения несколько месяцев). Однако при окислении марганца периодатом нельзя определять в этом же растворе титан, как в персульфатном варианте метода, т.к. избыток иодата мешает восстановлению марганца.

Лабораторная работа № 11. Определение валового содержания марганца фотометрическим методом, периодатный вариант

Приборы и материалы: фильтрат от кремниевой кислоты, пипетка на 20-25 мл, фарфоровая чашка среднего размера (диаметр 72-93 мм), электрическая плитка, стеклянная палочка, химический стаканчик емкостью 100-150 мл, бюретка, мерные колбы на 50 мл, фотоколориметр.

Реактивы

1. HNO_3 (пл. 1,4).
2. 10 % H_2SO_4 .
3. KIO_4 или $Na_3H_2IO_6$.

4. H_3PO_4 пл. 1,7.
5. Эталонный раствор MnO : 0,2228 г х. ч. KMnO_4 помещают в химический стакан и растворяют в 150-200 мл 5 % H_2SO_4 . Прибавляют в кислый раствор несколько капель 3 % раствора H_2O_2 при размешивании. Когда раствор станет бесцветным, его кипятят несколько минут для разрушения избытка перекиси водорода. Анион марганцевой кислоты легко восстанавливается в кислой среде по уравнению: $\text{MnO}_4^- + 5\text{e} + 8\text{H}^+ = \text{Mn}^{2+} + 4\text{H}_2\text{O}$. Охлаждают раствор до комнатной температуры, переливают в мерную колбу емкостью 1 л. Доводят до метки 5 % раствором H_2SO_4 и тщательно перемешивают. Раствор содержит 0,1 мг MnO в 1 мл.

Ход определения

1. Аликвоту 20-25 мл фильтрата, полученного после отделения кремнекислоты, помещают в фарфоровую чашечку или термостойкий химический стакан.
2. Добавляют к аликовоте 4 мл концентрированной HNO_3 и выпаривают на водяной бане или слабонагретой плитке досуха, чтобы удалить Cl .
3. Сухой остаток 2-3 раза обрабатывают азотной кислотой, смачивая по каплям стенки и дно чашечки или стакана. Если анализ проводят в стакане, для растворения сухого остатка в него добавляют 40 мл 10 % раствора H_2SO_4 . Если сухой остаток находится в фарфоровой чашечке, его растворяют в 20 мл 10 % H_2SO_4 .
4. Затем по стеклянной палочке переносят в термостойкий стакан вместимостью 100 мл, тщательно обмывая чашку примерно таким же количеством серной кислоты (20) мл, чтобы общий объем раствора не превышал 40 мл.
5. В стаканы добавляют по 3 мл конц. H_3PO_4 и нагревают почти до кипения.
6. В горячий раствор вносят 0,3 г KIO_4 или 0,5 г $\text{Na}_3\text{H}_2\text{IO}_6$ и кипятят до развития стабильной розово-фиолетовой окраски. Спокойное кипение должно продолжаться еще 5 минут после появления окраски.
7. Содержимое стакана охлаждают и количественно переносят в мерную колбу вместимостью 50 мл.
8. Объем жидкости в колбе доводят до метки раствором серной кислоты, тщательно перемешивают.
9. Измеряют оптическую плотность при длине волны 540 нм.
10. Для построения калибровочного графика в термостойкие стаканы из бюретки наливают 0,5; 1; 2; 4; 8; 10 мл стандартного раствора с концентрацией 0,1 мг/мл. В стакан добавляют 10 % раствор H_2SO_4 , концентрированную фосфорную кислоту и проводят через все операции анализа как описано выше.

Шкала эталонных растворов

№ эталона	1	2	3	4	5	6
Количество стандартного раствора, мл	0,5	1	2	4	8	10
MnO мг/100 мл	0,05	0,1	0,2	0,4	0,8	1,0

11. По полученным результатам измерения величины оптической плотности анализируемых и эталонных растворов вычисляют концентрацию определяемого вещества графически или расчетным методом.

А) Графический метод заключается в том, что по величине оптической плотности эталонных растворов вычерчивают калибровочный график и по нему находят концентрацию определяемого вещества, предварительно измерив, его плотность. Калибровочный график вычерчивают на миллиметровой бумаге, откладывая по оси ординат величины оптической плотности эталонных растворов, а на оси абсцисс – концентрацию этих растворов, после чего проводят прямую от начала координат через пересечение перпендикуляров, восстановленных из отложенных

точек. Если ряд точек не попадет на прямую, калибровочную линию проводят так, чтобы она проходила по возможности ближе к нанесенным на графике точкам.

Определение концентрации вещества в растворе по графику проводят следующим образом. Измерив оптическую плотность анализируемого раствора, находят на оси ординат точку, соответствующую данному значению оптической плотности. Проводят из нее линию параллельную оси абсцисс до пересечения с калибровочной линией и опускают из этой точки перпендикуляр на ось абсцисс. По точке пересечения перпендикуляра с этой осью отсчитывают концентрацию определяемого вещества в данном растворе в мг.

Содержание марганца в виде $Mn(MnO)$, % вычисляют по формуле:

$$MnO \% = c \times V_0 \times 100 / (Val \times m \times 1000), \text{ где}$$

c – концентрация анализируемого раствора, найденная по калибровочному графику в мг MnO на 100 мл;

m – навеска сухой почвы, г;

V_0 – объем фильтрата после отделения SiO_2 , мл; Val – аликвота, мл.

Б) Расчет марганца можно проводить и по формуле:

$$MnO \% = Дисп \times Сэт \times V_0 \times 100 / (Дэт \times Val \times m \times 1000), \text{ где}$$

$Дисп$ – оптическая плотность испытуемого раствора;

$Дэт$ – оптическая плотность эталонного раствора, близкого по окраске к испытуемому раствору;

$Сэт$ – концентрация эталонного раствора, мг/100 мл;

m – навеска сухой почвы, г;

V_0 – объем фильтрата после осаждения Si , мл;

Val – аликвота, мл.

Этот метод более точный, чем метод графика, но значительно уступает по скорости получения результатов.

12. Результаты определения записывают в таблицу 11.

Таблица 11

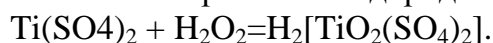
Результаты определения валового содержания марганца

Почва, глубина, см	Навеска сухой почвы, г	Эталонный раствор		Испытуемый раствор		Содержание MnO в мг (по графику)	Объем фильтрата, мл		Навеска почвы соотв. аликвоте, г	MnO %
		$Сэт$, мг/мл	$Дэт$	$Сисп$, мг/мл	$Дисп$		после SiO_2	аликвота		

2.13 Определение валового содержания оксида титана

В кислой среде титан с перексидом водорода образует желто-оранжевый комплекс $[TiO \times H_2O_2]^{2+}$. Определение титана можно проводить непосредственно в аликвоте фильтрата, полученного после отделения кремнекислоты, а также в одной пробе с марганцем, поскольку в ней уже обеспечена необходимая кислая среда и предварительно устранено влияние $Fe(III)$.

Метод основан на образовании надтитановой кислоты, желтого цвета, при взаимодействии сернокислого титана с перекисью водорода:



Окраска устойчива при определенной кислотности (5 % раствор H_2SO_4) и при достаточном избытке H_2O_2 , понижающей диссоциацию окрашенного комплек-

са. Концентрацию раствора определяют с помощью фотоколориметра. Молярный коэффициент поглощения полученного окрашенного раствора $E=550$ при $\lambda=436$ нм.

Лабораторная работа № 12. Определение содержания титана пероксидным колориметрическим методом

Приборы и материалы: фильтрат после осаждения кремнекислоты, пипетка на 25 мл, мерные колбы вместимостью 100 мл, фотоколориметр.

Реактивы

1. 5 % раствор H_2SO_4 (30 мл H_2SO_4 пл. 1,84 на 1 л дистиллированной воды).
2. Перекись водорода H_2O_2 – 30 % раствор.
3. 25 % раствор аммиака
4. H_3PO_4 пл. 1,7.
5. Стандартный раствор титана 0,1 мг/мл. Применяют несколько способов приготовления стандартного раствора титана. В практике анализа почв диоксид титана растворяют в концентрированной серной кислоте. С этой целью 0,1668 г TiO_2 для получения раствора с концентрацией титана 0,1 мг/мл или 0,1000 г TiO_2 для получения раствора с концентрацией TiO_2 0,1 мг/мл помещают в колбу Кьельдаля, прибавляют 3 г сульфата аммония, 30-40 мл концентрированной H_2SO_4 и подогревают на слабонагретой плитке около 50 мин до полного растворения диоксида титана. Полученный раствор охлаждают и количественно переносят в мерную колбу вместимостью 1 л, в которую предварительно было добавлено 100-150 мл дистиллированной воды. Содержимое колбы перемешивают круговыми движениями, объем жидкости доводят до метки 5% раствором H_2SO_4 , колбу закрывают пробкой, и содержимое тщательно перемешивают. Полученный раствор содержит 1 мг Ti в 1 мл или 0,1 мг TiO_2 в 1 мл.

Ход определения

1. Аликвоту (25 мл) фильтрата, полученного при разложении почвы и отделении кремния, помещают в мерную колбу вместимостью 100 мл.
2. Добавляют в колбу по каплям 25 % раствор аммиака до помутнения анализируемого раствора (выпадения гидроксидов).
3. Осадок растворяют несколькими каплями 5 % раствора серной кислоты.
4. В колбу приливают 1 мл концентрированной H_3PO_4 , 15 капель 30 %-ного раствора H_2O_2 и перемешивают.
5. Объем жидкости в колбе доводят до метки 5 % раствором H_2SO_4 , закрывают пробкой и тщательно перемешивают.
6. Оптическую плотность растворов измеряют через 10 мин (длина волны 410 нм).
7. Для построения калибровочного графика в мерные колбы вместимостью 100 мл помещают 1, 2, 4, 8, 10, 16 мл стандартного раствора. Готовят серию эталонных растворов из стандартного раствора, содержащего в 1 мл 0,1 мг TiO_2 . Берут 7 чистых мерных колб емкостью 100 мл и бюреткой наливают в каждую из них определенное количество эталонного раствора.

Шкала эталонных растворов

№ эталона	1	2	3	4	5	6	7
Количество мл эталонного раствора	1	2	4	6	8	10	16
TiO_2 мг/100 мл	0,1	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,6

В каждую колбу приливают по 1 мл 30 % раствора H_2O_2 , доводят раствор до метки 5 % серной кислотой, перемешивают и фотоколориметрируют.

8. Результаты записывают в таблицу 12 и рассчитывают содержание титана.

$$TiO_2 \% = D_{исп} \times c \times V_0 \times 100 / (D_{эт} \times V_{ал} \times m \times 1000), \text{ где}$$

c – концентрация анализируемого раствора, найденная по калибровочному графику в мг Ti(TiO₂) на 100 мл;

m – навеска сухой почвы, г;

V_0 – объем фильтрата после осаждения SiO₂, мл;

$V_{ал}$ – аликвота, мл,

$D_{исп}$ – оптическая плотность испытуемого раствора;

$D_{эт}$ – оптическая плотность эталонного раствора, близкого по окраске к испытуемому раствору.

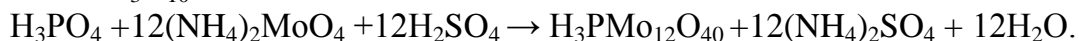
Таблица 12

Результаты определения валового содержания титана

Почва, глубина, г	Навеска сухой почвы, г	Эталонный раствор		Испытуемый раствор		Содержание TiO в мг (по графику)	Объем фильтрата, мл		Навеска почвы соотв. аликвоте, г	TiO, %
		Сэт, мг/мл	Дэт	Сисп, мг/мл	Дисп		после SiO ₂	аликвота		

2.14 Определение валового содержания фосфора

В основе фотометрического определения фосфора лежит его способность образовывать окрашенную в желтый цвет фосфорномолибденовую гетерополикислоту $H_3P(Mo_3O_{10})_4 \times 10H_2O$. Она представляет собой комплексное соединение, содержащее во внутренней сфере в качестве лигандов анионы молибденовой кислоты ($H_2Mo_3O_{10}$). Взаимодействие фосфат-ионов с молибденовокислым аммонием приводит к замещению атомов кислорода в составе аниона ортофосфорной кислоты на анионы $Mo_3O_{10}^{2-}$:



В видимой области спектра интенсивность окраски желтой фосфорномолибденовой гетерополикислоты слабая, поэтому для определения фосфора используют ее восстановленную форму, окрашенную в синий цвет.

При введении в раствор восстановителя ($SnCl_2$) Mo (VI) входящий в состав фосфорномолибденовой гетерополикислоты переходит в Mo (V) и образуется «фосфорно-молибденовая синь».

Лабораторная работа № 13. Определение содержания валового фосфора фотометрически при использовании в качестве восстановителя $SnCl_2$

Приборы и материалы: фильтрат после отделения Si, пипетка на 5-10 мл, термостойкий стакан на 100 мл, электрическая плитка, часовое стекло, маленький плотный фильтр, мерная колба на 100 мл, водяная баня.

Реактивы

1. Порошок металлического алюминия.
2. α -динитрофенол, насыщенный водный раствор (0,25 г растворяют в 100 мл дистиллированной воды при нагревании) или β -динитрофенол 0,1 %.
3. 10 % раствор аммиака или NaOH.
4. 10 % H_2SO_4 : в мерную колбу емкостью 1 л приливают некоторое количество дистиллированной воды, вносят 60,6 мл концентрированной серной кислоты и доводят водой до метки.

5. Раствор молибденовокислого аммония в 10 н H_2SO_4 . Приготавливают 10 н раствор H_2SO_4 : к 500 мл дистиллированной воды осторожно, при помешивании, приливают 280 мл H_2SO_4 (пл. 1,84), охлаждают. Готовят водный раствор молибденовокислого аммония: 25 г $(NH_4)_6Mo_7O_{24} \times 4H_2O$ растворяют в 200 мл дистиллированной воды при нагревании, охлаждают. Вливают раствор молибденовокислого аммония в раствор серной кислоты небольшими порциями. После охлаждения доводят общий объем раствора дистиллированной водой до 1 л. Раствор устойчив, хранят в бутылки из темного стекла.
6. Свежее приготовленный раствор дихлорида олова ($SnCl_2$): 0,25 г $SnCl_2 \times 2H_2O$ растворяют в 10 мл 10 % HCl при нагревании (на водяной бане), охлаждают.
7. Стандартные растворы: 0,1917 г KH_2PO_4 растворяют в 1 л дистиллированной воды. Раствор содержит 0,1 мг P_2O_5 в 1 мл. При растворении 0,2197 г дигидрофосфата калия в литре воды получают раствор с концентрацией P равной 0,05 мг/мл.

Ход определения

1. Аликвоту (5-10 мл) фильтрата после отделения Si помещают в термостойкий стакан вместимостью 100 мл.
2. Нагревают до кипения.
3. Снимают с плитки, прикрывают стеклом и прибавляют по крупинкам порошок алюминия до обесцвечивания раствора, т.е. до полного восстановления $Fe(III)$ до $Fe(II)$. Если раствор обесцветился не полностью, то операцию повторяют.
4. Стакан охлаждают, обмывают над ним стекло и переносят содержимое стакана через маленький плотный фильтр в мерную колбу на 100 мл. Несколько раз промывают стакан и фильтр дистиллированной водой.
5. К раствору в колбу приливают 2-3 капли индикатора α - или β -динитрофенола и 10 % раствор аммиака до появления желтой окраски (рН 4,4 или 4,0 соответственно), которую снимают 1-2 каплями 10 % раствора H_2SO_4 .
6. Разбавляют дистиллированной водой содержимое колбы до 2/3 объема, добавляют 4 мл 2,5 % раствора молибдата аммония $(NH_4)_6Mo_7O_{24} \times 4H_2O$, приготовленного на 10 н растворе H_2SO_4 .
7. Доводят дистиллированной водой почти до метки и прибавляют 6 капель раствора $SnCl_2$.
8. Доливают воду до метки, перемешивают и оставляют на 10 минут.
9. Измеряют оптическую плотность раствора в интервале длин волн 724-740 нм (красный светофильтр).
10. Серия стандартных растворов для построения калибровочного графика: в мерные колбы на 50-100 мл наливают из бюретки 1, 2, 4, 6, 8 и 10 мл разбавленного в 11 раз стандартного раствора, что соответствует 0,01; 0,02; 0,04; 0,06; 0,08; 0,1 мг P_2O_5 в колбе или 0,005; 0,01; 0,02; 0,03; 0,04 и 0,05 мг P в колбе. Окрашивание растворов проводят, как описано в методике.

Шкала эталонных растворов

№ эталона	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Образцовый раствор, мл	1	2	4	6	8	10	20	30	40	50
P_2O_5 мг/100мл	0,01	0,02	0,04	0,06	0,08	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5
Показания прибора										

12. Содержание P или P_2O_5 находят по уравнению:

$$P_2O_5 \% = c \times V_0 \times 100 / (Val \times m \times 1000), \text{ или}$$

$$P_2O_5 \% = c \times 100 \times K_W / (m \times 1000) = c \times K_W / (m \times 10), \text{ где}$$

c – концентрация анализируемого раствора, (по калибровочному графику в мг $P(P_2O_5)$ на 100 мл);

m – навеска сухой почвы, соответствующая аликвоте фильтрата, взятого на определение фосфора, г;

V_0 – объем фильтрата после осаждения Si, мл;

$V_{ал}$ – аликвота, мл, 1000 – перевод миллиграммов P_2O_5 в граммы.

13. Результаты определения записывают в таблицу 13.

Таблица 13

Результаты определения валового содержания фосфора

Почва, глубина, г	Навеска сухой почвы, г	Эталонный раствор		Испытуемый раствор		Содержание P_2O_5 в мг (по графику)	Объем фильтрата, мл		Навеска почвы соотв. аликвоте, г	P_2O_5 , %
		Сэт, мг/мл	Дэт	Сисп, мг/мл	Дисп		после SiO_2	аликвота		

2.15 Определение валового содержания калия и натрия

Определение общего содержания калия и натрия в валовом анализе нельзя проводить при разложении почв сплавлением или спеканием с карбонатами калия и натрия. С этой целью используют спекание с плавнями, не содержащих этих элементов: с карбонатом кальция и хлоридом аммония. В процессе нагревания почвы со смесью карбоната кальция и хлорида аммония происходит термическое разложение реагентов:

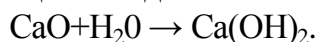


Образующийся оксид кальция взаимодействует с кремнеземом, силикатами и алюмосиликатами с образованием силиката кальция; часть элементов переходит в оксиды, а щелочные и отчасти щелочноземельные элементы – в хлориды. Например, для ортоклаза реакция имеет вид:



Диоксид углерода не участвует в химических превращениях, но ускоряет процесс спекания, увеличивая пористость и реакционную способность компонентов.

При выщелачивании спека водой в раствор переходят хлориды щелочных металлов, большое количество хлорида кальция и гидроксида кальция, образующегося при взаимодействии оксида кальция с водой:



Остальные компоненты спека в воде не растворяются. Кальций осаждают в виде оксалата или карбоната кальция, а щелочные металлы остаются в растворе. Их определяют пламеннофотометрическими или химическими методами.

Лабораторная работа № 14. Спекание почвы с $CaCO_3$ и NH_4Cl

Приборы и материалы: образец почвы для взятия навески, фарфоровый тигель, аналитические весы, технические весы, агатовая ступка и пестик, глянцевая бумага, кисточка, муфельная печь, химический стакан на 300 мл и 500 мл, водяная баня, электрическая плитка, стеклянный пестик или палочка, рыхлый фильтр (белая лента), воронка, стеклянная палочка, мерная колба на 500 мл, промывалка.

Реактивы:

1. NH_4Cl «х.ч.», дополнительно очищенный возгонкой от следов щелочей. На электроплитку помещают платиновую чашку с NH_4Cl . Чашку сверху накрывают холодильником – плоскодонной колбой, на 1/3 заполненной холодной водой. Горло кол-

бы зажимают штативом. Подогревают хлорид аммония до 300-350°C при этом он возгоняется и оседает на колбе в виде кристаллов, откуда их время от времени собирают шпателем.

2. CaCO_3 «х.ч.», свободный от следов щелочей.

3. Дистиллированная вода.

4. 1 % раствор AgNO_3 .

5. HNO_3 (плотность 1,4).

6. 10 % раствор BaCl_2 .

7. 25 % раствор аммиака.

8. 10 % раствор $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$.

9. Суспензия для пропитки фильтров, используемых при спекании в фарфоровых тиглях. В 200 мл 0,02 н раствора HCl растворяют при нагревании до 50-60°C 100 г сернокислого алюминия, осторожно добавляя его маленькими порциями. При необходимости раствор фильтруют. Приливают небольшими порциями 10 % раствор NH_4CO_3 до выпадения обильного осадка $\text{Al}(\text{OH})_3$, а затем еще 1-2 мл. Суспензию охлаждают до комнатной температуры и сливают с осадка прозрачную жидкость. Осадок в стакане 2 раза промывают горячей дистиллированной водой, каждый раз давая жидкости отстояться и сливая ее с осадка. Находящейся в стакане суспензией пропитывают бумажные фильтры (синяя лента). Во влажном виде фильтр сворачивают в виде конуса (по форме тигля) и подсушивают в сушильном шкафу. Пропитку лучше выполнить дважды.

Ход определения

1. Спекание почвы проводят в фарфоровых тиглях.

2. На аналитических весах с точностью до 0,0001 г взвешивают около 0,5 г почвы, растертой до состояния пудры, и переносят в агатовую или яшмовую ступку.

3. Добавляют к навеске почвы в ступку 0,5 г NH_4Cl (навеску берут с точностью до 0,1 г) и тщательно перемешивают смесь пестиком.

4. На кальке отвешивают на технических весах 2 г CaCO_3 , порциями добавляют его к смеси в ступке. Каждую порцию CaCO_3 тщательно перетирают с почвой и хлоридом аммония.

5. Тщательно растирают почву с солями в агатовой или яшмовой ступке.

6. Чтобы не было потерь почвы, под ступку подкладывают лист глянцевой бумаги (черной или цветной), с которой легко собрать просыпавшиеся частицы вновь в ступку. Ступка должна быть просторной. *Тщательное перемешивание почвы с тонко измельченными реагентами путем длительного 15-20 минутного растирания - основное условие успешного разложения почвы спеканием.*

7. Чтобы при нагревании почва не взаимодействовала с глазурью тигля, на дно фарфорового тигля помещают 3-4 вырезанных по размеру дна кружочка фильтровальной бумаги, пропитанной гидроксидом алюминия и высушенной.

8. Затем в тигель помещают конус из такой же бумаги, и в него осторожно переносят из ступки перетертую смесь почвы с солями. Содержимое конуса уплотняют, осторожно постукивая тиглем о поверхность стола. Ступку и пестик очищают от частичек почвы небольшим количеством (приблизительно 0,5 г) сухой соли CaCO_3 и переносят эту соль из ступки в конус, распределяя поверх смеси почвы с солями.

9. Тигель ставят в холодную муфельную печь, постепенно нагревают ее до 200-300°C (такую температуру можно измерять ртутным термометром) и выдерживают 30 мин. Затем нагрев увеличивают и в течение 1-1,5 ч почву спекают при температуре 750-800°C (переход от темно-красного к светло-красному калению).

10. Извлекают тигель из муфеля и дают ему охладиться до комнатной температуры.
11. После этого спек стеклянными пестиком или палочкой и, если необходимо, небольшим количеством горячей дистиллированной воды полностью извлекают из тигля и без потерь переносят в стакан вместимостью 300 мл. Тигель несколько раз обмывают горячей водой над стаканом.
12. Приливают в стакан 25-50 мл горячей воды и помещают его на 15-20 мин на горячую водяную баню. Частицы спека разминают стеклянным пестиком, не вынимая его из стакана. Если спёк разминается с трудом, нагревание на бане делают более продолжительным. Спек должен превратиться в рыхлую гомогенную массу.
13. После чего содержимое стакана фильтруют через рыхлый фильтр (белая лента), оставляя осадок в стакане. Фильтрат собирают в стакан вместимостью 500 мл. Осадок в стакане 8-12 раз промывают при перемешивании хорошо прокипяченной (без CO_2) дистиллированной водой порциями по 25-30 мл. После отстаивания надосадочную жидкость сливают по стеклянной палочке на фильтр.
14. Фильтрат проверяют на присутствие иона Cl (пробы с 1% AgNO_3 подкисленного HNO_3). Слабая опалесценция допустима. Промытый осадок проверяют на полноту спекания (как описано выше) и отбрасывают.
15. Фильтрат в стакане нагревают до 70-80°C, добавляют 1-2 капли фенолфталеина и по каплям, при перемешивании стеклянной палочкой, вводят 25 % раствор аммиака до явно розовой окраски индикатора.
16. Приливают 35 мл 10 % раствор $(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$, перемешивают, кипятят 2 мин и оставляют раствор с осадком на 30 мин на горячей водяной бане.
17. Охладив стакан до комнатной температуры, отфильтровывают осадок через рыхлый фильтр (белая лента). Фильтрат собирают в мерную колбу вместимостью 500 мл.
18. Осадок промывают 6-10 раз хорошо прокипяченной горячей дистиллированной водой, собирают промывные воды в ту же колбу.
19. Осадок отбрасывают.
20. Раствор в колбе после охлаждения до комнатной температуры доливают до метки дистиллированной водой и тщательно перемешивают. В растворе определяют калий и натрий методом пламенной фотометрии.

Лабораторная работа № 15. Пламенно-фотометрическое определение K и Na

Определение калия и натрия пламеннофотометрически проводится более точно по сравнению с определением других почвенных компонентов (высокой чувствительности метода к K, Na, низкотемпературные источники пламени – пропан в смеси с воздухом). Прямая пропорциональность между концентрацией элемента в анализируемом растворе и интенсивностью излучения, регистрируемого прибором, сохраняется в узкой области концентраций. Техника работы на приборах разных марок существенно различается, поэтому подготовка прибора к работе и непосредственные измерения должны выполняться строго по инструкции, прилагаемой к прибору.

Приборы и материалы: фильтрат, полученный при разложении почв; стаканчики, пламенный фотометр.

Реактивы:

1. Стандартный раствор калия: 1,583 г KCl «х.ч.», высушенного до постоянной массы, помещают в мерную колбу 1 л, растворяют в 400 мл дистиллированной воды, перемешивают, доводят до метки водой и тщательно перемешивают. Концентрация K_2O – 1 мг/мл, при растворении 1,908 г KCl в 1 л – концентрация K 1 мг/мл.
2. Стандартный раствор натрия. Навеску 1,886 г NaCl «х.ч.», высушенного до постоян-

ной массы при 105°C, растворяют как в п. 1, получая раствор с концентрацией Na₂O - 1 мг/мл., а при растворении 2,542 г NaCl в 1 л - раствор с концентрацией Na 1 мг/мл.

3.Серия рабочих стандартных растворов. В мерные колбы вместимостью 500 мл с помощью бюретки приливают приведенные в таблице 14 объемы стандартных растворов и дистиллированную воду до метки. Содержимое колб тщательно перемешивают.

4.Дистиллированная вода.

Таблица 14

Шкала стандартных растворов

№ раствора	Объем эталонного раствора в мл	Концентрация K ₂ O(Na ₂ O). мг/л	Показания прибора на K ₂ O, мг/л	Показания прибора на Na ₂ O, мг/л
1	2,5	2,5		
2	5,0	5,0		
3	12,5	12,5		
4	25,0	25,0		
5	37,5	37,5		
6	50,0	50,0		
7	62,5	62,5		
8	75,0	75,0		
9	87,5	87,5		
10	100,0	100,0		

Ход определения:

1. Стандартные растворы с концентрацией калия и натрия от 5 до 100 мкг/мл и анализируемые растворы наливают в стеклянные или полиэтиленовые стаканчики. Стандартные растворы должны кроме определяемого элемента содержать и другие вещества в количествах, характерных для исследуемых растворов.

2. Пламенный фотометр настраивают на определение одного из элементов и измеряют интенсивность излучения определяемого элемента по шкале прибора сначала в серии стандартных, а затем в испытуемых растворах.

Стандартные растворы вводят в распылитель прибора в порядке увеличения концентрации, поэтому распылитель при переходе от одного раствора к другому не промывают. При анализе испытуемых растворов распылитель каждый раз промывают дистиллированной водой.

3. В конце работы проверяют стабильность работы прибора по стандартным растворам.

4. Затем в такой же последовательности проводят определение второго элемента.

5. По результатам измерений стандартных растворов строят калибровочный график, откладывая по оси абсцисс концентрации элементов в растворах (мкг/мл), а по оси ординат – характеристики интенсивности излучения (показания на шкале прибора). По результатам измерений интенсивности излучения и калибровочному графику находят концентрацию определяемого элемента. Проверку калибровочного графика или его отдельных точек делают тем чаще, чем менее стабильны условия возбуждения пламени (давление воздуха, газа и т.д.), но не реже, чем через каждые 8-10 мин.

6. Проводят расчет содержания оксидов и записывают в таблицу 15:

$$K_2O (Na_2O), \% = (c - K - V_0 - 100) / (1000 - m - 1000)$$

где, *m* – навеска воздушно-сухой почвы, г;

*V*₀ – общий объем фильтрата, полученного при разложении почв;

100 – коэффициент пересчета на 100 г почвы;

c – концентрация K₂O (Na₂O), найденная по графику, мг/мл;

K – коэффициент пересчета на сухую почву;

1000 – коэффициент для пересчета концентрации K₂O (Na₂O) на 1 мл;

1000 – коэффициент для пересчета миллиграммов в граммы.

Результаты валового определения калия и натрия

Навеска, г	Объем фильтра, V_0 , мл	K_w	Показания прибора	K_2O по графику, мг/л	% K_2O	Показания прибора	Na_2O по графику, мг/л	% Na_2O

2.16 Способы выражения элементного состава почвы

Распространен традиционный и простейший способ вычисления результатов анализа валового элементного состава почвы в процентах (массовых) высших оксидов элементов, входящих в состав почвы (Полынов Б.Б., 1956; Мякина Н.Б., 1979). Этот способ наиболее применим для макроэлементов.

При полном валовом анализе учитывают следующие оксиды: SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , TiO_2 , Na_2O , MnO , CaO , MgO , SO_3 , P_2O_5 , K_2O . В первом приближении можно считать, что в пересчете на прокаленную навеску почвы сумма высших оксидов должна быть близка 100 %. Допустимые отклонения не должны превышать 1-1,5 %. Такая проверка несколько условна, так как не во всех почвах и не всегда валентное состояние оксидов отвечает их высшим оксидам, не все элементы в почвах представлены кислородными соединениями.

Из перечисленных выше макроэлементов в разных степенях окисленности в почвах могут находиться Fe, Mn, S. В восстановленных почвах некоторые элементы могут быть представлены сульфидами. Если, например, результаты анализа пирита FeS_2 выразить в оксидах, то сумма оксидов составит более 200 %. Однако для большинства почв проверка правильности анализа элементного состава по сумме оксидов оказывается вполне приемлемой.

Выражение результатов валового анализа почв в оксидах и в весовых процентах имеет существенные недостатки.

1. Условная форма записи в виде высших оксидов не соответствует реально присутствующим в почвах соединениям. Только Si, Ti, Fe и Al частично находятся в почвах в форме оксидов различной степени окристаллизованности. Остальные оксиды не могут существовать в почве в свободном состоянии.

2. Оксидная форма искажает представление о соотношении количеств различных элементов в составе почвы, так как весовая и мольная доли кислорода в составе оксидов различных элементов неодинаковы. Например, доля серы в составе SO_3 составляет только 40 % массы оксида, тогда как доля калия в составе K_2O равна 83 %. Если, например, в почве содержится 1,5 % K_2O и 0,3 % SO_3 , то по таким данным содержание K_2O в почве в 5 раз больше, чем SO_3 ; а в пересчете на элементы содержание калия оказывается равным 1,25 %, а S – 0,12 %, т. е. количество калия в 10 раз превышает количество серы. Таким образом, содержание оксидов не дает правильного представления о накоплении в почве химических элементов и их соотношении.

3. Правильному восприятию элементного состава почвы мешает и выражение результатов анализов в массовых процентах, даже если состав представлен в элементах, а не в оксидах. В химических реакциях и процессах участвуют атомы, ионы и молекулы, конечный результат зависит от числа вступивших в реакцию молекул или от числа атомов, перенесенных из одного почвенного горизонта в дру-

гой. Таким образом, итог процесса, его интенсивность должны быть выражены числом частиц вещества, а не его массой.

Например. Сравним поведение алюминия и железа в черноземе. В пахотном горизонте типичного чернозема (Курская область) содержится 9,2 % Al_2O_3 и 3,7 % Fe_2O_3 . В пересчете на элементы это составит 4,9 % алюминия и 2,6 % железа. Атомные массы этих элементов резко различны и равны 26,98 и 55,85 для алюминия и железа соответственно. Следовательно, в 100 г почвы содержится 0,18 моля Al и 0,047 моля Fe. Если по массе содержание алюминия в 1,9 раза превышает содержание железа, то по числу атомов – в 3,8 раза.

Количественные соотношения между содержанием отдельных элементов широко используются почвоведом для решения многих генетических вопросов, и, решение задачи может зависеть от выбранного способа выражения результатов анализов. В практике почвоведения нередки и такие случаи, когда выводы о преобладании того или иного элемента могут быть изменены на противоположные при правильном выборе способа выражения результатов анализа.

Например. Дерново-подзолистая почва в горизонте E (A_2) содержит 0,95 % CaO и 0,75 % MgO или в пересчете на Ca и Mg – 0,68 и 0,45 % соответственно. Сравнение этих величин показывает преобладание Ca над Mg. Однако число молей Ca в 100 г почвы оказывается меньше, чем число молей магния – 0,017 и 0,019 соответственно.

Таким образом, при исследованиях химического строения почвенных компонентов, их трансформации, закономерностей миграции и аккумуляции элементов результаты определения элементного состава следует выражать:

а) в молях на определенную массу (кг) и (или) объем почвы. Согласно Международной системе единиц измерений (СИ), *моль* – это количество простого или сложного вещества, содержащее такое количество структурных элементов (атомов, молекул, ионов или электронов), которое равно числу атомов в 12 г изотопа углерода ^{12}C , а именно $6,022 \cdot 10^{23}$ (число Авогадро). Чтобы найти число молей элемента в 1 кг почвы, надо его процентное содержание в почве разделить на атомную массу (АМ) и умножить на десять: $\text{моль/кг} = (\% \cdot 10) : \text{АМ}$;

б) также можно пользоваться мольными долями или мольными процентами. *Мольная доля* – это число молей данного элемента (компонента), отнесенное к общему числу молей всех элементов (компонентов), составляющих почву. Мольная доля может изменяться от нуля до единицы. *Мольный процент* – то же, что и мольная доля, но выраженная в процентах; изменяется от нуля до 100 %.

В таблице 16 приведен элементный состав дерново-подзолистой почвы, выраженный различными способами.

Сумма оксидов, как видно из таблицы, составляет от 89 до 97 %. Недостающее до 100 % количество приходится на MnO , P_2O_5 , SO_3 и на органические вещества. Наименьшая сумма – 89,35 % - найдена для верхнего горизонта A_1E , в котором содержится наибольшее количество органического вещества. По весовому содержанию оксиды располагаются в следующий убывающий ряд: $SiO_2 > Al_2O_3 > Fe_2O_3 > K_2O > MgO, CaO, Na_2O$.

При пересчете на элементы этот ряд сохраняется, но соотношение элементов меняется. Так, в горизонте A_1E отношение SiO_2/Al_2O_3 равно 8,4, тогда как отношение $Si/Al = 7,4$. Еще резче это различие выражено при сопоставлении кремния и железа. В том же горизонте отношение $SiO_2/Fe_2O_3 = 28,4$, а $Si/Fe = 19,0$.

Элементный состав дерново-подзолистой почвы в расчете
на абсолютно сухую навеску (Орлов Д.С., 2005)

I. Процентное (по массе) содержание оксидов

Горизонт	Глубина, см	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	Сумма
A ₁ E	2-11	73,04	8,74	2,57	1,02	0,66	2,22	1,10	89,35
E	11-27	78,43	10,02	2,69	0,92	0,73	2,37	1,20	96,36
E	33-42	81,34	7,83	2,65	1,19	0,72	2,23	1,17	97,13
B ₁	60-87	73,85	11,52	4,39	1,12	1,28	2,71	1,04	95,91
B ₂	90-100	72,49	12,34	4,88	1,17	1,30	2,70	1,10	95,98
B ₃	170-190	70,00	13,59	5,26	1,03	1,76	2,62	1,07	95,33

II. Процентное (по массе) содержание элементов

Горизонт	Глубина, см	Si	Al	Fe	Ca	Mg	K	Na	O
A ₁ E	2-11	34,18	4,62	1,80	0,73	0,40	1,84	0,82	44,96
E	11-27	36,71	5,30	1,88	0,66	0,44	1,97	0,89	48,51
E	33-42	38,07	4,14	1,85	0,85	0,43	1,85	0,87	49,07
B ₁	60-87	34,56	6,09	3,07	0,80	0,76	2,25	0,77	47,61
B ₂	90-100	33,93	6,53	3,41	0,84	0,78	2,24	0,82	47,43
B ₃	170-190	32,76	7,19	3,68	0,74	1,06	2,17	0,79	47,94

III. Содержание элементов, моль/кг

Горизонт	Глубина, см	Si	Al	Fe	Ca	Mg	K	Na	O
A ₁ E	2-11	12,17	1,71	0,32	0,18	0,16	0,47	0,36	28,10
E	11-27	13,07	1,96	0,34	0,16	0,18	0,50	0,39	30,32
E	33-42	13,55	1,53	0,33	0,21	0,18	0,47	0,38	30,67
B ₁	60-87	12,30	2,26	0,55	0,20	0,31	0,58	0,33	29,76
B ₂	90-110	12,08	2,42	0,61	0,21	0,32	0,57	0,36	29,64
B ₃	170-190	11,66	2,66	0,66	0,19	0,44	0,56	0,35	29,34

IV. Мольные доли элементов, % от суммы молей

Горизонт	Глубина, см	Сумма, моль/кг	Si	Al	Fe	Ca	Mg	K	Na	O
A ₁ E	2-11	43,47	28,0	3,9	0,7	0,4	0,4	1,1	0,8	64,6
E	11-27	46,92	27,9	4,2	0,7	0,3	0,4	1,1	0,8	64,6
E	33-42	47,32	28,6	3,2	0,7	0,4	0,4	1,0	0,8	64,8
B ₁	60-87	46,29	26,6	4,9	1,2	0,4	0,7	1,3	0,7	64,3
B ₂	90-110	46,21	26,1	5,2	1,3	0,5	0,7	1,2	0,8	64,1
B ₃	170-190	45,86	25,4	5,8	1,4	0,4	1,0	1,2	0,8	64,0

Пересчетные коэффициенты отношений зависят от атомных масс и формулы оксида. В таблице 17 приведены некоторые массовые пересчетные коэффициенты.

Пересчетные коэффициенты неодинаковы, и это означает, что выводы о накоплении, миграции элементов, их перераспределении в почвенном профиле будут различны в зависимости от выбранной формы выражения результатов анализа.

Более контрастны заключения при использовании не массовых, а мольных величин.

Например. В массовом выражении количество Al в 2-3 раза превышает содержание Fe, а по числу атомов в 4-5 раз больше, чем Fe (см. табл. 14). По массе количество Ca в верхних горизонтах в 1,5-2 раза больше, чем Mg, но по числу атомов уровни содержания Ca и Mg соизмеримы или даже Mg преобладает. Также сглаживаются различия между калием и натрием.

Массовые пересчетные коэффициенты

Исходное отношение	Искомое отношение	Пересчетный коэффициент
$\frac{\text{SiO}_2}{\text{Al}_2\text{O}_3}$	$\frac{\text{Si}}{\text{Al}}$	0,88
$\frac{\text{SiO}_2}{\text{Fe}_2\text{O}_3}$	$\frac{\text{Si}}{\text{Fe}}$	0,67
$\frac{\text{SiO}_2}{\text{CaO}}$	$\frac{\text{Si}}{\text{Ca}}$	0,63
$\frac{\text{SiO}_2}{\text{MgO}}$	$\frac{\text{Si}}{\text{Mg}}$	0,77
$\frac{\text{SiO}_2}{\text{K}_2\text{O}}$	$\frac{\text{Si}}{\text{K}}$	0,56
$\frac{\text{SiO}_2}{\text{Na}_2\text{O}}$	$\frac{\text{Si}}{\text{Na}}$	0,63

Генетические вопросы в почвоведении во многом основаны на количественной химической характеристике почв и на соотношении элементов (или групп элементов), поэтому выбор способа вычисления имеет принципиально важное значение. В зависимости от решаемой задачи могут быть использованы различные способы расчета результатов анализов. Наиболее употребительны из них следующие:

- вычисление на воздушно-сухую массу (навеску) почвы;
- вычисление на абсолютно сухую (высушенную при 105 °С) почву;
- расчет на прокаленную почву;
- расчет на безгумусную массу почвы;
- расчет на бескарбонатную почву;
- расчет на безгумусную и бескарбонатную почву;
- вычисление на определенный объем почвы.

Кроме того, прибегают и к различным частным показателям. Например, пересчет ведется не на всю почву, а на ее часть. Так, содержание углерода и азота можно вычислять не на всю массу почвы, а только на количество содержащегося в ней органического вещества. Это позволяет выявить качественные особенности гумуса. Каждый показатель и способ расчета должен опираться на определенный физический смысл, только тогда он будет полезен и не внесет путаницы в оценку химических свойств почвы.

Цель пересчета элементного состава почвы на высушенную навеску обусловлена необходимостью сопоставления почв в некотором условно выбранном стандартном состоянии. Влажность почв – величина переменная, зависит от срока и условий взятия образца в поле, его хранения, влажности воздуха в лаборатории. Поэтому принято расчет вести на почву, высушенную при 105 °С. Считается, что при этом удаляется гигроскопическая вода (сорбированная из воздуха), но не затрагивается вода конституционная.

Если для анализа была взята влажная или воздушно-сухая почва, то для пересчета на абсолютно сухую почву содержание определяемого элемента умножают на коэффициент K_w .

Для пересчета элементного состава на безгумусную, бескарбонатную почву и т. п. используется коэффициент иного вида: $100/(100 - x)$, где x – процентное содержание в почве гумуса, карбонатов или любого другого компонента (или их суммы), влияние которого на элементный состав необходимо элиминировать.

Различия в способах расчета обусловлены тем, что содержание воды в почве вычисляют на безводную навеску, тогда как содержание гумуса (карбонатов и т. п.) – на всю массу почвы, включая гумус (карбонаты и т. п.).

Пересчет элементного состава на безгумусную (бескарбонатную и т. п.) навеску осуществляют для того, чтобы выявить реальную профильную дифференциацию почвы по элементному составу. Неодинаковое содержание какого-либо элемента в двух сравниваемых генетических горизонтах может быть обусловлено тремя различными причинами:

- 1) неоднородностью почвообразующей породы;
- 2) абсолютным накоплением или потерей элемента за счет переноса его соединений в почвенном профиле;
- 3) относительным накоплением (потерей) элемента вследствие потери (накопления) в данном горизонте других химических веществ.

Различают абсолютное накопление (потерю) и относительное. Кажущееся обеднение генетического горизонта каким-либо элементом (относительная потеря) часто наблюдается при аккумуляции гумуса, карбонатов или легкорастворимых солей. Если, например, в верхнем перегнойно-аккумулятивном горизонте накопилось значительное количество органического вещества, то доля минеральных компонентов (не накапливающихся в составе органического вещества) окажется пониженной, если элементный состав выразить в молях или процентах на воздушно-сухую почву. Доля тех же элементов в нижележащем горизонте окажется уже повышенной. Это может повлечь ложный вывод о миграционных процессах в профиле почвы. Рассматриваемые способы пересчета позволяют избежать ложных выводов, сделать верное заключение о процессах миграции и аккумуляции веществ.

Почвообразовательный процесс сопровождается не только химическими изменениями; меняется и объемная масса (относительная плотность) почвы. Это может происходить за счет механического разрыхления или уплотнения почвообразующей породы, а также вследствие привноса вещества, заполняющего поры почвы. Выщелачивание ряда веществ может увеличивать порозность почвы, что, в свою очередь, снижает плотность горизонта. В таких условиях информация об элементном составе окажется неполной или неточной, если не учитывать изменение объема почвы. Особенно важны эти параметры при решении балансовых задач.

Относительную плотность почвы можно учесть двумя путями:

- 1) выражением элементного состава не на единицу массы почвы, а на единицу ее объема;

- 2) подсчетом запасов элементов. Запасы обычно вычисляют для каждого горизонта почвы в отдельности в расчете на гектар или на призму с площадью горизонтального сечения, равной 1 м^2 . Для быстрого вычисления запасов можно воспользоваться формулой:

$$Z = 1000hVX, \text{ где}$$

Z – запас элемента, кг/га, в слое почвы мощностью h , см;

V – объемная масса почвы, г/см^3 ;

X – содержание элемента, %.

Запасы элементов вычисляют послойно (на горизонт или на определенную мощность почвенного слоя). Общий запас элемента в почве (в кг/га, т/га, г/см^2 и т. п.) находят суммированием запасов во всех генетических горизонтах, например:

$$Z_{\Sigma} = Z_{A1} + Z_E + Z_B + \dots$$

Практически в большинстве случаев ограничиваются нахождением запасов элементов в пахотном слое почвы (0-20 см), в слое 0-50 см или 0-100 см.

Анализ запасов элементов или веществ позволяет вскрыть причины некоторых изменений химического состава, происходящих при распашке почв, их окультуривании, мелиорации. Изучение только содержания элементов в отдельных слоях почвы может привести к ошибочным выводам. Типичный пример – характер изменения содержания углерода органического вещества при распашке целинных почв. Практически в любых целинных почвах максимальное содержание органического углерода приурочено к самому поверхностному слою, чаще всего это слой 0-5 см или 0-10 см.

2.17 Эколого-генетическая оценка валового состава почв

В целом химический состав наследуется от материнской породы, которая в процессе почвообразования преобразуется, обогащается химическими элементами органического вещества (С, О, Н, N, Р и др.), а также минеральными элементами-биофилами, поэтому особой спецификой состава отличаются верхние гумусовые горизонты.

В ходе почвообразовательного процесса соотношение элементов либо остается постоянным, либо закономерно изменяется. Анализ соотношения концентраций пар элементов позволяет получить новую информацию о свойствах почв и протекающих в них процессах.

В процессе почвообразования происходят весьма существенные преобразования химического состава исходных почвообразующих пород, связанные с целой серией почвенных процессов и антропогенного воздействия:

- переход химических элементов из одних соединений в другие в связи с трансформацией первичных минералов во вторичные;
- вынос химических элементов с почвенными растворами за пределы профиля почвы и коры выветривания при постоянном промывании почвы атмосферными осадками;
- перераспределение химических элементов между генетическими горизонтами в процессах элювиально-иллювиальной дифференциации почвенного профиля;
- накопление химических элементов за счет притока их с грунтовыми водами при образовании засоленных почв;
- антропогенное загрязнение почв при поступлении элементов из атмосферы с осадками и импัลверизацией;
- антропогенное загрязнение почв при использовании ядохимикатов и минеральных удобрений.

Эколого-генетическая оценка валового состава почв проводится по следующим показателям.

1. *Мольные отношения элементов.* В почвоведении используют вычисление отношений пар: С:N, С:Н, С:О, SiO₂:Al₂O₃, SiO₂:Fe₂O₃. По отношению С:Н можно сделать заключение о типе строения органических веществ; отношение С:N характеризует обогащенность гумуса азотом и позволяет судить об особенностях гумусообразования. Величина SiO₂:Al₂O₃ характерна для различных типов глинистых минералов и может быть использована как дополнительный диагностический признак при определении минералогического состава. Отношения SiO₂:Al₂O₃ или SiO₂:Fe₂O₃ используют для определения кор выветривания и почв на типы по их

химическому составу. Эти отношения вычисляют как мольные (молекулярные) величины: содержание элементов в % разделить на их атомные массы.

Оценка типа выветривания (преобразование химического состава почвы и коры выветривания) проводится по результатам анализа содержания основных компонентов почвенной массы: SiO_2 , Al_2O_3 и Fe_2O_3 . Сумму $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ называют полуторными окислами и обозначают R_2O_3 . При вычислении отношения $\text{SiO}_2:\text{R}_2\text{O}_3$ сначала находят сумму молей $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$, которая равна: $\text{Al}_2\text{O}_3/102 + \text{Fe}_2\text{O}_3/160$. Затем на эту сумму делят число молей SiO_2 .

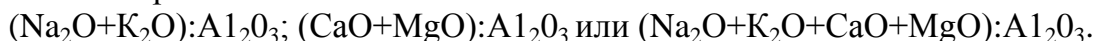
Почвы и коры выветривания по соотношению содержания SiO_2 и R_2O_3 классифицируются по С. В. Зонну как:

- *аллитные* (Al-lito) ($\text{SiO}_2:\text{R}_2\text{O}_3 < 2,5$) с подразделением на собственно аллитные (Al_2O_3 резко преобладает над Fe_2O_3), ферраллитные (Al_2O_3 преобладает над Fe_2O_3) и ферритные (Fe_2O_3 преобладает над SiO_2 , и Al_2O_3 во всей массе коры);
- *сиаллитные* ($\text{SiO}_2:\text{R}_2\text{O}_3 > 2,5$) с подразделением на сиаллитные и феррсиаллитные, для которых характерно суженное отношение $\text{SiO}_2:\text{Fe}_2\text{O}_3$.

Анализ мольных отношений показывает, какие элементы накапливаются в породе в результате выветривания.

Аллитные (ферраллитные) почвы типичны для влажных тропиков и субтропиков, где наблюдается в процессах выветривания и почвообразования интенсивное разрушение первичных и вторичных силикатов и алюмосиликатов со столь же интенсивным выносом SiO_2 и накоплением Al_2O_3 и Fe_2O_3 в почвенной массе. Сиаллитные почвы характерны для умеренных широт, где в значительной степени может преобладать миграция соединений алюминия и железа при относительной стабильности SiO_2 .

Для оценки потери и накопления щелочных и щелочно-земельных элементов в продуктах выветривания вычисляют мольные отношения:



Способ вычисления аналогичен изложенному выше.

При использовании элементного состава как дополнительного признака для идентификации глинистых минералов также необходимо вычисление мольных отношений элементов или их оксидов. Каолинит характеризуется мольным отношением $\text{Si} : \text{Al} = 1:1$, или $\text{SiO}_2 : \text{Al}_2\text{O}_3 = 2$; такое же отношение $\text{Si} : \text{Al}$ в мусковите. В минералах группы монтмориллонита отношение $\text{SiO}_2 : \text{R}_2\text{O}_3$ повышено до 4.

2. *Дифференциация профиля почвы по валовому составу.* Профиль почвы дифференцируется на генетические горизонты в процессе развития (приложение 3). Генетические горизонты конкретной почвы, несмотря на уровень различия в свойствах, составляют единое целое, взаимосвязаны и взаимообусловлены.

Для оценки уровня дифференциации почвенного профиля применяются отношения $\text{SiO}_2 : \text{Al}_2\text{O}_3$, $\text{SiO}_2 : \text{Fe}_2\text{O}_3$, $\text{SiO}_2 : \text{R}_2\text{O}_3$. Эти отношения позволяют судить о контрастности валового состава почвенного профиля и о перемещении соединений Al и Fe в генетических горизонтах. Расчеты ведутся относительно кремнезема, как устойчивого к миграции оксида и имеющего тенденцию в связи с этим слабого количественного изменения в сравнении с материнской породой. За 1,00 принимаются молярные отношения в горизонте С, а в генетических горизонтах рассчитывается величина E_{AR} для какого-либо элемента R (или его оксида) по формуле:

$$E_{AR} = (\text{SiO}_2 : \text{R}_2\text{O}_3 \text{ породы}) / (\text{SiO}_2 : \text{R}_2\text{O}_3 \text{ горизонта}), \text{ или}$$

$$E_{AR} = R_1 S_0 / R_0 S_1, \text{ где}$$

R_1 – содержание элемента (его оксида) в изучаемом горизонте;

R_0 – содержание элемента (его оксида) в неизменной почвообразующей породе;
 S_1 – содержание стабильного элемента (его оксида) не мигрирующего по почвенному профилю в изучаемом горизонте;
 S_0 – содержание стабильного элемента (его оксида) не мигрирующего по почвенному профилю в почвообразующей породе.

Содержание элемента (оксида) можно выражать в любой удобной форме, так как пересчетные коэффициенты оксида на элемент, процента на моли и т.п. входят и в числитель, и в знаменатель, не влияя на величину коэффициента $E A_R$.

Обобщенные данные приведены в таблице 18.

Таблица 18

Коэффициент элювиально-иллювиальной миграции Al_2O_3 и Fe_2O_3 (R_2O_3) в генетических горизонтах почв в сравнении с материнской породой (отношение $SiO_2: R_2O_3$ в породе к $SiO_2: R_2O_3$ в горизонте) (Вальков В.Ф., 2004)

Коэффициент миграции	Оценка элювиально-иллювиальной дифференциации
1,0	Материнская порода
0,90-1,10	Отсутствие выноса, слабая убыль или накопление компонента в генетическом горизонте по отношению к материнской породе. Эти величины характерны для горизонтов черноземов и иллювиально-метаморфических горизонтов лесных почв
Элювиирование полуторных окислов	
0,75-0,90	Средняя степень убыли, характеризующая переходные горизонты лесных почв и перегнойно-аккумулятивные горизонты сухостепных несолонцеватых почв
0,50-0,75	0,50-0,75 - интенсивный вынос R_2O_3 , наблюдаемый в типично элювиальных горизонтах различных почв
Иллювиирование полуторных окислов	
1,10-1,25	Типичное накопление полуторных окислов в иллювиальных горизонтах лесных и солощеватоосолоделых почв
более 1,25	Сильное иллювиирование соединений полуторных окислов, характерное для подзолов солонцов и солодей

3. *Коэффициенты дифференциации генетических горизонтов почвенного профиля.* При интерпретации данных валового состава следует различать относительное увеличение или уменьшение и абсолютное увеличение или уменьшение массы веществ в объеме горизонтов в сравнении с таким же объемом материнской породы. Часто употребляемые термины «накопление» «вынос» не всегда правильно отражают сущность явлений. Они приемлемы для почв с элювиальными и иллювиальными процессами, но не могут быть применены к почвам, не дифференцированным по валовому составу. Увеличение массы вещества или ее уменьшение в горизонте в этих случаях обуславливается изменениями физического состояния почвенной массы (плотность, порозность, структурность).

Относительные величины определяются валовым составом, выраженным в процентах по отношению к весу почвы. Здесь валовой состав отражает процентное отношение компонентов безотносительно к увеличению или уменьшению общей массы в горизонтах почвенного профиля.

Абсолютное увеличение или уменьшение по отношению к исходной материнской породе может быть выражено количеством компонента в единице объема почвы. Для этого используются пересчеты весовых процентов валового состава в количество компонента в $кг/м^2$, $г/дм^3$ в объеме генетических горизонтов и др. Очень часто абсолютные

и относительные величины не совпадают. Например, в элювиальных горизонтах лесных почв происходит относительное накопление SiO_2 при абсолютном его выносе, а в горизонтах В – относительное накопление Al_2O_3 и Fe_2O_3 при абсолютном его элювиировании. Следовательно, одностороннее рассмотрение валового состава может ввести исследователя в заблуждение в отношении действительного характера явлений.

Для суждения о степени контрастности почвенного профиля по данным содержания компонента в процентах и в единице объема рассчитывают коэффициенты дифференциации (Методика Почвенного института им. В.В. Докучаева):

$$S = K \text{ в гор. В} / K \text{ в гор. А},$$

где S - коэффициент дифференциации;

K в гор. В - количество компонентов в горизонте В, % или г/дм³;

K в гор. А - количество компонента в наиболее элювиальном горизонте, % или г/дм³.

Коэффициенты дифференциации позволяют количественно оценивать контрастность горизонтов почвенного профиля, возникшую вследствие элювиально-иллювиальных явлений, текстурного оглинивания, дернового процесса и др.

Относительное сравнение содержания веществ или элементов в генетических горизонтах почвы по сравнению с материнской породой стало типичным для исследований не только валового состава, но и других компонентов почвы.

4. *Балансовые расчеты.* Для установления абсолютных величин уменьшения или увеличения массы отдельных компонентов валового состава, а также ила по генетическим горизонтам и в полном профиле используются балансовые расчеты. Метод основывается на принципах, разработанных Кундлером. Предполагается, что подпочва является исходной материнской породой, которая претерпевает изменения в процессе почвообразования. Генетические горизонты почвенного профиля сравниваются по абсолютному содержанию веществ со слоем почвообразующей породы *такой же мощности*:

$$\pm B = (10 \cdot h \cdot d \cdot K_r) - (10 \cdot h \cdot d_0 \cdot K_0), \text{ где}$$

$\pm B$ – уменьшение или увеличение массы компонента в горизонте, г/м²;

h - мощность горизонта, дм;

d - плотность горизонта;

d₀ - плотность почвообразующей породы;

K_r - содержание компонента в горизонте, % от веса;

K₀ - содержание компонента в почвообразующей породе, % от веса.

Уменьшение массы веществ может происходить за счет оструктурирования горизонтов в процессе почвообразования, что типично для черноземов, каштановых и других почв и связано с развитием дернового процесса. Уменьшается масса также в результате явлений элювиирования. Увеличение же массы происходит вследствие слитогенеза или иллювиирования. Возможно и совокупное действие этих явлений.

Балансовые расчеты позволяют оценивать увеличение или уменьшение массы в генетических горизонтах и профиле как отдельных компонентов, так и суммы веществ в целом:

$$\pm V_m = \Sigma \text{SiO}_2, \text{R}_2\text{O}_3, \text{CaO}, \text{MgO} / hd, \text{ где}$$

$\pm V_m$ - изменение массы горизонта, % от массы материнской породы;

$\Sigma \text{SiO}_2, \text{R}_2\text{O}_3, \text{CaO}, \text{MgO}$ – сумма уменьшения или увеличения массы отдельных компонентов, кг/м²;

h - мощность горизонта, дм;

d - объемный вес материнской породы.

Изучение различных типов профилей показывает резкое несходство уменьшения и увеличения массы горизонтов одной и той же почвы. Верхние перегнойно-аккумулятивные структурные и элювиальные горизонты всегда в процессе почвообразования уменьшают массу. Уменьшение массы может быть:

- слабое - до 10 % от массы материнской породы;
- сильное - на 20-30 %;
- очень сильное уменьшение массы – более чем на 30 % - может наблюдаться в элювиальных горизонтах подзолов, псевдоподзолов, солонцов и солодей, образовавшихся на тяжелых плотных глинах.

Иллювиальные, текстурные и переходные горизонты в различных почвах характеризуются или уменьшением или увеличением массы. Уменьшение массы всегда выражено значительно слабее, чем в верхних горизонтах. Степень же увеличения массы никогда не является обратно пропорциональной ее уменьшению, а значительно отстает от этого уменьшения.

5. Тип профиля по распределению вещества в почвенном профиле (Розанов Б.Г., 2004).

1. Аккумулятивный тип характеризует профили с максимальным накоплением веществ (например, гумуса) с поверхности при постепенном падении их содержания с глубиной (рис. 2). Генетически такая аккумуляция может быть как за счет поверхностного поступления вещества (гумуса), так и за счет их приноса грунтовыми водами (соли); морфологически же такие профили будут однотипными. В пределах этого типа можно выделить три подтипа: 1а – регрессивно-аккумулятивный (резкое падение содержания вещества с глубиной, как, например, гумуса в лесных почвах); 1б – прогрессивно-аккумулятивный (выпуклый характер кривой распределения); 1в – равномерно-аккумулятивный (постепенное равномерное снижение содержания с глубиной).

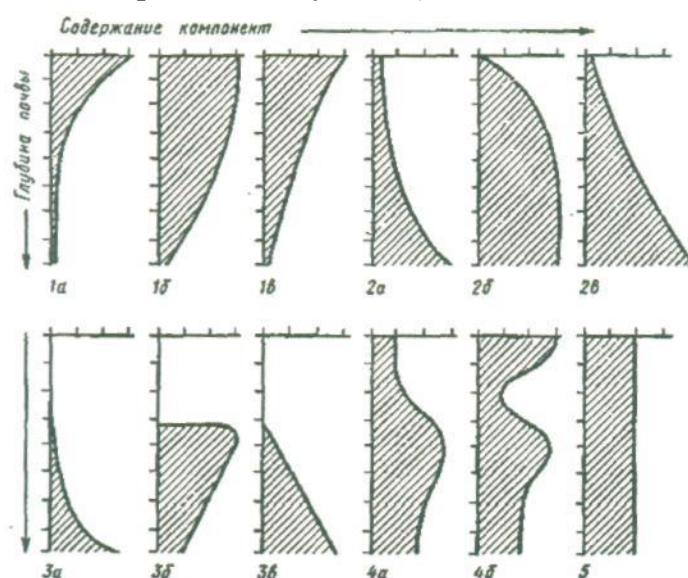


Рис. 2. Типы распределения веществ в почвенном профиле:

- 1а – регрессивно-аккумулятивный; 1б – прогрессивно-аккумулятивный;
 1в – равномерно-аккумулятивный; 2а – регрессивно-элювиальный;
 2б – прогрессивно-элювиальный; 2в – равномерно-элювиальный;
 3а – регрессивно-грунтово-аккумулятивный;
 3б – прогрессивно-грунтово-аккумулятивный; 3в – равномерно-грунтово-аккумулятивный;
 4а – элювиально-иллювиальный; 4б – аккумулятивно-элювиально-иллювиальный;
 5 – недифференцированный.

2. Элювиальный тип характеризует профили, где большое значение имеет процесс разрушения и выноса веществ за пределы профиля. Такие профили сравнительно редки, но они существуют в природе. По характеру кривой распределения также можно выделить три подтипа: 2а – регрессивно-элювиальный (вогнутая кривая), 2б – прогрессивно-элювиальный (выпуклая кривая); 2в – равномерно-элювиальный. Такие профили особенно часто образуются в отношении карбонатов или водно-растворимых солей.

3. Грунтово-аккумулятивный тип характеризует гидроморфные или палеогидроморфные почвы (Ковда В.А., 1973). В зависимости от стадии процесса и интенсивности накопления веществ, например, вторичного засоления орошаемых почв, выделяются три подтипа также по характеру кривых распределения: 3а – регрессивно-грунтово-аккумулятивный (вогнутая кривая); 3б – прогрессивно-грунтово-аккумулятивный (выпуклая кривая); 3в – равномерно-грунтово-аккумулятивный. Генетически такой тип профиля всегда связан с грунтовыми водами и перемещением веществ вверх по профилю.

Практически этот тип профильного распределения не всегда легко отличить от элювиального (за исключением, может быть, четко выделяемого подтипа 3б). Требуется специальное генетическое исследование с привлечением комплекса подходов и методов, чтобы сказать однозначно, к какому типу относится тот или иной профиль. Если в отношении водно-растворимых солей это более или менее легко можно сделать, имея солевой профиль почвы, то в отношении карбонатов, гипса, полуторных окислов имеются значительные трудности в интерпретации.

4. Элювиально-иллювиальный тип встречается наиболее часто в почвах, характеризующихся наличием выноса веществ с поверхности вниз. При этом вещества, выносимые сверху, осаждаются в пределах почвенного профиля, образуя иллювиальный горизонт. Характерным примером может служить профиль подзолистых почв. В некоторых случаях может иметь место усложнение такого профиля поверхностной аккумуляцией веществ и тогда образуется аккумулятивно-элювиально-иллювиальный профиль подтипа 4б. Примером такого профиля может служить бурозем, сформировавшийся из подзолистой почвы при смене хвойного леса широколиственным.

5. Недифференцированный тип характеризует равномерное распределение веществ во всем почвенном профиле (например, R_2O_3 в профиле типичного чернозема).

Описанные 12 типов распределения веществ в почвенном профиле достаточно полно отражают все встречающиеся в природе случаи, важные для детального генетического анализа почв и почвенного покрова. Часто в одной и той же почве могут сочетаться разные типы профилей распределения. Например, в дерново-подзолистой почве имеет место сочетание аккумулятивного профиля гумуса, элювиально-иллювиального профиля глины и полуторных окислов и элювиального профиля натрия и калия. Все эти сочетания дают разнообразие генетических типов профилей почв.

Сочетание различных типов строения профилей (по соотношению генетических горизонтов) и типов распределения веществ в профиле дает группу генетических типов почвенных профилей, включающую все разнообразие типов почв (приложение 3). Группа генетических типов профилей включает следующие представители, характеризующие главные особенности строения почвенного профиля:

а) *недифференцированный (примитивный) профиль* характеризует первые стадии почвообразования, когда возраст почвы еще слишком небольшой для формирования полностью дифференцированного на генетические горизонты профиля, либо почвы на крайне бедных выветриваемыми минералами породах (на кварцевых песках, например). Обычно такой профиль имеет строение (А) С или АС, либо имеет зачатки иных почвенных горизонтов, лишь с трудом отличаемые от почвообразующей породы;

б) *изогумусовый профиль* – профиль почв, имеющих сильно выраженную дифференциацию по гумусу (и, возможно, по легкорастворимым солям, гипсу, карбонатам), но не имеющих дифференциации по более стабильным компонентам (глина, R_2O_3 , первичные минералы); содержание гумуса максимальное с поверхности и постепенно уменьшается с глубиной;

в) *метаморфический профиль* – профиль почв, слабо или сильно дифференцированных по глине и характеризующихся процессом оглинения *in situ* во всем профиле или в какой-то его части без перемещения продуктов выветривания (SiO_2 , R_2O_3 , глина) по профилю.

г) *элювиально-иллювиально-дифференцированный профиль* – профиль почв с четко выраженными элювиальным и соответствующим ему иллювиальным горизонтами.

д) *гидрогенно-дифференцированный профиль* – профиль почв, сформировавшихся в условиях современного или древнего гидроморфизма (палеогидроморфные почвы) и характеризующихся гидрогенной аккумуляцией веществ в какой-то части.

е) *криогенно-дифференцированный профиль* – профиль почв, фактором дифференциации которых служит присутствующая на небольшой глубине постоянная льдистая мерзлота.

Данные валового состава в различной интерпретации позволяют определить характер и направление дифференциации почвенных профилей, их изменение в сравнении с материнской породой по преобладающим компонентам состава почв, по SiO_2 , R_2O_3 и др.

2.18 Обработка результатов валового анализа почв

Полученные результаты валового анализа почвы необходимо обработать и сделать соответствующие выводы по следующей схеме.

1. Данные валового анализа проверяют на точность (Аринушкина Е.В., 1968). Для этого суммируют процентное содержание оксидов, вычисленное на сухую почву, вместе с величиной потери при прокаливании. Анализ считается выполненным точно, если указанная сумма составляет 100 % или отклоняется на $\pm 1,0-1,5$ %. Данные валового анализа, вычисленные в процентах на сухую почву, затем обрабатывают путем различных перерасчетов и оформляют в виде таблиц.

2. Пересчет на безводную, безкарбонатную, безгумусную почву.

А) Определить общее количество безгумусной, безводной, безкарбонатной массы.

Если почва содержит карбонаты, нужно по количеству CO_2 определить часть валового СаО, связанного в форме карбонатов. Допускают, что CO_2 связана только с СаО. Расчет проводят по формуле: $CaO_{карб} = 56a : 44$, где a – количество CO_2 в исследуемом образце.

Определив количество СаО, связанной в форме СаСО₃, вычитают его из валового содержания, определяя тем самым часть СаО, входящую в состав алюмосиликатов и силикатов. Суммируя количество СаО карбонатов и СО₂, получают содержание СаСО₃ в образце. Общее количество безгумусной, безводной и бескарбонатной почвы равно

$$P = 100 - (a + b + CaCO_3), \text{ или } P = 100 - (ППП + CaCO_3),$$

где a – количество гумуса, %; b – количество химически связанной воды, %; ППП – потери при прокаливании ($a + b$), %.

Б) Вычисляют переводный коэффициент на безгумусную, безводную и бескарбонатную массу, который равен $K_n = 100 / (100 - (ППП + CaCO_3))$.

Умножив процентное содержание каждого оксида в сухой почве на этот коэффициент, получают его количество в процентах к безгумусной, безводной и бескарбонатной массе. Необходимо помнить, что при вычислении количества силикатной СаО на переводный коэффициент нужно умножить не валовое количество СаО, а лишь силикатную СаО. В бескарбонатных образцах расчет ведется на безгумусную и безводную почву.

3. Пересчет содержания оксидов в элементы.

Для пересчета оксидов в элементы процентное содержание оксидов умножается на следующие переводные коэффициенты (приложение 2).

Дайте оценку валового состава почвы, указав обеспеченность её элементами питания, отметив относительное накопление оксидов или обеднение почвы ими, дать соответствующее объяснение.

4. *Вычисление молекулярных отношений.* Для вычисления молекулярных отношений надо иметь данные по содержанию оксидов, перечисленные на безгумусную прокаленную почву. Для вычисления молекулярных отношений используют формулу:

$$(a:M_1) : (b:M_2), \text{ где}$$

a – содержание одного оксида, %;

M_1 – относительная молекулярная масса этого оксида;

b – содержание второго оксида, %;

M_2 – относительная молекулярная масса второго оксида.

Все результаты валового анализа сводятся в таблицы по формам (табл. 19-23).

Таблица 19

Валовой состав почвы

Гор., глуб., см	W, %	K _w	% к сухой почве											
			ПП,	Гум	ХСВ,	СО ₂	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	...

Таблица 20

Валовой состав почвы, рассчитанный в % к безгумусной безводной и бескарбонатной почве

Горизонт	W, %	K _w	ПП	Гум	ХСВ,	СО ₂	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	.
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	...

Таблица 21

Элементный состав почвы в % (по массе)

Горизонт	Глубина, см	Si	Al	Fe	Ca	Mg	K	Na	P	S	Ti	Mn
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13

Таблица 22

Элементный состав почвы, моль/кг

Горизонт	Глубина, см	Si	Al	Fe	Ca	Mg	K	Na	P	S	Ti	Mn
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13

Таблица 23

Молекулярные отношения оксидов

Гори- ри- зонт	Глуби- на, см	$\frac{\text{SiO}_2}{\text{Al}_2\text{O}_3}$	$\frac{\text{SiO}_2}{\text{Fe}_2\text{O}_3}$	$\frac{\text{SiO}_2}{\text{R}_2\text{O}_3}$	$\frac{\text{Al}_2\text{O}_3}{\text{Fe}_2\text{O}_3}$	$\frac{\text{CaO}+\text{MgO}}{\text{Al}_2\text{O}_3}$	$\frac{\text{K}_2\text{O}+\text{Na}_2\text{O}}{\text{Al}_2\text{O}_3}$	$\frac{\text{SiO}_2}{\text{CaO}}$	$\frac{\text{SiO}_2}{\text{MgO}}$	$\frac{\text{SiO}_2}{\text{Na}_2\text{O}}$	$\frac{\text{SiO}_2}{\text{KO}}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12

Вопросы

1. Какие профессиональные задачи решают по результатам валового анализа почв?
2. Что понимают под разложением почв?
3. Какими методами определяют содержание кремния в почвах?
4. В чем состоит сущность определения кремния желатиновым методом? По каким причинам получают заниженные результаты определения кремния желатиновым методом?
5. Какие элементы можно определять в фильтрате после осаждения SiO_2 ?
6. Какими методами определяют содержание полуторных оксидов? Какие оксиды относят к полуторным?
7. Почему результаты валового анализа принято выражать в массовых долях оксидов элементов. Каковы недостатки такого способа выражения результатов?
8. Какую информацию получают по результатам валового анализа, выраженным в процентах на сухую почву и на почву прокаленную?
9. Почему при определении железа комплексонометрическое титрование проводят в кислой среде, а кальция и магния - в щелочной?
10. Перечислите основные показатели, определяемые при выполнении валового анализа.
11. Какие существуют способы выражения элементного состава почвы? Приведите примеры.
12. Как проводится перерасчет данных валового анализа на безгумусную, безводную и бескарбонатную почву?
13. Как рассчитывают молекулярные отношения оксидов и элементов? Что можно охарактеризовать по этим отношениям? Что они показывают?
14. По каким показателям, и с какой целью проводят эколого-генетическую оценку валового состава почв?

Задачи

1. Рассчитайте массовую долю (%) CaO и MgO в почве, если известно, что сумма Ca и Mg в 100 г почвы составляет 35,43 миллимолей эквивалентов, а на титрование кальция в аликвоте 50,0 мл было затрачено 2,1 мл 0,01 М раствора комплексона III. Общий объем фильтрата – 250 мл был получен после разложения навески почвы массой 1,1135 г.

Ответ: CaO=0,53 %; MgO=0,33 %.

2. Установлено, что в подзолистой почве содержится 4600 мг/кг CaO. На титрование суммы кальция и магния во всем объеме раствора после разложения навески почвы массой 0,1321 г было затрачено 1,56 мл 0,0120М раствора комплексона III. Рассчитайте массовую долю (%) MgO в сухой почве.

Ответ: MgO=0,24 %.

3. Известно, что в почве содержится 0,48 % MgO. Рассчитайте массовую долю (%) Ca в почве, если после разложения 1,0123 г сухой почвы объем раствора составил 250 мл, а на титрование суммы Ca^{2+} и Mg^{2+} по эриохрому черному в аликвоте 50,0 мл пошло 4,2 мл 0,0100М раствора комплексона III.

Ответ: Ca^{2+} =0,35 %.

4. В растворе после разложения 0,1252 г сухой почвы определяли содержание железа комплексонометрическим методом. Сколько миллимолей Fe содержится в 1 кг почвы и какова массовая доля (%) Fe_2O_3 , если на титрование всего объема раствора затратили 1,65 мл 0,0203М раствора комплексона III?

Ответ: Fe=267,6 ммоль/кг; Fe_2O_3 =2,14 %.

5. После сплавления 1,0500 г воздушно-сухой почвы и отделения кремниевой кислоты общий объем фильтрата составил 250 мл. На титрование железа в аликвоте 25,0 мл было затрачено 1,39 мл 0,0286 М раствора комплексона III. Сколько миллимолей железа содержится в 5,0 г сухой почвы и какова массовая доля (%) Fe_2O_3 ?

Ответ: Fe~ 1,89 ммоль/5 г почвы; Fe_2O_3 =3,02 %.

6. Найдите массовую долю (%) Al_2O_3 в сухой почве, если для его определения из общего объема фильтрата после отделения кремниевой кислоты (250 мл) была взята аликвота 25,0 мл, в которой оттитровали железо. Затем туда добавили 30,0 мл 0,0106М раствора комплексона III. На титрование избытка комплексона, не прореагировавшего с алюминием, пошло 0,4 миллимоля эквивалентов $ZnCl_2$. Масса навески воздушно-сухой почвы составляет 1,2004 г, W = 2,16 %.

Ответ: Al_2O_3 =5,12 %.

7. Установите массовую долю (%) Al и Al_2O_3 в сухой почве, если известно, что количество алюминия в навеске воздушно-сухой почвы массой 0,8134 г эквивалентно 0,93 миллимолям комплексона III. Гигроскопическая влага равна 4,71 %.

Ответ: Al=3,23 %.

8. Рассчитайте массовую долю (%) MnO в почве, если для анализа была взята навеска сухой почвы массой 1,2471г, общий объем фильтрата после разложения почвы составил 250 мл, концентрация марганца в нем – 0,006 мкг/мл.

Ответ: MnO=0,16 %.

9. Для определения общего содержания марганца в навеске сухой почвы массой 1,0151 г после отделения кремниевой кислоты из мерной колбы вместимостью 250 мл была взята аликвота 25,0 мл и разбавлена в 2 раза. Из этого раствора для фотометрического определения марганца взяли аликвоту 10,0 мл и перенесли в

мерную колбу вместимостью 100 мл. Содержание в ней Мп составляет 0,52 мг/100 мл. Рассчитайте массовую долю (%) МпО в почве.

Ответ: МпО - 0,13 %.

10. Установите массовую долю (%) P_2O_5 в сухой почве, если после разложения навески массой 1,2315 г почвы объем раствора составляет 250 мл, а содержание фосфора (Р) в 20,0 мл этого раствора было 0,07 мг.

Ответ: $P_2O_5=0,16$ %.

11. Рассчитайте массовую долю (%) кремния (Si и SiO_2) на прокаленную почву, если для сплавления была взята навеска воздушно-сухой почвы массой 1,3650 г, масса осадка SiO_2 составила 0,9632 г. Содержание гигроскопической влаги - 4,35%; потеря при прокаливании - 10,40 %.

Ответ: Si=38,35 %; $SiO_2=82,18$ %.

12. Установите массовую долю (%) Fe_2O_3 в прокаленной почве, если в 50,0 г воздушно-сухой почвы содержание Fe составляет 28,7 миллимолей. $W = 5,10$ %, потеря при прокаливании - 9,76 %. *Ответ: $Fe_2O_3=5,35$ %.*

13. Найдите потерю при прокаливании, если масса пустого тигля составляет 5014 г, масса тигля с навеской воздушно-сухой почвы - 17,0012 г, а масса тигля с почвой после прокаливании - 16,3800 г. $W = 3,83$ %.

Ответ: $nnn=7,90$ %.

14. Рассчитайте массовую долю (%) гигроскопической влаги в почве, если масса воздушно-сухой почвы составляет 4,52 г, а масса сухой почвы - 4,395 г.

Ответ: $W=2,85$ %.

15. Установлено, что в карбонатном горизонте содержится 5,68 % $CaCO_3$, а массовая доля Fe_2O_3 составляет 5,14 %. Рассчитайте массовую долю (%) Fe_2O_3 в бескарбонатной почве. *Ответ: $Fe_2O_3=5,45$ %.*

16. Из навески карбонатных новообразований массой 2,0000 г было получено 0,0684 г MgO и 0,1350 г CaO. Рассчитайте массовую долю (%) $CaCO_3$ и $MgCO_3$ в новообразованиях.

Ответ: $CaCO_3=12,05$ %; $MgCO_3=7,18$ %.

17. Рассчитайте запас CaO в т/га в горизонте мощностью 20 см, если на титрование кальция в аликвоте 50,0 мл пошло 1,2 мл 0,0100М раствора комплексона III. Общий объем фильтрата - 250 мл, навеска почвы - 1,1200 г, плотность почвы - 1,3 г/см³. *Ответ: CaO=7,8 т/га.*

Задания по теме «Элементный состав почвы»

Произвести расчеты и дать эколого-генетическую оценку валового состава почвы по таблицам в приложении 4 по следующей схеме:

- 1) построить графики профильного распределения по компонентам (оксидам) валового состава почвы;
- 2) рассчитать элементный состав почвы по генетическим горизонтам, результаты оформить в виде таблицы;
- 3) рассчитать молярные отношения оксидов и элементов по генетическим горизонтам, результаты оформить в виде таблиц;
- 4) по молекулярным отношениям определить примерный минералогический состав почвы;
- 5) рассчитать коэффициенты элювиально-иллювиальной миграции оксидов, элементов в генетических горизонтах почв, в сравнении с почвообразующей породой, результаты оформить в таблицу;

- б) по рассчитанным коэффициентам миграции компонентов почвы построить графики профильного распределения и сделать выводы;
- 7) определить коэффициенты дифференциации генетических горизонтов почвенного профиля по компонентам почвы;
- 8) провести балансовые расчеты по генетическим горизонтам и в профиле, как отдельных компонентов, так и суммы веществ в целом, оформить в виде таблицы;
- 9) построить графики профильного распределения компонентов валового состава почвы, полученных по балансовым расчетам;
- 10) определить тип профиля почвы по распределению компонентов валового состава;
- 11) сделать выводы по рассчитанным показателям и графикам по распределению компонентов, по определению гранулометрического состава, по основным почвообразовательным процессам в почве, определить тип почвы.

Результаты оформить в виде таблиц с выводами по каждой таблице. Работа выполняется на листах формата А4 и сдается преподавателю для проверки.

Рекомендуемая литература

1. Аринушкина, Е.В. Точность методов валового анализа минеральной части почв / Е.В. Аринушкина, Е.П. Миненкова, Е.А. Дмитриев // Почвоведение. – 1968. – № 10. – С. 64-71.
2. Аринушкина, Е.В. Руководство по химическому анализу почв. – М.: Изд-во МГУ, 1970. – 490 с.
3. Воробьева, В.А. Химический анализ почв: Учебник. -: Изд-во МГУ, 1998. – 272 с.
4. Задачник по химическому анализу почв. – М.: Изд-во МГУ. – 77 с.
5. Мякина, Н.Б. Методическое пособие для чтения результатов химических анализов почв / Н.Б. Мякина, Е.В. Аринушкина. М.: МГУ, 1979. – 62 с.
6. Орлов, Д.С. Система показателей химического состояния почв / Д.С. Орлов, Л.А. Воробьева // Почвоведение. – 1982. – №4. – С. 5 - 22.
7. Орлов, Д.С. Химия почв / Д.С. Орлов, Л.К. Садовникова, Н.И. Суханова. - М.: Высшая школа, 2005. - 557 с.
8. Польшов, Б.Б. Валовой почвенный анализ и его толкование // В кн.: Академик Б.Б. Польшов. Избранные труды. М.: Изд-во АН СССР, 1956. – С. 386-394.
9. Теория и практика химического анализа почв // Под ред. Л.А. Воробьевой. - М.: ГЕОС, 2006. – 400 с.

3. ВАЛОВОЙ АНАЛИЗ ОРГАНИЧЕСКОЙ ЧАСТИ ПОЧВЫ

Органическое вещество почвы очень сложное по своему составу; значительная доля его весьма прочно связана с минеральной частью. Не существует метода, позволяющего полностью отделить органическую часть почвы от минеральной, поэтому при проведении валового анализа в составе органической части почвы, как правило, определяют содержание углерода и азота. По количеству углерода, входящего в состав органического вещества почвы, рассчитывают содержание гумуса, так как надежные методы непосредственного определения гумуса в почвах отсутствуют. Показатели группового (фракционного) состава дают информацию о содержании в почвах близких по свойствам (например, по растворимости) групп соединений того или иного химического элемента.

3.1 Определение углерода органических соединений

Углерод в почвах входит в состав органических и неорганических соединений. Углерод, входящий в состав органического вещества, находится в специфических соединениях: гуминовых кислотах, фульвокислотах, гиматомелановых кислотах, гумине; в неспецифических веществах: лигнине, аминокислотах, жирах, смолах и т. д. Минеральные соединения углерода представлены карбонатами (в основном Ca и Mg) и гидрокарбонатами. В газовых фазах почв углерод представлен в виде CO₂, CH₄ и др.

Все методы определения углерода органических соединений, представленные в таблице 24, основаны на его окислении до диоксида углерода (CO₂).

Таблица 24

Сравнительная характеристика методов определения органического углерода в почве

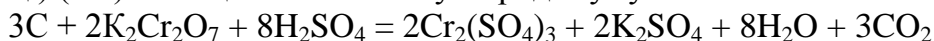
Типы методов	Условия окисления	Полнота сжигания	Учет количества углерода	Источник ошибок (присутствие в почве)	Необходимость аппаратуры	Оперативность	Применимость в массовых анализах
сухое сжигание	нагрев в токе кислорода	100 %	по кол-ву CO ₂	CaCO ₃	необходимо	трудоемкие	не применимы
Методы мокрого сжигания							
прямые	нагрев, сернокислая среда	85 – 90 %	по количеству CO ₂	CaCO ₃	необходимо	трудоемкие	не применимы
косвенные	сильные окислители K ₂ Cr ₂ O ₇ , CrO ₃	85 – 90 %	по расходу окислителя *	наличие минеральных восстановителей (Fe ²⁺ , Cl ⁻ и др.)	не нужна	оперативные	применимы

*Определяется объемным методом (титрование избытка окислителя) или колориметрически (по концентрации восстановленной формы хрома, имеющей зеленую окраску).

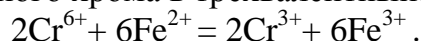
Прямые методы анализа основаны на определении CO_2 , образующегося при окислении углерода органических соединений; косвенные – на определении количества окислителя, пошедшего на перевод углерода органических соединений в CO_2 или на определение количества восстановленной формы используемого окислителя, образовавшейся в процессе анализа.

3.1.1 Метод И.В. Тюрина в модификации Симакова

Метод основан на окислении хромовым ангидридом в присутствии серной кислоты углерода органического вещества (гумуса) до CO_2 и определении количества хромового ангидрида, пошедшего на окисление. В качестве окислителя применяют 0,4 н раствор двуххромовокислого калия ($\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$), приготовленный на H_2SO_4 (конц.) (1:1). Реакция окисления углерода гумуса:



Окисление происходит в сильноокислой среде и сопровождается восстановлением шестивалентного хрома в трехвалентный:



Лабораторная работа № 16. Определение содержания валового углерода по методу И.В. Тюрина в модификации В.Н. Симакова (Симаков В.Н., 1969; Лабораторно-практические занятия..., 2009).

Приборы и материалы: аналитические весы, электрическая плитка, колба коническая термостойкая на 100 мл, воронка стеклянная диаметром 3 см, бюретка на 25 мл, пипетка медицинская, фильтровальная бумага.

Реактивы

- 0,4 н раствор хромовой смеси: 40 г $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ растворяют в 1 л дистиллированной воды и помещают в термостойкую колбу, затем прибавляют небольшими порциями 1 л концентрированной H_2SO_4 , перемешивают и оставляют для охлаждения.
- 0,2 н раствор соли Мора: 80 г $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 \times \text{FeSO}_4 \times \text{H}_2\text{O}$ растворяют в 1 л дистиллированной воды, приливают 20 мл H_2SO_4 (конц.). Хранить в темной склянке.
- 0,2 % раствор фенилантраниловой кислоты (ФАК): 0,2 г ФАК растворяют в 100 мл 0,2 % раствора Na_2CO_3 . Предварительно навеску кислоты в фарфоровой чашке смачивают небольшим количеством раствора соды, тщательно перемешивают, а затем добавляют остальное количество раствора соды.
- Фиксальный раствор 0,1 н KMnO_4 (или растворяют 3,161 г KMnO_4 в 1 л дистиллированной воды).

Ход определения

- Из приготовленной пробы, пропущенной через сито с диаметром отверстий 0,25 мм, берут навеску от 0,1 до 0,5 г (в зависимости от предполагаемого содержания гумуса) на аналитических весах с точностью до 0,0001 г. Тару обязательно взвешивают после высыпания навески в колбу. По разнице масс тары с почвой и тары после высыпания определяют массу навески.
- Навеску помещают в колбу емкостью 100 мл. Затем в колбу пипеткой приливают по каплям с одинаковой скоростью 10 мл 0,4 н раствора $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ в H_2SO_4 (в колбу добавляют 100 мг пемзы для равномерного кипения).

3. В колбочки вставляют маленькие воронки, служащие обратным холодильником, осторожно взбалтывают, ставят на электрическую плиту, как только начинается выделение мелких пузырьков газа (CO₂), то через 2-3 мин наступает кипение.

4. Кипятят 5 минут.

5. Одновременно проводят холостое кипячение (без почвы), т. е. только 10 мл K₂Cr₂O₇.

6. После кипячения колбы охлаждают. С помощью промывалки дистиллированной водой обмывают воронки и смывают капли хромовой смеси в эту же колбочку.

7. Добавляют 4-5 капель 0,2 % раствора фенилантраниловой кислоты, титруют 0,2н раствором соли Мора. Конец титрования определяют переходом вишнево-фиолетовой окраски в зеленую или грязно-зеленую.

8. Одновременно проводят холостое титрование. Результаты заносят в таблицу 25.

9. По объему соли Мора, пошедшего на титрование, определяют количество хромовой смеси, оставшейся неизрасходованной на окисление органического вещества почвы. При титровании солью Мора избытка K₂Cr₂O₇ происходит реакция:



Содержание углерода вычисляют по формуле:

$$C \% = (100 (a-b) 0,0003K_m K_w) / p ,$$

где *a* – объем соли Мора (мл), пошедший на титрование 10 мл K₂Cr₂O₇;

b – объем соли Мора (мл), пошедший на титрование остатка K₂Cr₂O₇ после сжигания почвы;

K_m – поправка к титру соли Мора;

0,0003 – количество органического углерода соответствующее 1 мл 0,1н раствора соли Мора, г;

p – навеска почвы в г.

10. Пересчет углерода на гумус почвы производят, умножая процентное содержание *C* (углерода) на коэффициент 1,724. Этот коэффициент предложен в 1864 г. Э. Вольфом на основании данных, установивших содержание углерода в гуминовой кислоте (ГК = 58 %). Такое же содержание углерода было принято и для гумуса в целом, поэтому коэффициент приобрел широкое международное значение

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

Таблица 25

Результаты определения органического углерода и гумуса почвы

Горизонт	Глубина, см	Масса, г			Пошло соли Мора, мл		С, %	Г, %
		кальки с почвой	кальки после высыпания	навески почвы	холостого образца	испытуемого образца		

3.1.2 Метод И.В. Тюрина в модификации Никитина

Мокрое озоление органических соединений почвы проводят хромовой смесью при нагревании до 150°С в сушильном шкафу. Содержание озоложенного углерода в органических соединениях определяют по количеству образовавшихся в результате реакции ионов трехвалентного хрома (Cr³⁺). Они имеют зеленую окраску. Оптическая плотность их растворов подчиняется закону Бугера-Бера, и, следовательно, их концентрация может быть определена колориметрически.

Для обеспечения полноты озоления в растворе после сжигания должно оставаться некоторое количество дихромат-ионов, которые имеют желто-оранжевую окраску. В результате окраска смеси после сжигания буровато-коричневая. Присутствие окрашенных в желтый цвет дихромат-ионов не мешает определению ионов трехвалентного хрома, так как их спектры поглощения различны. При длине волны 590 нм поглощение ионов Cr^{3+} близко к максимальному, а поглощение ионов дихромата практически равно нулю. Следовательно, оптическая плотность смеси растворов дихромат-ионов и ионов Cr^{3+} , измеренная при этой длине волны, практически соответствует концентрации Cr^{3+} , по количеству которого и рассчитывают эквивалентное ему количество углерода органических соединений. При измерении оптической плотности на фотоэлектроколориметре используют оранжевый светофильтр.

Лабораторная работа № 17. Определение гумуса в почве по Никитину с колориметрическим окончанием по Орлову-Гриндель (Орлов Д.С., 1967; Никитин Б.А., 1972; Шеуджен А.Х., 2007).

Приборы и материалы: конические колбы на 100 мл, аналитические весы, бюретка, воронки диаметром 3 см, сушильный шкаф, водяная баня, пробирки, спектрофотометр.

Реактивы:

- 0,4 н раствор хромовой смеси: готовят так же, как и в методе Тюрина.
- 0,2 н раствор соли Мора: готовят так же, как и в методе Тюрина.
- 0,2 % раствор фенилантраниловой кислоты (ФАК) – готовят так же, как и в методе Тюрина в модификации Симакова
- На аналитических весах взвешивают 2,5022 г глюкозы или 2,3771 г сахарозы и растворяют в мерной колбе на 1 дм³ дистиллированной водой. В 1 см такого раствора содержится 1 мг углерода. В конические колбы на 100 см³ приливают последовательно 0; 2,5; 5,0; 10,0; 15,0; 20,0 см³ раствора (таблица 26). Раствор выпаривают на водяной бане до последней капли. Затем приливают из бюретки по 20 см³ хромовой смеси. Колбы помещают в сушильный шкаф так же, как колбы с пробами почвы. После сжигания добавляют по 20 см³ воды и через сутки колориметрируют. По найденным значениям оптических плотностей и содержанию углерода строится калибровочный график.

Таблица 26

Шкала эталонных растворов

Объем раствора глюкозы или сахарозы, мл	0	2,5	5,0	10,0	15,0	20,0
Содержание углерода, мг	0	2,5	5,0	10,0	15,0	20,0
Оптическая плотность						

Ход определения:

- Навеску подготовленной для определения гумуса почвы помещают в конические колбы на 100 см³. Величина навески должна быть такой же, как в методе Тюрина.
- В колбы с навесками приливают из бюретки по 20 см³ хромовой смеси, осторожно перемешивают и закрывают воронками.
- Колбы ставят на поднос и помещают в сушильный шкаф, предварительно нагретый до 150°С. Их следует ставить на расстоянии 3-4 см от стенок шкафа для обеспечения более равномерного нагрева.
- Через 20 мин после того, как температура в шкафу вновь поднимется до 150°С, колбы вынимают и охлаждают.

5. Затем приливают по 20 см воды, дают почве осесть на дно колбы и осторожно сливают в пробирки.
6. Через сутки раствор фотоколориметрируют в кюветах на 5 мм при длине волны 590 нм или с оранжевым светофильтром.
6. В качестве раствора сравнения желательно использовать не воду, а холостую пробу. Холостую пробу следует ставить в сушильный шкаф одновременно с опытными колбами. Она готовится в двукратной повторности.
7. Содержание углерода находят по калибровочному графику. Для построения калибровочного графика используют раствор глюкозы или сахарозы.
8. Содержание углерода (%) рассчитывают по формуле:

$$C = a/m 100,$$

где: a - содержание углерода в пробе, найденное по графику, мг;

m - навеска почвы, г;

100 - коэффициент пересчета в проценты.

8. Результаты записывают в таблицу (см. табл. 25).

3.1.3 Метод И.В. Тюрина в модификации Антоновой

Лабораторная работа № 18. Определение гумуса по методу Тюрина в модификации Антоновой, Скалабян и Сучилкиной (Антонова З.П., 1984).

Принцип метода. Состоит в окислении органического вещества при температуре 20°C в течение 24 ч. Эта модификация окисления органического вещества дает хорошо воспроизводимые результаты.

Ход анализа.

1. Навеску почвы (~0,5 г) берут на аналитических весах из пробы почвы, подготовленной для определения общего содержания углерода органических соединений.
2. Навеску переносят в коническую колбу на 100 см³, приливают из бюретки 20 см³ 0,4 н раствора дихромата калия в концентрированной серной кислоте и оставляют при температуре 18-20°C на 24 ч.
3. Одновременно ставят холостую пробу.
4. После этого содержание углерода определяют так, как это принято в методе Тюрина, или используя спектрофотометрическое или колориметрическое окончание в модификации Орлова-Гриндель.
5. Результаты записывают в таблицы (см. табл. 25).

3.2 Определение содержания общего азота в почве

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

Принцип метода Кьельдаля основан на том, что все органическое вещество почвы сжигается концентрированной серной кислотой. Азот при этом переходит в форму (NH₄)₂SO₄. Образовавшийся (NH₄)₂SO₄ разрушают щелочью, а выделяющийся при этой реакции NH₃ улавливают в определенный объем титрованного раствора

H_2SO_4 . Избыток H_2SO_4 , не израсходованный на связывание азота, оттитровывают раствором NaOH или KOH.

Лабораторная работа № 19. Определение азота по методу И. Г. Кьельдаля (микрометод)

Приборы и материалы: микропробирка для взятия навески, аналитические весы, колба Кьельдаля, вытяжной шкаф, штатив, колбонагреватель (или газовая горелка), воронка, сосуд для перегонки, бюретка, холодильник, парообразователь, бюретка для титрования.

Реактивы:

1. H_2SO_4 ($d = 1,84$). Кислота не должна содержать аммиачных солей.
2. 40 % раствор щелочи NaOH (или KOH). Твердую щелочь берут щипцами и взвешивают в фарфоровой чашке на технических весах в количестве 400 г. Затем помещают ее в большой фарфоровый стакан, приливают 600 мл дистиллированной воды при помешивании стеклянной палочкой. Растворение щелочи сопровождается сильным разогреванием, поэтому надо соблюдать осторожность. После полного растворения щелочи раствор закрывают бумагой и оставляют на 2 (или несколько) дней. Отстоявшийся раствор осторожно сливают в бутылку и хранят закрытым каучуковой пробкой.
3. 0,01 М раствор H_2SO_4 . Готовят из фиксанала.
4. 0,02 М раствор NaOH. Готовят из фиксанала.
5. Смешанный индикатор Гроака. 1 объем 0,4 % спиртового раствора метиленового красного смешивают с 1 объемом 0,2 % спиртового раствора метиленового голубого. Раствор Гроака хранят в темной склянке. В кислой среде индикатор окрашен в красно-фиолетовый цвет, в щелочной – в зеленый. Изменение окраски очень резкое, поэтому точность определения азота с этим индикатором очень высокая.

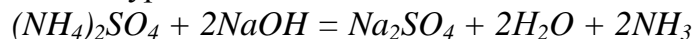
Ход определения

1. Из образца почвы, просеянной через сито с отверстиями 0,25 мм, берут в сухую пробирку от 0,2 до 1 г почвы (в зависимости от количества гумуса в почве: чем его больше, тем меньше навеска) и точно взвешивают на аналитических весах.
2. Затем на пробирку надвигают горло колбы Кьельдаля и быстрым движением осторожно перевертывают колбу с находящейся в ней пробиркой. Пробирку вынимают и вновь точно взвешивают. По разности между массой пробирки с почвой и без почвы определяют навеску почвы, взятую для анализа.
3. В колбу приливают 3-5 мл концентрированной H_2SO_4 , прибавляют несколько кристаллов K_2SO_4 и 1-2 кристаллика $CuSO_4$ или 1-2 крупинки металлического селена, или несколько капель хлорной кислоты для ускорения реакции.
4. Колбу укрепляют наклонно при помощи штатива на колбонагревателе или над газовой горелкой в вытяжном шкафу и осторожно нагревают. Реакция окисления органического вещества идет бурно, поэтому первое время необходимо следить за ходом сжигания и предупредить вспучивание почвы уменьшением нагрева и осторожным помешиванием содержимого колбы.
5. Через 30-40 мин нагрев можно усилить и продолжать окисление до полного обесцвечивания раствора, после чего прекратить нагрев и охладить колбу до комнатной температуры.
6. После охлаждения содержимое колбы Кьельдаля переносят в сосуд для перегонки через воронку, многократно ополаскивая ее водой, которую также переносят в сосуд. Раствор в сосуде должен занимать около U_4 объема.

7. В приемник приливают из бюретки 20 мл 0,01 М раствора H_2SO_4 и прибавляют 2-3 капли индикатора метилрота или смешанного индикатора Гроака.

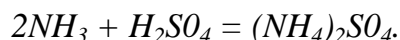
8. Приемник подставляют под холодильник так, чтобы конец трубки холодильника был погружен в раствор.

9. Затем через воронку осторожно приливают 20-30 мл 40 % раствора NaOH или KOH. Закрыв кран воронки, содержимое сосуда осторожно взбалтывают. Если количество прибавленного NaOH (KOH) достаточно, жидкость в сосуде окрашивается в синий цвет и выпадает осадок гидроксида меди. При взаимодействии щелочи с $(NH_4)_2SO_4$ реакция идет по уравнению:



10. Образующийся NH_3 отгоняют паром в приемник с H_2SO_4 , для чего нагревают парообразователь и кипятят в нем воду в течение 20-30 мин. Во время перегонки необходимо следить за тем, чтобы конец отводной трубки холодильника был погружен в 0,01 М раствор H_2SO_4 в приемнике.

11. За 5 мин до конца перегонки отводную трубку приподнимают из раствора и перегонку продолжают таким образом, чтобы капли воды из холодильника свободно стекали в приемник. При перегонке выделяющийся NH_3 поглощается 0,01 М раствором H_2SO_4 по уравнению:



12. По окончании перегонки остаток 0,01 М раствора H_2SO_4 , не вступивший в реакцию с NH_3 , оттитровывают 0,02 М раствором NaOH.

13. При применении метилрота титруют до перехода розовой окраски в желтую, при использовании индикатора Гроака – до изменения красно-фиолетового цвета в зеленый.

14. 1 мл 0,01 М раствора H_2SO_4 , затраченный на связывание NH_3 , соответствует 0,00028 г N. Количество азота вычисляют по формуле:

$$X = [(a - b) \times M \times 0,00028 \times 100 \times K_w] / c,$$

где x – количество азота, % к сухой почве;

a – количество 0,01 М раствора H_2SO_4 , взятое для поглощения аммиака, мл;

b – количество 0,01 М раствора H_2SO_4 после поглощения аммиака, мл;

100 – коэффициент для пересчета на 100 г почвы;

K_w – коэффициент для пересчета на сухую почву;

c – навеска почвы, взятая для анализа, г.

13. Результаты записывают в таблицу 27.

Таблица 27

Результаты определения содержания общего азота

Горизонт	Глубина, см	c , г	a	b	K_w	N, %

3.3 Определение общего содержания углерода и азота в торфяных почвах

Торфяные почвы, лесные подстилки, органические удобрения имеют высокое содержание органического вещества, часто неоднородного, грубодисперсного состава. Методы, разработанные для минеральных почв с невысоким содержанием органического вещества (максимум 10-15 %), которое в этих почвах является достаточно однородным, аморфным и равномерно распределено в минеральной массе почвенных горизонтов, оказываются не вполне пригодными для анализа

органогенных образцов.

Лабораторная работа № 20. Одновременное определение общего содержания углерода и азота в торфяных почвах методом Анстета в модификации В.В. Пономаревой и Т.А. Плотниковой (Теория и практика..., 2006).

Приборы и материалы: аналитические весы, сито диаметром 0,25 мм, конические колбы на 200-250 мл, бюретка со стеклянным краном, мерный цилиндр на 25 мл, маленькая воронка, электрическая плитка, песочные часы, промывалка, мерная колба на 250 мл, пипетка на 25 мл, пипетки на 50 мл, конические колбы для титрования.

Реактивы:

1. Серно-хромовая смесь. Два объема 12%-ного водного раствора CrO_3 смешивают с одним объемом H_2SO_4 плотностью 1,84. Смесь охлаждают до комнатной температуры.
2. H_2SO_4 плотностью 1,84.
3. 0,2н раствор соли Мора (см. раздел 7.1.2.).
4. Фенилантраниловая кислота (см. раздел 7.1.2.).
5. 50 % раствор NaOH .
6. Гранулированный цинк или цинковая пыль.
7. Титрованный раствор 0,01н H_2SO_4 .
8. Титрованный раствор 0,01н NaOH .
9. Индикатор Гроака.

Ход определения:

1. Навески для анализа берут в зависимости от содержания в исследуемом материале золы, а именно: 10 % золы – навеска 0,2 г; 10-25 % - 0,20-0,25 г; 25-50 % - 0,25-0,40; 50-75 % золы – навеска 0,40-0,75 г.
2. Навеску воздушно-сухого торфа или другого органогенного материала (пропущенного сквозь сито с диаметром отверстий 0,25 мм) берут с точностью до 0,0001 г и переносят в коническую колбу из термостойкого стекла вместимостью 200-250 мл.
3. Для равномерности кипения окислительной смеси к навеске добавляют немного прокаленной пемзы. Затем из бюретки со стеклянным краном очень точно приливают 30,00 мл серно-хромовой смеси и 20 мл концентрированной H_2SO_4 из цилиндра вместимостью 25 мл. Очень важно постоянно придерживать одинаковой, малой скорости спуска из бюретки хромовой смеси. Можно пользоваться секундомером: 30 мл смеси равномерно сливать приблизительно за 3 мин, регулируя скорость падения капель.
4. После этого колбу накрывают маленькой воронкой в качестве холодильника, содержимое осторожно перемешивают и по окончании бурного разложения органического вещества колбу помещают на заранее разогретую этернитовую плитку или песочную баню.
5. Содержимое ее доводят до кипения и умеренно кипятят ровно 5 минут, по секундомеру или песочным часам. Не следует принимать за начало кипения интенсивное выделение пузырьков CO_2 , которое происходит еще до закипания. Кипение смеси начинается тогда, когда на ее поверхности появляются крупные пузырьки газа.
6. После охлаждения содержимое колбы количественно, споласкивая ее дистиллированной водой из промывалки, переносят в мерную колбу вместимостью 250 мл.
7. Жидкость доводят в колбе водой до метки и очень хорошо перемешивают.

8. Из полученного объема жидкости берут пипеткой две парные пробы по 25 мл на титрование солью Мора (с фенилантраниловой кислотой) для определения органического углерода и две пробы по 50 мл для отгонки аммиака и определения азота.
9. Отгонку аммиака производят, добавляя в колбу 25 мл 50 % раствора NaOH и кусочек гранулированного цинка или цинковую пыль. В приемную колбу наливают 25 мл 0,01н H₂SO₄.

10. Избыток кислоты оттитровывают 0,01н NaOH со смесью метилового красного и метилового голубого в качестве индикатора. При низком содержании в анализируемом веществе азота для отгонки NH₃ лучше взять не 50, а 100 мл раствора и 50 мл 50 % раствора NaOH. В точно таких же условиях проводят холостой опыт для установления соотношения между серно-хромовой смесью и солью Мора, с одной стороны, и растворами 0,01н H₂SO₄ и 0,01н NaOH при определении азота – с другой.

11. Результаты определения С и N вычисляют в процентах на сухую массу анализируемого вещества.

$$C \% = [(V_K - V) \times n \times V_0 \times 100 \times 0.003] / V_{al} \times m ,$$

где *m* – навеска почвы, г; *V*₀ – общий объем раствора, мл;

*V*_{al} – аликвота, взятая на титрование, мл;

V – объем соли Мора, пошедший на титрование после взаимодействия K₂Cr₂O₇ с пробой, мл;

n – нормальность соли Мора, моль(экв)/мл;

*V*_К – объем соли Мора, пошедший на холостое титрование, мл.

$$N \% = [(V_K - V) \times n. \times V_0 \times 100 \times 0.014 \times 1.03] / V_{al} \times m ,$$

где *m* – навеска почвы, г; *V*₀ – общий объем раствора, мл;

*V*_{al} – аликвота, взятая на титрование, мл;

V – объем NaOH, пошедший на титрование избытка H₂SO₄ с пробой, мл;

n – нормальность NaOH, моль(экв)/мл;

*V*_К – объем NaOH, пошедший на холостое титрование, мл.

Вычисленное содержание азота умножают на коэффициент 1,03 с учетом того, что при данном методе минерализуется в среднем 97 % содержащегося азота.

12. Результаты записывают в таблицу 28.

Таблица 28

Результаты определения углерода и общего азота

Почва, горизонт? см	<i>M</i>	<i>V</i> ₀	<i>V</i> _{al}	Пошло на титрование, мл				С, %	N, %
				Соли Мора		NaOH			
				<i>V</i> _К	<i>V</i>	<i>V</i> _К	<i>V</i>		

3.4 Вычисление массовой доли гумуса (%) в почве и отношение С:N

По результатам определения углерода органических соединений рассчитывают содержание гумуса в почве.

С этой целью величину массовой доли углерода органических соединений, выраженную в процентах, принято умножать на коэффициент, равный 1,724. Этот коэффициент был рассчитан в 1864 г. на основании имеющихся в то время сведений о содержании в гуминовой кислоте 58 % углерода (100/58=1,724). Такое же содержание углерода было принято и для гумуса почвы в целом.

В настоящее время известно, что содержание углерода в гумусе разных типов почв неодинаково. Среднее содержание углерода составляет от 54,5 в гуминовых кислотах солонцов, солодей, горно-луговых и серых лесных почв до 58,7 % в гуминовых кислотах торфяно-болотных почв и торфяников (Орлов Д.С., 1990; 1992). Чем больше отличается содержание углерода в гумусе от 58 %, тем выше ошибка в вычислении содержания гумуса.

В связи с тем, что количество углерода в гумусе разных типов почв неодинаково, целесообразно было бы для пересчета содержания углерода в содержание гумуса использовать разные коэффициенты. Однако для получения дифференцированных коэффициентов пересчета процентного содержания углерода на гумус для различных типов почв пока нет достаточного количества данных.

В.В. Пономарева и Т.А. Плотникова (1967, 1975) предлагали использовать коэффициент, равный двум, принимая, что содержание углерода в гумусе в среднем составляет около 50 %.

Ранее, К.К. Гедройц обращал внимание на то, что в качестве результата анализа почв более правильно приводить не фиктивное количество гумуса, а количество углерода в почве. Это положение справедливо с точки зрения правильности выражения результатов анализа. Часто бывает полезно оценить массу гумуса в почвах, поэтому, несмотря на условность коэффициента пересчета содержания углерода на содержание гумуса, почвоведы, как правило, рассчитывают содержание гумуса в почвах.

Результаты определения углерода органических соединений и гумуса, как правило, выражают в процентах. Выраженная в процентах массовая доля гумуса в почве является одним из важнейших показателей химических свойств почв.

Во многих случаях более полную информацию дает расчет запасов гумуса в горизонте или слое почвы, выраженных массой гумуса в единице объема почвы. Например, в почвах легкого гранулометрического состава массовая доля гумуса бывает ниже, чем в более тяжелых по гранулометрическому составу почвах. В то же время, если учесть большую мощность гумусированного слоя легкой почвы, запас гумуса в ней может оказаться выше, чем в более тяжелой. Сравнение этих почв по массовой доле гумуса может привести к неверным выводам, например, о темпах гумусонакопления в почвах, различающихся по гранулометрическому составу.

Для систематизации сведений о свойствах гумуса и унификации приемов интерпретации результатов его исследования разработана специальная система показателей гумусного состояния почв. В ней указаны градации уровней показателей, позволяющие оценить степень выраженности каждого из изучаемых признаков.

Вопросы, связанные с изучением гумусного состояния почв освещены в специальной литературе (Гришина Л.А., 1978; 1986; Орлов Д.С., 2004) и здесь не рассматриваются.

По результатам определения входящих в состав гумуса углерода и азота рассчитывают молярное отношение C:N:

$$C:N = (C \% / 12) : (N \% / 14) = (C \% : N \%) \times 1,17.$$

Это отношение характеризует обогащенность гумуса азотом. Для большинства гумусовых горизонтов почв характерна величина C:N, равная 8-10, что отвечает высокой и средней обеспеченности гумуса азотом. Очень высокое отношение (18-20) свойственно бедному азотом гумусу красноземов и грубогумусным горизонтам лесных почв. Низкое отношение C:N (2-3) характерно для очень бедных гумусом горизонтов (Орлов Д.С., 1992).

Вопросы

1. Каким образом оценивают содержание гумуса в почвах?
2. На каком принципе основаны методы определения углерода органических соединений в почвах?
3. Что составляет основу определения углерода органических соединений методами Густавсона и Кноппа-Сабанина?
4. На чем основано определение углерода органических соединений методом И.В. Тюрина?
5. Что лежит в основе фотометрического метода определения углерода органических соединений?
6. Какие содержащиеся в почвах компоненты влияют на результаты определения углерода органических соединений методом Тюрина?
7. Каким способом озоляют органическое вещество почв при определении азота методом Кьельдаля? Какова роль катализаторов?
8. В виде какого соединения азот присутствует в продуктах разложения почв при использовании метода Кьельдаля?
9. Какие методы используют для количественного определения азота?
10. Какое соединение титруется кислотой, если при отгонке аммиака его поглощают раствором H_3BO_3 ?
11. Какую информацию дает отношение C:N? Как его рассчитывают?

Задачи

1. В навеске почвы массой 1,25 г содержится 5,00 ммоль органического углерода. Рассчитайте сколько граммов углерода содержится в 1 г почвы и какова массовая доля (%) гумуса в почве.
Ответ: 0,05 г / 1 г почвы; 8,28 % гумуса.
2. Рассчитайте массовую долю (%) углерода в сухой почве и содержание его миллимолей эквивалентов в 1 г этой почвы, если известно, что массовая доля гумуса, выраженная на воздушно-сухую почву составляет 5,82 %, а $W = 3,62$ %.
Ответ: 3,50 % C; 11,7 ммоль(экв)/1 г почвы.
3. Установлено, что содержание гумуса в буроземе составляет 3,46 %. Сколько миллимолей эквивалентов углерода органических соединений содержится в 10 г почвы и какова его массовая доля (%)?
Ответ: 66,9 ммоль(экв)/10 г почвы; 2,01 % C.
4. В результате анализа установлено, что в 1,25 г воздушно-сухой почвы содержится 3,50 ммоль углерода (C) органических соединений. Какова массовая доля (%) гумуса в сухой почве, если гигроскопическая влага составляет 2,46 %?
Ответ: 5,94 %.
5. Определение углерода органических соединений проводили по методу Густавсона в навеске почвы массой 0,8513 г. Рассчитайте массовую долю (%) гумуса в почве, если масса поглотительных трубок увеличилась на 0,1840 г.
Ответ: 10,17 % гумуса.
6. При определении органического углерода (C) по методу Тюрина установлено, что содержание органического углерода в навеске воздушно-сухой почвы массой 0,18 г эквивалентно $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$, содержащемуся в порции раствора, на титрование которой пошло 9,0 мл 0,2н раствора соли Мора. Рассчитайте массовую долю (%) гумуса в сухой почве, если содержание гигроскопической влаги составляет 3,60 %.
Ответ: 5,36 % гумуса.

7. При определении в почве органического углерода (С) к навеске сухой почвы массой 0,2602 г прилили 10,0 мл 0,4021н раствора $K_2Cr_2O_7$. На титрование избытка дихромата затратили 11,4 мл раствора соли Мора. При стандартизации соли Мора на титрование ее 10,0 мл было израсходовано 11,5 мл 0,1508н водного раствора дихромата калия. Какова массовая доля (%) углерода и гумуса в почве?

Ответ: С=2,36 %; гумус=4,06 %.

8. Установите массовую долю (%) углерода органических соединений в сухой почве, если на окисление гумуса в 0,25 г воздушно-сухой почвы было затрачено 3,20 ммоль эквивалентов $K_2Cr_2O_7$, а содержание $W = 2,32$ %.

Ответ: 3,93% С.

9. Установлено: на окисление углерода в навеске почвы массой 0,50 г пошло 5,2 мл 0,4012н раствора дихромата калия. Сколько миллимолей эквивалентов углерода и граммов гумуса содержится в навеске почвы? Какова массовая доля (%) гумуса в почве?

Ответ: С=2,09 ммоль(экв)/в навеске; гумус=0,0108 г/в навеске; 2,16 % гумуса.

10. Определение углерода органических соединений по методу Тюрина проводили в засоленной каштановой почве с содержанием С1-ионов 0,72 %. Для окисления С в навеске почвы массой 0,3500 г было взято 6,2 ммоль эквивалентов $K_2Cr_2O_7$. На титрование избытка дихромата калия затрачено 12,3 мл 0,2н раствора соли Мора. Какова массовая доля (%) углерода в почве?

Ответ: 3,15 % С.

11. Установите массовую долю (%) углерода органических соединений в почве, если при анализе 5,2605 г карбонатной почвы по методу Кноппа-Сабанина выделилось 1,0020 г CO_2 . Известно, что содержание $CaCO_3$ в почве составляет 10,00 %.

Ответ: 4,00 % органического С.

12. В навеске почвы массой 0,1240 г определяли углерод по методу Тюрина. Установили, что на титрование избытка $K_2Cr_2O_7$ было затрачено 3,32 ммоль(экв) соли Мора. Для окисления углерода было добавлено к навеске почвы 10,0 мл 0,4812н раствора дихромата калия. Сколько граммов С содержится в 1 г почвы? Какова массовая доля (%) гумуса в почве?

Ответ: С=0,0361 г/1 г почвы; 6,22 % гумуса.

13. Рассчитайте, достаточно ли 10,0 мл 0,4н сернокислого раствора $K_2Cr_2O_7$ для окисления углерода органических соединений в 0,3 г почвы, если известно, что содержание в ней гумуса составляет 10,0 %.

Ответ: недостаточно.

14. При определении углерода органических соединений фотометрическим методом навеска чернозема составляла 0,1540 г. После окисления почвы дихроматом калия раствор перенесли в мерную колбу вместимостью 100 мл. Измерив оптическую плотность раствора установили, что содержание Сг в колбе составляет 2,35 ммоль (экв). Рассчитайте массовую долю (%) гумуса в почве.

Ответ: 7,89 % гумуса.

15. При определении азота органических соединений в почве по методу Кьельдаля отгоняемый аммиак поглотили 12,0 мл 0,15н раствора H_2SO_4 . На титрование избытка серной кислоты пошло 0,25 ммоль (экв) $NaOH$. Рассчитайте массовую долю (%) азота (N), если навеска почвы составляет 8,50 г.

Ответ: 0,26 % N.

16. При определении азота в почве по методу Кьельдаля выделившийся аммиак поглощали борной кислотой. Какова массовая доля (%) азота в сухой почве, если на

титрование образовавшегося бората аммония было затрачено 14,5 мл 0,02н раствора H_2SO_4 ? Навеска воздушно-сухой почвы составляет 3,2005 г, $W = 3,25 \%$.

Ответ: 0,13 % N.

17. Рассчитайте мольное отношение C:N в подзолистой почве, если содержание в ней органического углерода составляет 1,83 %, а азота - 0,22 %.

Ответ: 9,7.

Задания по теме «Органическая часть почвы»

Пользуясь данными, приведенными в приложения 5, проведите оценку состояния органического вещества почвы и рассчитайте показатели по следующей схеме:

1. Содержание гумуса и содержание ЛОВ (% к массе почвы).
2. Запасы гумуса и запасы ЛОВ в пахотном слое (т/га).
3. Отношение C:N в составе гумуса и в составе ЛОВ.
4. Степень выпашанности почв в (балл).
5. Возможное высвобождение азота ЛОВ (кг/га).
6. Используя данные таблицы 29, определите необходимое среднегодовое поступление послеуборочных остатков, органических и азотных удобрений.
7. Оценить показатели гумусного состояния почвы по (приложении б):
 - содержанию гумуса,
 - содержанию фракций гумуса (свободных и связанных ГК и ФК),
 - содержанию негидролизуемого остатка,
 - степени гумификации,
 - отношению Сгк:Сфк,
 - профильному распределению показателей (нарисовать),
 - содержанию подвижного гумуса.

Сделать выводы, оформить результаты задания на листе формата А4 и сдать преподавателю.

Таблица 29

Минимальное необходимое среднегодовое поступление пожнивных остатков, органических и азотных удобрений в почву для оптимизации содержания и состава ЛОВ в полевых и кормовых сеооборотах (Ганжара Н.Ф., 2002)

Содержание и запасы углерода ЛОВ в $A_{\text{пах}}$		При отношении C:N < 25		Необходимое среднегодовое поступление	
%	т/га	Запасы азота ЛОВ в $A_{\text{пах}}$, кг/га	Вероятное высвобождение $S_{\text{лов}}$, кг/га в год	Σ пожнивных остатков, орг. удобр., т/га (сух. вещества)	Азот.удобр. при C:N 25-40 кг/га (д.в.)
< 0,1	< 3	< 120-200	< 25-40 оч.низкое и низкое	9 – 12	10 – 20
0,1 – 0,2	3 – 6	120 – 400	25-40 низкое и удовлетворительное	6 – 9	20 – 30
0,2 – 0,4	6 – 12	240 – 800	50-160 удовл. и высокое	4 – 6	30 – 40
0,4 – 0,6	12 – 18	480 – 1200	100-240 высокое и очень высокое	2 – 4	40
> 0,6	> 18	> 1200	>240 очень высокое	2	40

*В течение первых 2 лет после проведения обследования.

Рекомендуемая литература

1. Антонова, З.П. Определение содержания в почвах гумуса / З.П. Антонова, В.Д. Скалабан, Л.Г. Сучилкина//Почвоведение. 1984. - № 11. – С. 130-133.
2. Аринушкина, Е.В. Руководство по химическому анализу почв. – М.: Изд-во МГУ, 1961. – 291с.
3. Аринушкина, Е.В. Руководство по химическому анализу почв. – М.: Изд-во МГУ 1970. – 490 с.
4. Воробьева, Л.А. Теория и методы химического анализа почв. – М.: Изд-во МГУ, 1995. – 134 с.
5. Гришина, Л.А. Система показателей гумусного состояния почв / Л.А. Гришина, Д.С. Орлов // В кн.: Проблемы почвоведения. – М.: Наука, 1978. – С. 42-47.
6. Гришина, Л.А. Гумусообразование и гумусное состояние почв. – М.: МГУ, 1986. – 244 с.
7. Ковда, В.А. Основы учения о почвах. – М., 1973. Книга 1,2. – 447 с.
8. Мамонтов, В.Г. Общее почвоведение / В.Г. Мамонтов, Н.П. Панов, И.С. Кауричев, Н.Н. Игнатъев. – М.: КолосС, 2006. – 456 с.
9. Мякина, Н.Б. Методическое пособие для чтения результатов химических анализов почв / Н.Б. Мякина, Е.В. Аринушкина. – М.: МГУ, 1979. – 62 с.
10. Никитин, Б.А. Методы определения содержания гумуса в почве // Агрохимия. – 1972. - № 3. – С. 123-125.
11. Орлов, Д.С. Дополнительные показатели гумусного состояния почв и их генетических горизонтов / Д.С. Орлов, О.Н. Бирюкова, М.С. Розанова // Почвоведение. – 2004. - № 8. – С. 918-926.
10. Орлов, Д.С. Еще о спектрофотометрическом определении содержания гумуса в почве / Д.С. Орлов, Н.М. Гриндель // Почвоведение. – 1967. - № 8. – С. 67-72.
11. Орлов, Д.С. Химия почв / Д.С. Орлов, Л.К. Садовникова, Н.И. Суханова. – М.: Высшая школа, 2005. – 557 с.
12. Пономарева, В.В. Некоторые данные о степени внутримолекулярной окисленности гумуса разных типов почв (к вопросу о переводном коэффициенте с углерода на гумус) / В.В. Пономарева, Т.А. Плотникова // Почвоведение. – 1967. - № 7. – С. 85-95.
13. Пономарева, В.В. Методические указания по определению содержания и состава гумуса в почвах (минеральных и торфяных) / В.В. Пономарева, Т.А. Плотникова. – Л.: ЦМП им. В.В. Докучаева ВАСХНИЛ, 1975. – 106 с.
14. Симаков, В.Н. Методика одновременного определения углерода, азота и окисленности в почве / В.Н. Симаков, В.П. Цыпленков // Агрохимия. – 1969. - № 6. – С. 127-134.
15. Теория и практика химического анализа почв // Под ред. Л.А. Воробьевой. - М.: ГЕОС, 2006. - 400с.
16. Шеуджен, А.Х. Органическое вещество почвы и методы его определения: Учебное пособие / А.Х. Шеуджен, Н.Н. Нещадим, Л.М. Онищенко // Под ред. В.Т. Куркаева. – Майкоп: ОАО «Полиграфиздат «Адыгея», 2007. – 344 с.

4. ВЕЩЕСТВЕННЫЙ СОСТАВ ПОЧВЫ

Элементный состав почвы позволяет получить представление об общем содержании каждого из химических элементов в почве и оценить итоги процессов почвообразования. Однако, при исследовании механизмов почвенных процессов элементный состав становится малоинформативным, потому что в химических реакциях участвуют конкретные молекулы, ионы, функциональные группы, которые часто обуславливают и специфические свойства почв. В связи с этим, понимание природы процессов опирается не столько на элементный, сколько на вещественный состав почвы.

Показатели вещественного состава дают информацию о содержании в почвах индивидуальных химических соединений (например, карбонатов и гипса) или их известных совокупностей (ионов легкорастворимых солей).

Разработаны и широко используются приемы, позволяющие определить карбонаты щелочноземельных металлов, гипс, содержание и ионный состав легкорастворимых солей. Вещественный состав особенно важен для степных, полупустынных и пустынных почв.

В таблице 30 приведены наиболее часто используемые показатели вещественного состава, с помощью которых характеризуют состояние засоленных почв.

Таблица 30

Показатели химического состояния засоленных почв
(Теория и практика ..., 2006)

Свойства почв	Показатели свойств	Единицы
химизм (тип) засоления	содержание ионов (CO_3^{2-} , HCO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-} ~ Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ ,	ммоль(экв)/100 г
	соотношение миллимолей эквивалентов ионов	относительные
степень засоления	концентрация солей в почвенном растворе	мг/л
	плотный или сухой остаток (метод водных вытяжек)	%
	сумма солей (метод водных вытяжек)	%
	сумма токсичных солей (метод водных вытяжек)	%
	удельная электропроводность фильтратов из водонасыщенных паст	дСм/м, мСм/см
	запас легкорастворимых солей в слое почвы	т/га
щелочность	pH почвенных растворов, паст, суспензий, вытяжек	единицы pH
	общая и другие виды щелочности	ммоль(-)/100г
	остаточный карбонат натрия (RSC)	ммоль(экв)/100 г
распределение солей в почвенном профиле	солевой профиль (графическое изображение распределения ионов в почвенном профиле)	
гипсоносность	содержание гипса в почвенных горизонтах	%
	запасы гипса в слое почвы	т/га
карбонатность	содержание карбонатов в почвенных горизонтах	%
	запасы карбонатов в слое почвы	т/га

4.1 Определение карбонатов

Одним из показателей валового состава почвы является содержание в ней CO_2 карбонатов. Наличие или отсутствие свободных карбонатов является важным

диагностическим признаком почв и их отдельных генетических горизонтов. Этот диагностический показатель используют в классификации почв.

Присутствие в почве карбонатов препятствует развитию кислотности, а иногда приводит к возникновению щелочности, что оказывает важное влияние на подвижность многих веществ в почве и на агроэкологические особенности почв. От содержания карбонатов зависят химические и физические свойства почв, их плодородие и мелиоративные особенности. Например, карбонат кальция, если его содержание находится на уровне 10-15 %, способствует образованию стабильных крупнопористых почвенных агрегатов, тогда как увеличение его содержания до 20-25 % приводит к уменьшению диффузивности почвенной влаги в связи с осаждением CaCO_3 внутри капилляров.

Содержание карбонатов необходимо знать для осуществления различных пересчетов, необходимых при интерпретации данных о содержании других компонентов валового химического состава почв.

Из карбонатов почти во всех видах почв преобладают карбонаты щелочно-земельных элементов RCO_3 (CaCO_3 – кальцит, $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$ – доломит, MgCO_3 – магнезит, FeCO_3 – сидерит, $\text{Na}_2\text{CO}_3 \times 10\text{H}_2\text{O}$ – сода) и гидрокарбонаты – $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$. Все эти карбонаты труднорастворимы. В жидкой фазе почв содержатся ионы Ca^{2+} , Mg^{2+} , HCO_3^- , CO_3^{2-} , H^+ , OH^- . Эта система имеет важное значение для почв при их естественной влажности, определяя кислотно-щелочное равновесие и подвижность многих компонентов почвы.

Количественное определение карбонатов проводят в тех почвах, где они обнаружены качественно (проба с HCl) хотя бы в некоторых горизонтах.

Примерное содержание карбонатов кальция в почвах можно установить по реакции почвы с соляной кислотой (приложение 7).

Основанием для определения карбонатов является также значение $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}} > 7$.

О примерном содержании карбонатов и соответственно размерах навески для анализа можно судить по характеру вскипания почвы (пробы) от 2-3 капель 10 % раствора HCl (таблица 31).

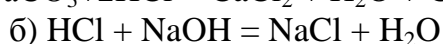
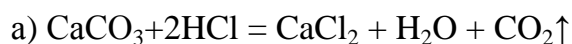
Таблица 31

Определение величины навески почвы для определения содержания карбонатов

CO_2 карбонатов вскипание	Содержание CaCO_3 , %	Величина навески, г
1. Очень сильное (бурное)	>10	0,5–1,0
2. Сильное, продолжительное	5–10	1,0–1,5
3. Заметное, но кратковременное	4–3	1,5–2,0
4. Слабое и кратковременное	3–2	2,0–3,0
5. Очень слабое и малозаметное	2–1	3,0–5,0
6. Вскипание отсутствует	<1	>5,0

Лабораторная работа № 21. Ацидиметрическое определение карбонатов

Метод основан на разрушении карбонатов титрованным раствором соляной кислоты при суточном настаивании (а) и последующем титровании избытка кислоты щелочью (б):



Метод отличается простотой и пригоден для массовых анализов.

Приборы и материалы: плоскодонная колба на 750-1500 мл, складчатый фильтр, пипетки на 25 мл, колба для титрования на 100 мл, бюретка.

Реактивы

1. 0,02н раствор HCl: 1,64 мл HCl (пл.1,19) растворить в воде в мерной колбе емкостью 1 л, довести водой до метки и перемешать.
2. 0,02н раствор NaOH: 0,8 г NaOH растворяют в воде без CO₂, доводят в мерной колбе емкостью 1л такой же водой до метки и перемешивают. Оба титрованных раствора (HCl и NaOH) удобно приготовить для этих целей из фиксаля.
3. Лакмусовая бумага.
4. Раствор метилрота (метилового красного): 0,02 г тонко растертого индикатора растворить в 100 мл горячей воды и по охлаждении отфильтровать.

Ход определения

1. Навеску почвы, равную 0,5-5 г (в зависимости от содержания карбонатов в соответствии с табл. 31), помещают в склянку или плоскодонную колбу емкостью 750-1500 мл, приливают 500-1000 мл 0,02н HCl и оставляют стоять в течение суток при периодическом взбалтывании. В процессе реакции склянки или колбы закрывать пробками не следует.

2. Через сутки после настаивания проверяют реакцию вытяжек лакмусовой бумагой: если реакция кислая, вытяжку отфильтровывают через складчатый фильтр.

3. Если лакмусовая бумага кислой реакции не показывает, к раствору добавляют ещё 100-200 мл 0,02н HCl и при периодическом взбалтывании снова оставляют стоять на сутки.

4. Из отфильтрованной вытяжки берут 25 мл раствора, прибавляют 2-3 капли раствора метилового красного и титруют 0,02н NaOH до перехода красной окраски в бледно-жёлтую.

5. Титрование можно вести сначала до избытка щёлочи, а затем провести обратное титрование соляной кислотой до перехода жёлтой окраски в красную.

6. Содержание CO₂ карбонатов вычисляют по формуле:

$$CO_2 \% = [(a \times N_1 - b \times N_2) \times V \times 0,022 \times 100] / (m \times a) K_w,$$

где a – объем аликвотной части раствора, взятый на титрование, мл;

N_1 – нормальность раствора HCl;

b – количество мл щёлочи, пошедшей на титрование аликвотной части;

N_2 – нормальность раствора щёлочи;

V – объем всего раствора кислоты, мл; 0,022 – величина мг-экв CO₂;

m – воздушно-сухая навеска, г;

K_w – коэффициент пересчета воздушно-сухой почвы на высушенную при 105⁰С.

Так как в 100 г CaCO₃ содержится 44 г CO₂ (коэффициент пересчета составляет 2,274), то можно сделать пересчет на содержание карбонатов в исследуемой почвенной пробе по следующей формуле:

$$CaCO_3 (\%) = CO_2 (\%) \times 2,274$$

Результаты записывают в таблицу 32.

Таблица 32

Результаты определения содержания карбонатов

Горизонт	Глубина, см	m	V, мл	a	N ₁	N ₂	b	K _w	CO ₂ %	CaCO ₃ %

Лабораторная работа № 22. Алкалиметрическое определение карбонатов по Ф.И. Козловскому.

Приборы и материалы: коническая колба на 250 мл, фарфоровый тигель, технические весы, пипетка, пробирка диаметром 25 мм и высотой около 90 мм, резиновая пробка, промывалка, фильтровальная бумага, бюретка для титрования.

Реактивы:

1. 2н HCl: 164 мл конц. HCl разбавляют дистиллированной водой до 1 л.
2. Фенолфталеин (1 %): 1 г фенолфталеина растворяют в 60 мл 95 % этилового спирта и доводят объем дистиллированной водой до 100 мл.
3. 0,2н HCl. Готовят из фиксаля.
4. Насыщенный раствор BaCl₂. Растворимость BaCl₂·2H₂O при 60°C составляет 31,7 г безводного вещества в 100 г раствора.
5. 0,4н NaOH. 313 г NaOH растворяют в 400 мл дистиллированной воды и оставляют на несколько дней в плотно закрытом полиэтиленовом сосуде; прозрачный раствор после отстаивания не содержит карбонатов; затем 26,8 мл прозрачного раствора NaOH разбавляют дистиллированной водой без CO₂ до 1 л. Концентрацию раствора устанавливают титрованием 0,2н раствором HCl по фенолфталеину.

Ход определения

1. Навеску почвы, пропущенной сквозь сито с отверстиями диаметром 0,25 мм, массой 0,5-2 г осторожно переносят в сухую коническую колбу вместимостью 250 мл, помещая почву около стенки колбы.
2. В колбу ставят пустой высокий фарфоровый тигель.
3. С помощью пипетки в тигель наливают около 5 мл 2н раствора HCl.
4. Затем в колбу помещают пробирку диаметром около 25 мм и высотой около 90 мм, не имеющую ранта, с 5 мл титрованного 0,4н раствора NaOH.
5. Пробирку прислоняют к стенке колбы, а колбу немедленно закрывают предварительно смоченной дистиллированной водой резиновой пробкой.
6. Затем колбу наклоняют, опрокидывая тигель с кислотой. Навески почвы с высоким содержанием карбонатов рекомендуется предварительно смочить 1-2 мл воды, чтобы замедлить течение реакции и предотвратить разгерметизацию системы при бурном выделении CO₂.
7. Спустя 30 мин круговыми движениями смесь почвы и кислоты перемешивают и равномерно распределяют по дну колбы. Все операции нужно проводить осторожно, чтобы не выплеснуть из пробирки раствор NaOH.
8. Колбу оставляют в покое на 4-5 часов или на ночь для поглощения раствором щелочи CO₂, выделившегося при разложении карбонатов кислотой.
9. Затем колбу открывают, вынимают пробирку, ополаскивают ее с внешней стороны дистиллированной водой из промывалки и осушают фильтровальной бумагой.
10. В пробирку добавляют 2 капли раствора фенолфталеина и около 1 мл насыщенного раствора BaCl₂.
11. Затем избыток NaOH титруют 0,2н HCl до исчезновения розовой окраски.
12. Одновременно проводят холостой опыт.
13. Содержание CO₂ карбонатов рассчитывают по уравнению:

$$CO_2 \% = [(V - V_1) \times n \times 0,022 \times 100] / m \times K_w, \text{ где}$$

V - объем кислоты, пошедший на титрование раствора NaOH в холостом опыте, мл;
 V_1 - объем кислоты, пошедший на титрование избытка NaOH при анализе почвы, мл;
 n - концентрация HCl, ммоль(экв)/мл; m - масса воздушно-сухой навески, г;

0,022 - молярная масса эквивалента диоксида углерода ($1/2\text{CO}_2$), г/моль(экв);

K_w - коэффициент для пересчета результата анализа на сухую почву.

14. Результаты определения записывают в таблицу 33.

Таблица 33

Результаты определения содержания карбонатов

Горизонт	Глубина, см	m	V, мл	V_I	n	K_w	CO_2 %	CaCO_3 %

4.2 Определение гипса

Гипс ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) обладает большей, чем CaCO_3 растворимостью (ПР гипса -4,37-10, ПР CaCO_3 ,- 2,88-10⁻⁹). В незасоленных почвах, в частности, в некоторых подтипах черноземов, в каштановых почвах, гипс в почвенном профиле залегает ниже карбонатов и выше легкорастворимых солей. Разработаны классификации почв по залеганию верхней границы слоя с содержанием гипса более 10 %, по мощности гипсового горизонта, по строению гипсовых образований и по содержанию гипса (Классификация..., 1977).

Содержание гипса в почвах изменяется в широких пределах – от следовых количеств до 25-50, а иногда до 80-90 %. Почвы, в гипсовых горизонтах которых содержание $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ составляет 2-10 %, относят к слабозагипсованным, почвы с содержанием гипса 10-20 % - к среднезагипсованным, 20-40 % - к сильнозагипсованным, а если содержание гипса в почвах превышает 40 %, то их относят к очень сильнозагипсованным.

В зависимости от содержания, формы существования и распределения в почвенном профиле гипс может оказывать разное действие на свойства почв и урожай растений. Небольшие количества гипса (до 2 % от массы почвы) благоприятны для роста растений; мучнистый гипс при содержании 2-25 % оказывает слабое вредное, либо вовсе не оказывает вредного действия, но при содержании, превышающем 25 %, он может быть причиной существенного уменьшения урожая. Кальций гипса, замещая натрий в почвенном поглощающем комплексе, способствует улучшению химических и физических свойств почв. Гипс солонцовых почв рассматривают как их мелиорант.

Таким образом, сведения о содержании гипса необходимы для диагностики почв, оценки их плодородия, генетических и мелиоративных особенностей.

Применяемые методы определения гипса можно объединить в две группы. Первая группа – химические методы, основанные на растворении гипса, вторая – термические методы, в соответствии с которыми учитываются потери кристаллизационной воды при нагревании гипса, позволяющие рассчитать его массу.

Химические методы определения гипса включают три основных этапа. Первый этап - извлечение гипса из анализируемой почвенной пробы. Второй этап - количественное аналитическое определение концентраций Ca^{2+} и SO_4^{2-} в полученной вытяжке химическими или инструментальными методами. Третий этап – расчет массовой доли (%) гипса по результатам измерений.

Некоторые методы определения гипса в почвах

1) Методика определения гипса солянокислым методом (Аринушкина Е.В., 1961).

Реагенты. 1. 0,2 н. раствор HCl . 2. 10 % раствор $\text{BaCl} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$.

- 2) Методика определения гипса по Н.Б. Хитрову (Руководство ..., 1990). *Реагенты*: 1М NaCl с pH 2; 1М NaNO₃ с pH 2; 1М NH₄Cl с pH 2; 5 % BaCl₂; 0,2н HCl.
- 3) Методика Беригари и Аль-Ани (1994). *Реагенты*: 50 % этанол; 0,5 М карбонат натрия.
- 4) Методика определения гипса кондуктометрическим методом Р. Бауэра и Б. Хас-са. *Реагенты*: Ацетон.
- 5) Методика извлечения гипса водой. *Реагенты*: Дистиллированная вода свободная от CO₂; 10 % р-р хлористого бария.
- 6) Метод Деба (Руководство ... 1990). *Реагенты*: Дистиллированная вода свободная от CO₂.
- 7) Термический метод. Основан на учете потери кристаллизационной воды гипса при нагревании почвы (при 65 и 105 градусах). Расчет содержания гипса проводят по количеству выделившейся кристаллизационной воды. Метод прост и точен при высоком содержании гипса, а при снижении менее 1-2 % методом пользоваться не рекомендуется.

Лабораторная работа № 23. Определение гипса по Н.Б. Хитрову (Руководство ..., 1990)

Приборы и материалы: коническая колба на 250 мл, фильтр средней плотности, ротатор, технические весы, мерная колба на 500 мл.

Реактивы:

1. Концентрированный солевой раствор с pH 2,0. Возможно использование любого из перечисленных растворов: 1) 1М NaCl с pH 2,0 – 58,5 г (ч.д.а. или х.ч.) растворяют приблизительно в 500 мл дистиллированной воды, добавляют 0,82 мл концентрированной HCl и доводят общий объем до 1л; 2) 1М раствора NaNO₃ >3 с pH 2,0 - 85,0 г NaNO₃ растворяют аналогично NaCl; 1 М раствор NH₄Cl с pH 2,0 - 53,5 г NH₄Cl растворяют аналогично NaCl.
2. 5 % раствор BaCl₂. 5 г BaCl₂ растворяют в 95 мл дистиллированной воды.
3. 0,2 н. раствора HCl. К ~500 мл дистиллированной воды добавляют 16,4 мл концентрированной HCl и доводят до 1 л дистиллированной водой.

Ход определения:

1. Из почвенной пробы, предварительно тщательно растертой в ступке и просеянной сквозь сито с отверстиями диаметром 0,25 мм, берут с точностью 0,01 г навеску 2,5 г и помещают ее в коническую колбу вместимостью 250 мл.
2. В колбу приливают 100 мл 0,2н раствора HCl.
3. Суспензию взбалтывают в течение 20 минут, дают отстояться, предварительно наклонив колбу на 45 градусов и установив ее в таком положении на упор (это необходимо для уменьшения возможности переноса почвенных частиц на фильтр).
4. Затем раствор профильтровывают через фильтр средней плотности в мерную колбу вместимостью 500 мл, стараясь не переносить частички почвы на фильтр.
5. К навеске приливают 100 мл солевого раствора (например, 1н раствора NaCl с pH 2,0).
6. Взбалтывают 20 минут, дают отстояться и фильтруют в ту же мерную колбу.
7. Вновь прибавляют 100 мл солевого раствора, взбалтывают и фильтруют.
8. В фильтрате делают качественную пробу на сульфаты с раствором хлористого бария. Если реакция в последней порции фильтрата отрицательная, то извлечение гипса прекращают, если положительная, то прибавляют еще 100 мл солевого раствора. Если и в последней порции солевого раствора качественная реакция на

сульфаты положительная, то проводят еще одно (последнее, независимо от качественной реакции) извлечение гипса солевым раствором.

9. Собранный в колбе раствор доводят до метки водой. В нем определяют сульфаты стандартным методом (см. раздел 4.3.9).

10. Приготовление солевой вытяжки проводилось без предварительного удаления легкорастворимых солей, поэтому содержание гипса рассчитывают следующим образом:

$$CaSO_4 \cdot 2H_2O, \% = (A - B) \times 0,086,$$

где A – общее содержание сульфатов в солевой вытяжке в ммоль(экв) на 100 г;

B – содержание сульфатов водорастворимых солей в ммоль (экв) на 100 г.,

$0,086$ – молярная масса эквивалента гипса г/ммоль(экв).

11. Результаты определения записывают в таблицу.

4.3 Анализ водной вытяжки почв

Засоление почв диагностируют и оценивают анализируя почвенные растворы, фильтраты из насыщенных водой почвенных паст и водных вытяжек. В России определение легкорастворимых солей и оценку засоления почв традиционно проводят методом водной вытяжки (Соколов Н.И., 1934; Мамонотов В.Г., 2002).

Данные водных вытяжек дают хороший сравнительный материал по содержанию и составу водорастворимых веществ в почве и позволяет оценить наиболее важную их генетико-агрономическую особенность – специфику ионно-солевого комплекса. Методом водных вытяжек пользуются при исследовании динамики почвенных процессов, изучении режима питательных веществ почвы, выявлении присутствия в ней вредных для растения солей и для решения многих других практических задач.

Суть метода водной вытяжки заключается в кратковременном (3 мин.) взаимодействии почвы и дистиллированной воды, взятых в соотношении 1:5. При этом происходит растворение легкорастворимых и труднорастворимых солей, содержащихся в почве.

Наиболее детальную характеристику засоленной почвы дает полная водная вытяжка, когда определяются сухой (плотный) остаток, прокаленный остаток, главные анионы – CO_3^{2-} , HCO_3^- , SO_4^{2-} , Cl^- и катионы – Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ .

Результаты анализа водных вытяжек представляют в процентах с точностью до третьего десятичного знака и в миллиграмм-эквивалентах на 100 г почвы с точностью до второго десятичного знака (Воробьева Л.А., 1984). Эквивалентная форма выражения результатов анализа позволяет установить количественное соотношение между положительно и отрицательно заряженными ионами и выявить их взаимное насыщение.

Миллиграмм-эквивалентом (мг-экв) называют тысячную долю грамм эквивалента. Вычисление мг-экв при объемных определениях производят умножением числа миллилитров раствора, израсходованного на титрование, на нормальность этого раствора.

4.3.1. Методика получения водной вытяжки и определение реакции среды

Водная вытяжка представляет собой фильтрат, приготовленный из анализируемой почвы, после трехминутного взбалтывания взятой навески с пятикратным

количеством воды. Водная вытяжка дает представление о содержании в почве водорастворимых веществ, состоящих преимущественно из простых минеральных и органических солей.

Ионно-солевой комплекс почв представляет собой всю совокупность солей и ионов находящихся в разных формах – жидкой (почвенный раствор), твердой (кристаллические водорастворимые соли), сорбированной (обменные основания) и связанных между собой динамическим равновесием.

Следует иметь в виду, что с момента растворения простых солей на почву действует уже не водный, а более сложный раствор: в солончаках – солевой, в солонцах – щелочной, в подзолистых и дерново-подзолистых почвах – кислый. В результате взаимодействия солевого раствора, особенно NaCl, на почву повышается растворимость труднорастворимых солей и, кроме того, имеют место реакции взаимного обмена между катионами вытяжки и катионами поглощающего комплекса почвы. Щелочная реакция солонцов увеличивает растворимость гумуса, кислая реакция подзолистых и дерново-подзолистых почв способствует переходу в вытяжку полуторных окислов.

Лабораторная работа № 24. Приготовление водной вытяжки и определение реакции среды

Приборы и материалы: технические весы, мерная колба на 250-500 мл с резиновой пробкой, ротатор, воронка для фильтрования, фильтр с синей лентой диаметром 9-11 см, складчатый фильтр, мерный цилиндр на 25 мл, химический стакан на 50 мл, ионметр, ротатор.

Реактивы:

1. Дистиллированная вода без CO₂.

Ход определения

1. Отвешивают на технических весах воздушно-сухую почву – 50 г и помещают в колбу емкостью 500 мл. Приливают 250 мл дистиллированной воды. Колбу закрывают резиновой пробкой и взбалтывают на ротаторе в течение 3 мин.

2. Перед тем как вылить вытяжку на фильтр, содержимое колбы встряхивают, чтобы взмутить навеску. Вытяжку фильтруют через фильтр (в воронку вкладывают плотный фильтр диаметром 9-11 см, затем – складчатый фильтр, который должен соответствовать размеру воронки, т.е. лежать на 0,5-1 см ниже ее края, можно использовать двойные складчатые фильтры), желательнее перенести сразу весь объем. Почва забивает поры фильтра, задерживает коллоидные частицы и тем способствует получению прозрачного фильтрата. Для анализа собирают только прозрачный фильтрат. *Нельзя допускать, чтобы фильтр был выше воронки; в этом случае раствор, поднимаясь по капиллярам бумаги, образует «выцветы» солей по краю фильтра и тем снижает концентрацию их в фильтрате.* Скорость фильтрации зависит от растворимости солей. Для защиты вытяжки от испарения при длительном фильтровании воронку прикрывают большим покровным стеклом, а в горло колбы вставляют тампон ваты.

3. Сразу определяется реакция среды, для этого мерным цилиндром отмеряем 25 мл фильтрата и переносим в стакан на 50 мл.

4. Включаем ионметр подготовленный к определению и опускаем в вытяжку хлорсеребрянный и стеклянный электроды сравнения прибора, после чего на экране выдается значение реакции среды.

5. Реакция среды водной вытяжки равна: $pH_{H_2O} = \dots$

4.3.2. Определение суммы водорастворимых веществ (сухой остаток)

Сухой или плотный остаток дает представление об общем содержании растворимых органических и минеральных веществ в водной вытяжке. Для получения характеристики общего засоления почв и проверки результатов анализа водной вытяжки используется суммарное определение растворимых в воде соединений.

Метод основан на высушивании при 100-105°C остатка, полученного выпариванием аликвоты водной вытяжки и определении её массовой доли (%).

В незасоленных почвах величина сухого остатка колеблется в пределах 0,01-0,30 %; в засоленных – превышает 0,30 %. По величине сухого остатка устанавливают степень засоления почв (таблица 34).

Таблица 34

Уровни степени засоления почв по содержанию сухого остатка

Сухой остаток, %	Условная степень засоления
менее 0,3	незасоленные
0,31 - 0,5	слабозасоленные
0,51 - 1,0	среднезасоленные
1,01 - 2,0	сильнозасоленные
более 2,0	очень сильнозасоленные

Лабораторная работа № 25 . Определение сухого (плотного) остатка

Приборы и материалы: водяная баня с электрообогревом, сушильный шкаф, эксикатор, мерная пипетка на 25-50 мл, фарфоровая чашка на 100-150 мл, аналитические весы, водная вытяжка.

Ход определения

1. Предварительно высушивают фарфоровую чашку диаметром 10-15 см в сушильном шкафу 3 часа, охлаждают в эксикаторе и взвешивают на аналитических весах.
2. Для определения берут аликвоту 50 мл водной вытяжки помещают в предварительно высушенную и взвешенную фарфоровую чашку.
3. Чашку с аликвотой выпаривают на водяной бане с электрообогревом. Выпариваемый объем должен занимать не более ½ объема, так как сухой остаток «ползет» по стенкам чашки. В процессе выпаривания следят, чтобы кипящая вода не попадала на дно чашки. Выпаривают раствор на водяной бане до сухого состояния.
4. По окончании выпаривания чашку с остатком вытирают снаружи полотенцем, высушивают и ставят в холодный сушильный шкаф. Если перенести в горячий шкаф могут быть потери от разбрызгивания солей. Доводят температуру в сушильном шкафу до 100°-105°C и высушивают при указанной температуре в течение 3 час, охлаждают в эксикаторе и взвешивают. Затем повторно 2 часа для получения постоянного веса остатка (если вес остатка больше 0,1 г осадок высушивают еще раз в течение 1-2 час).
5. Вычисляют сухой остаток по формуле:

$$\text{Сух. ост. \%} = (a \times V_1 \times 100 \times K_w) / (V_2 \times V_3), \text{ где}$$

V_1 – объем дистиллированной воды взятой для приготовления водной вытяжки,

V_2 – аликвота взятая для определения сухого остатка,

V_3 – объем почвы взятой для приготовления водной вытяжки,

K_{H_2O} – коэффициент гигроскопичности,
 100 – коэффициент пересчета на 100 %.
 6. Результаты записывают в таблицу 35.

Таблица 35

Форма записи результатов определения сухого остатка

Почва	Глубина, см	Аликвота, мл	№ чашки	Масса, г			Сухой остаток, %	
				пустой чашки	взвешивание			сухого остатка
					1	2		

7. Полученные данные используют для установления условной степени засоления почвы или отдельного его горизонта.

4.3.3. Определение общей суммы минеральных водорастворимых веществ (прокалённый остаток)

Прокалённый остаток характеризует минерализацию водной вытяжки и дает представление об общем количестве водорастворимых минеральных солей. Если ваша вытяжка имеет темную окраску, за счет водорастворимых органических веществ, следует для прокаливания взять меньший объём для лучшего озоления.

Лабораторная работа № 26 . Определение прокалённого остатка

Приборы и материалы: муфельная печь, муфельные щипцы, эксикатор, фарфоровая чашка на 100-150 мл, пипетка на 50 мл.

Ход определения

1. Для определения можно воспользоваться высушенным и взвешенным сухим остатком. Прокаливают его в муфельной печи при температуре 600°C в течении 10-15 минут с момента достижения указанной температуры.
2. Если за это время остаток не побелеет, чашку охлаждают и смачивают несколькими каплями дистиллированной воды, подсушивают на водяной бане и ставят в муфельную печь на 30 минут.
3. Вычисляют прокалённый остаток по формуле:

$$\text{Прок.ост., \%} = (a \times V_1 \times 100 \times K_{H_2O}) / (V_2 \times V_3), \text{ где}$$

a – полученная масса прокалённого остатка,

V_1 – объём дистиллированной воды взятой для приготовления водной вытяжки,

V_2 – аликвота взятая для определения сухого остатка,

V_3 – объём почвы взятой для приготовления водной вытяжки,

K_{H_2O} – коэффициент гигроскопичности,

100 – коэффициент пересчета.

6. Результаты записывают в таблицу 36.

Таблица 36

Форма записи результатов определения прокалённого остатка

Почва	Глубина, см	Аликвота, мл	№ чашки	Масса, г			Прокалённый остаток, %	
				чашки	взвешивание			остатка
					1	2		

4.3.4. Качественное определение содержания ионов и реакции вытяжки

Приступая к количественному определению состава водной вытяжки необходимо провести качественные испытания. Они позволят установить объём вытяжек для определения ионов в соответствии с их содержанием в анализируемом водном растворе, а также убедиться, какими соединениями обуславливается щёлочность и кислотность вытяжки.

Лабораторная работа № 27. Качественное определение содержания ионов и реакции водной вытяжки

Приборы и материалы: колбы объемом на 100 мл, пробирки на 5 мл, мерные пипетки на 10 мл, газовая горелка.

Реактивы:

1. Индикаторы: фенолфталеин, метилоранж.
2. 10 % H_2SO_4
3. 5 % $AgNO_3$
4. 10 % HCl
5. 10 % $BaCl_2$
6. 10 % CH_3COOH
7. 4 % $(NH_4)_2C_2O_4$

Ход определения

1. Определение хлор – иона. Берут 5 мл водной вытяжки в пробирку и подкисляют 2 каплями 10 % серной кислотой, затем прибавляют несколько капель 5% азотнокислого серебра. Содержимое колбы перемешивают и по образовавшемуся осадку $AgCl$ устанавливают объём вытяжки для определения хлоридов, ориентируясь на показатели таблице 37: $NaCl + AgNO_3 = AgCl\downarrow + NaNO_3$.

Таблица 37

Объём водной вытяжки для определения Cl^- в зависимости от показаний качественной пробы (Аринюшкина Е.В., 1961)

Вид осадка	Содержание Cl^-		Количество мл вытяжки для определения Cl^-
	в мг на 100 мл вытяжки	в г на 100 г почвы (%)	
Большой хлопьевидный осадок	более 10	десятые доли	5
Сильная муть	10 - 5	сотые доли	25
Опалесценция	1 - 0,1	тысячные доли	более 50

2. Определение сульфат – иона. Берут 5 мл водной вытяжки в пробирку и подкисляют 2 каплями 10 % HCl , прибавляют 2-3 капли 5 % $BaCl_2$ и перемешивают. По величине осадка $BaSO_4$ устанавливают объём вытяжки, используя таблицу 38.

3. Определение кальций – иона. Берут 5 мл водной вытяжки в пробирку и подкисляют каплей 10 % CH_3COOH , прибавляют 2-3 капли 4 % $(NH_4)_2C_2O_4$, перемешивают, по осадку CaC_2O_4 устанавливают объём вытяжки, используя таблицу 39.

4. Определение реакции водной вытяжки.

- В колбу на 100 мл берут 10 мл вытяжки и прибавляют одну каплю фенолфталеина. Розовый цвет раствора указывает на наличие соды, а её интенсивность на количественные характеристики.
- При нейтральном окрашивании пробу с вытяжкой помещают на сетку над пламенем горелки и упаривают в процессе кипячения на 1/3 от первоначального или чуть больше. Появление розоватой окраски говорит о

наличии в вытяжке бикарбонатов, которые при нагревании перешли в углекислую соду.

- При нейтральной или кислой реакции вытяжки к свежей порции добавляют 1-2 капли метилоранжа, что, окрашивает её в бледно-розовый цвет, если в желтый, то это свидетельствует о содержании в вытяжке только бикарбонатов в незначительных концентрациях.

Таблица 38

Объём водной вытяжки для определения SO_4^{2-}
в зависимости от показаний качественной пробы
(Аринушкина Е.В., 1961)

Вид осадка	Содержание SO_4^{2-}		Количество мл вытяжки для определения SO_4^{2-}
	в мг на 100 мл	в г на 100 г (%)	
Большой осадок, быстро оседающий на дно	50	десятые доли	5
Муть появляющаяся сразу	10 - 1	сотые доли	25
Медленно появляющаяся муть	1 - 0,5	тысячные доли	более 50

Таблица 39

Объём водной вытяжки для определения Ca^{2+} в зависимости
от показаний качественной пробы
(Аринушкина Е.В., 1961)

Вид осадка	Содержание Ca^{2+}		Количество мл вытяжки для определения Ca^{2+}
	в мг на 100 мл	в г на 100 г (%)	
Большой осадок, выпадающий сразу	более 50	десятые доли	5
Муть выделяющаяся при перемешивании	10 - 1	сотые доли	25
Слабая муть, появляющаяся при стоянии	1 - 0,1	тысячные доли	более 50

5. Результаты качественного определения содержания ионов заносят в таблицу 40.

Таблица 40

Результаты определения содержания ионов

Горизонт	Глубина, см	Вид осадка			Наличие		рН по индикатору
		Cl	SO_4^{2-}	Ca^{2+}	соды	бикарбоната	

4.3.5. Определение общей кислотности водной вытяжки

Общая кислотность обусловлена присутствием в почве свободной углекислоты и органических кислот, водорастворимых кислых солей и ненасыщенных соединений. Если водная вытяжка кислая (окрашивается метилоранжем в бледно-розовый цвет), то в ней определяют общую кислотность.

Метод основан на титровании водной вытяжки раствором щёлочи в присутствии фенолфталеина до бледно-розовой окраски.

Лабораторная работа № 28. Определение общей кислотности водной вытяжки

Приборы и материалы: мерные пипетки объёмом 20-25 мл, бюретка, две конические колбы на 100 мл.

Реактивы:

1. Индикатор: фенолфталеин.
2. 0,01н раствор NaOH

Ход определения

1. Берут пипеткой 25 мл водной вытяжки в две колбы объёмом на 100 мл и прибавляют 1-2 капли фенолфталеина, перемешивают круговыми движениями.
2. Титруют 0,01н раствор NaOH до появления бледно-розовой не исчезающей окраски.
3. Результаты определения вычисляют в мг-экв/100 г почвы по формуле:

$$H^+ = a \times K_{NaOH} \times 20 \times 0,01 \times K_{H_2O}, \text{ где}$$

a – количество щелочи пошедшей на титрование,

K_{NaOH} – поправка на титр щелочи,

20 – множитель для пересчета на 100 г почвы,

$0,01$ – значение мг-экв H^+ связываемое 1 мл 0,01н NaOH,

K_{H_2O} – коэффициент гигроскопичности.

5. Результаты заносят в таблицу 41.

Таблица 41

Форма записи результатов определения общей кислотности

Почва	Глубина, см	Аликвота, мл	K_{H_2O}	K_{NaOH}	Пошло NaOH на титрование	H^+ мг-экв/100 г

4.3.6. Определение щелочности от растворимых карбонатов

Щёлочность от растворимых карбонатов или щёлочность от нормальных карбонатов характерна для водных вытяжек, щёлочность которых обусловлена присутствием в почве соды, а также щелочных солей кремневой и органических кислот, для карбонатных почв – углекислым магнием.

Растворимые карбонаты создают щелочную реакцию водной вытяжки при добавлении фенолфталеина и она окрашивается в розовый цвет. Титруя окрашенную вытяжку кислотой до обесцвечивания индикатора узнаем содержание в ней растворимых карбонатов. Нейтрализация соды идет до образования бикарбонатов, поэтому оттитровывается лишь на половину и полученные результаты по титрованию удваивают. Образующиеся бикарбонаты подкисляют раствор, снижается щёлочность среды и фенолфталеин обесцвечивается.

Лабораторная работа № 29. Определение щелочности от растворимых карбонатов.

Приборы и материалы: мерная пипетка на 25-50 мл, две конические колбы на 200 мл, бюретка.

Реактивы:

1. Индикатор: фенолфталеин.
2. 0,01н и 0,02н раствор H_2SO_4 .

Ход определения

1. Берут аликвоту пипеткой по 25 мл в две конические колбы на 200 мл.
2. В одну колбу прибавляют 2 капли фенолфталеина, а вторая является “свидетелем”, чтобы вовремя заметить переход окраски (в неё не добавляют индикатор).

3. Титрование проводят 0,01н или 0,02н H₂SO₄ в зависимости от интенсивности окраски до обесцвечивания раствора. Титрование следует вести быстро, чтобы избежать насыщения раствора углекислотой.

Внимание! Колбы после титрования с полученным раствором используют для определения общей щёлочности.

4. Выражают растворимые карбонаты в миллиграмм-эквивалентах на 100 г абсолютно сухой почвы и в процентах ионов CO₃²⁻. Рассчитывают по формулам:

$$CO_3^{2-} \text{ мг-экв/100 г почвы} = (a \times 2 \times N \times V_1 \times 100 \times K_{H_2O}) / (V_2 \times V_3), \text{ где}$$

a – количество серной кислоты пошедшей на титрование,

N – нормальность H₂SO₄,

*V*₁ – объем дистиллированной воды взятой для приготовления водной вытяжки,

*V*₂ – аликвота взятая для определения общей щёлочности,

*V*₃ – объем почвы взятой для приготовления водной вытяжки,

*K*_{H₂O} – коэффициент гигроскопичности,

2 – коэффициент на полноту титрования,

100 – коэффициент пересчета на 100 г почвы.

Для пересчета миллиграмм-эквивалентов в проценты необходимо полученный результат умножить на эквивалентный вес (приложение 8) и разделить на 1000 (100 г перевести в мг):

$$CO_3^{2-} \% = (HCO_3^-, \text{ мг-экв/100г почвы} \times 30) / 1000$$

5. Результаты заносят в таблицу 42.

Таблица 42

Форма записи результатов определения растворимых карбонатов

Почва	Глубина, см	Аликвота, мл	K _{H₂O}	Нормальность H ₂ SO ₄	H ₂ SO ₄ , мл	CO ₃ ²⁻ мг-экв/100 г	CO ₃ ²⁻ , %

4.3.7. Определение щёлочности водной вытяжки

Общую щёлочность определяют в водных вытяжках во всех почвах. Величина этой формы щёлочности зависит от общего содержания в почве бикарбонат-ионов HCO₃⁻ (гидрокарбонатов) щелочных и щелочноземельных металлов. Метод заключается в титровании водной вытяжки 0,01 н раствором серной кислоты в присутствии метилоранжа. По метиловому оранжевому бикарбонаты оттитровываются полностью, поэтому общая щёлочность является суммарной величиной всех бикарбонатов вытяжки.

Лабораторная работа № 30. Определение щёлочности водной вытяжки

Приборы и материалы: мерная пипетка на 20-25 мл, две конические колбы на 100 мл, бюретка.

Реактивы:

1. Индикатор: метилового оранжевого.

2. 0,01н раствор H₂SO₄.

Ход определения

1. Берут пипеткой по 20-25 мл водной вытяжки в две колбы на 100 мл.

2. Приливают по 1-2 капли метилоранжа и перемешивают круговыми движениями. В присутствии индикатора вытяжка окрашивается в жёлтый цвет.

3. Титруют вытяжку в одной из колб 0,01 н H₂SO₄ до бледно-розовой окраски. Изменение жёлтой окраски (в нейтральной и слабощелочной реакции) трудно-уловимо, поэтому для более точного определения используют вторую колбу в качестве свидетеля.

Внимание! После титрования колбы с полученным раствором используют для определения хлор-иона.

4. Выражают общую щелочность в процентах ионов и HCO₃⁻ и в миллиграмм-эквивалентах на 100 г абсолютно сухой почвы. Рассчитывают по формулам:

$$HCO_3^- \text{ мг-экв/100 г почвы} = (a \times N \times V_1 \times 100 \times K_{H_2O}) / (V_2 \times V_3), \text{ где}$$

a – количество серной кислоты пошедшей на титрование,

N – нормальность H₂SO₄,

*V*₁ – объем дистиллированной воды взятой для приготовления водной вытяжки,

*V*₂ – аликвота взятая для определения общей щёлочности,

*V*₃ – объем почвы взятой для приготовления водной вытяжки,

*K*_{H₂O} – коэффициент гигроскопичности,

100 – коэффициент пересчета на 100 г почвы.

Для пересчета миллиграмм-эквивалентов в проценты необходимо полученный результат умножить на эквивалентный вес и разделить на 1000 (100 г перевести в мг):

$$HCO_3^-, \% = (HCO_3^- \text{ мг-экв/100г} \times 61) / 1000$$

Эквивалентный вес HCO₃⁻ = 1 + 12 + (16 × 3) = 61

5. Результаты заносят в таблицу 43.

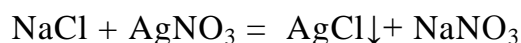
Таблица 43

Форма записи результатов определения общей щелочности

Почва	Глубина, см	Аликвота, мл	K _{H₂O}	Нормальность H ₂ SO ₄	H ₂ SO ₄ , мл	HCO ₃ ⁻ мг-экв/100 г	HCO ₃ ⁻ %

4.3.8. Определение хлор-иона

Определение хлор-ионов из водной вытяжки дает возможность установить степень хлоридного засоления. Метод основан на взаимодействии хлор-ионов с ионами серебра в присутствии хромат-ионов. При прибавлении к титруемому раствору азотнокислого серебра образуется нерастворимый белый осадок хлористого серебра:



Когда хлор-ион перейдет весь в хлористое серебро, азотнокислое серебро начнет вступать в реакцию с двуххромовокислым калием и придаст раствору исчезающий красновато-бурый оттенок, так как будет образовываться хромовокислое серебро. Титрование ведут при **энергичном!** взбалтывании раствора, чтобы освободить сорбированный осадок от хлор-иона. Просветление под конец титрования связано с укрупнением частиц осадка.

Лабораторная работа № 31. Определение хлор-иона

Приборы и материалы: бюретка, колбы с нейтрализованной водной вытяжкой после определения обменной щелочности.

Реактивы:

1. 10 % K₂Cr₂O₇

2. 0,02н AgNO₃.

Ход определения

1. Берём колбы с нейтрализованной водной вытяжкой после определения общей щёлочности и прибавляем в качестве индикатора 1 мл 10 % K₂Cr₂O₇.
2. Проводим титрование хлор-иона 0,02н раствором азотнокислого серебра до появления не исчезающей краснобурой окраски. Обязательно используем вторую колбу в качестве свидетеля.
3. Выражают содержание хлор-иона в процентах и в миллиграмм-эквивалентах на 100 г абсолютно сухой почвы. Рассчитывают по формулам:

$$CI \text{ мг-экв/100 г почвы} = (a \times N \times V_1 \times 100 \times K_{H_2O}) / V_2 \times V_3, \text{ где}$$

a – количество азотнокислого серебра пошедшего на титрование,

N – нормальность AgNO₃,

*V*₁ – объем дистиллированной воды взятой для приготовления водной вытяжки,

*V*₂ – аликвота взятая для определения общей щёлочности,

*V*₃ – объем почвы взятой для приготовления водной вытяжки,

*K*_{H₂O} – коэффициент гигроскопичности,

100 – коэффициент пересчета на 100 г почвы.

Для пересчета миллиграмм-эквивалентов в проценты необходимо полученный результат умножить на эквивалентный вес и разделить на 1000 (100 г перевести в мг):

$$CI, \% = (CI \text{ мг-экв/100г} \times 35,45) / 1000.$$

Эквивалентный вес CI = 35,45.

4. Результаты заносят в таблицу 44.

Таблица 44

Форма записи результатов определения хлор-иона

Почва	Глубина, см	Аликвота, мл	K _{H₂O}	Нормальность AgNO ₃	AgNO ₃ , мл	CI мг-экв/100 г почвы	CI, %

4.3.9. Определение сульфат-иона

По количественному содержанию сульфат-иона можно установить степень сульфатного засоления. Определение проводят весовым методом. Метод основан на осаждении сульфат-иона барием. Осаждение проводят в нагретом солянокислом растворе, что способствует получению перенасыщенного раствора и выделению из него крупнокристаллического осадка BaSO₄.

Лабораторная работа № 32. Определение сульфат-иона

Приборы и материалы: химический термостойкий стакан на 50 мл, часовое стекло, стакан на 500 мл и 100 мл, мерная пипетка на 20-25 мл и на 1 мл, мерный цилиндр на 5 мл, электроплита с асбестовой сеткой, муфельная печь и муфельные щипцы, эксикатор, фильтр с синей лентой, лакмусовая бумага, воронка для фильтрования, фарфоровый тигль, аналитические весы.

Реактивы:

1. 10 % HCl
2. 10 % BaCl₂
3. 10 % H₂SO₄.

Ход определения

1. Берём в химический стакан пипеткой аликвоту 20-25 мл и подкисляем 1-2 мл 10 % HCl до явно кислой реакции (определяем по метиловому красному).
2. Ставим на плиту и доводим до кипения и осаждаем горячим 10 % хлоридом бария. Приливаем его по **каплям!** и каждую **тщательно размешиваем!** круговыми движениями. При нагревании подкислённого раствора выпадает небольшой хлопьевидный осадок скоагулировавшихся коллоидов.
3. Стакан с осадком закрывают часовым стеклом и кипятят 2-3 минуты. Снимают с плиты и оставляют в покое 2-3 часа в теплом месте для осаждения.
4. На следующий день осадок отфильтровывают через плотный фильтр, промывают стакан и осадок горячей водой подкисленной 10 % соляной кислотой (проверить лакмусовой бумагой). Промывание продолжают до исчезновения реакции на барий (пробу проводят на часовом стекле: берем несколько капель фильтрата и добавляем каплю 10 % H₂SO₄, если раствор мутнеет, промывание продолжают).
5. Подсушивают фильтр на воронке.
6. Предварительно просушивают фарфоровый тигль в муфельной печи при температуре 900⁰С, охлаждают в эксикаторе и взвешивают на аналитических весах.
7. Аккуратно складывают и переносят в просушенный фарфоровый тигль подсушенный фильтр.

8. Фарфоровый тигль помещают в муфельную печь и с момента нагревания до 700 - 800⁰С озоляют 30 минут.

9. Вынимают тигль из муфеля муфельными щипцами и охлаждают в эксикаторе, взвешивают на аналитических весах.

10. Выражают содержание сульфат-иона в процентах и в миллиграмм-эквивалентах на 100 г абсолютно сухой почвы. Рассчитывают по формулам:

$$SO_4^{-2} \% = m \times V_1 \times 100 \times K_{H_2O} \times 96,06 / V_2 \times V_3 \times 233,404, \text{ где}$$

m – масса осадка BaSO₄ в граммах,

V_1 – объем дистиллированной воды взятой для приготовления водной вытяжки,

V_2 – аликвота взятая для определения общей щёлочности,

V_3 – объем почвы взятой для приготовления водной вытяжки,

K_{H_2O} – коэффициент гигроскопичности,

100 – коэффициент пересчета на 100 г почвы,

96,06 – атомный вес сульфат-иона

233,404 – атомный вес сульфата бария.

Для пересчета процентов в миллиграмм-эквиваленты необходимо полученный результат умножить на 1000 (100 г перевести в мг) и разделить на эквивалентный вес:

$$SO_4^{-2}, \text{ мг-экв/100 г почвы} = (SO_4^{-2}, \% \times 1000) / 48,03.$$

Эквивалентный вес $SO_4^{-2} = 48,03$

11. Результаты заносят в таблицу 45.

Таблица 45

Форма записи результатов определения сульфат-иона

Почва	Глубина, см	Аликвота, мл	K _{H2O}	Масса, г			SO ₄ ⁻² мг-экв/100 г	SO ₄ ⁻² , %
				тигля	тигля с осадком	осадка		

4.3.10. Определение водорастворимого кальция и магния

Метод основан на свойстве трилона Б извлекать ионы кальция и магния из их окрашенных растворимых комплексов с металлдииндикаторами. Кальций с трилоном Б образует более прочный комплекс и извлекается в первую очередь, а затем магний.

В момент полного извлечения катионов кальция и магния из комплекса хромогеном синим, окраска раствора изменяется из винно-красной до синей, но произойти это может только в слабощелочной среде, поэтому в водную вытяжку вводят хлоридно-аммиачный буфер (смесь $\text{NH}_4\text{Cl} + \text{NH}_4\text{OH}$).

Для определения кальций-иона используют способность трилона Б и его растворимого окрашенного комплекса с индикатором мурексидом изменять окраску из розовой в фиолетовую при щелочной реакции. Магний не образует с мурексидом прочного окрашенного комплекса, поэтому его можно найти расчётным методом.

Лабораторная работа № 33. Определение кальция и магния в водной вытяжке

Приборы и материалы: мерная колба на 200-250 мл, пипетки на 20-25 мл, бюретка.

Реактивы:

1. Хлоридно-аммиачный буфер.
2. 0,05н трилон Б
3. 10 % NaOH
4. Индикаторы: хромоген синий, мурексид.

Ход определения

А) *Сумма водорастворимого кальция и магния*

1. Проверяем дистиллированную воду на присутствие кальция и магния (к 100 мл прибавить 5 мл хлоридно-аммиачного буфера и 10 капель хромогена синего, перемешивают, при их отсутствии вода окрашивается в синий цвет).

2. Берём аликвоту по 25 мл водной вытяжки и переносим её в две конические колбы приливаем по 5-10 капель 1 % раствора солянокислого гидроксиламина $\text{NH}_2\text{OH}\cdot\text{HCl}$ (для устранения влияния марганца на ход анализа), по 2-3 капли 1% раствора сульфида натрия $\text{Na}_2\text{S}\cdot 9\text{H}_2\text{O}$ (для устранения влияния меди), 75 мл дистиллированной воды, добавляем 5 мл хлоридно-аммиачного буфера и индикатор хромоген синий в каждую (для окрашивания раствора в вишнево-красный цвет) колбу.

3. Титруют содержимое одной из колб 0,05н раствором трилона Б. Вторая колба служит для сравнения окраски. При титровании раствор все время перемешивают. Вишнево-красный цвет вытяжки вблизи точки эквивалентности приобретает лиловую окраску. Конец титрования устанавливают по появлению сине-голубого цвета.

4. Выражают содержание катионов кальция и магния в миллиграмм-эквивалентах на 100 г почвы. Рассчитывают по формуле:

$\text{Ca}^{+2} + \text{Mg}^{+2}$, мг-экв/100г почвы = $(a_1 \times V_1 \times 100 \times K_{\text{H}_2\text{O}} \times N) / (V_2 \times V_3)$, где

a_1 – количество трилона Б пошедшего на титрование,

N – нормальность трилона Б,

V_1 – объем дистиллированной воды взятой для приготовления водной вытяжки,

V_2 – аликвота взятая для определения суммы $\text{Ca}^{+2} + \text{Mg}^{+2}$,

V_3 – объем почвы взятой для приготовления водной вытяжки,
 K_{H_2O} – коэффициент гигроскопичности,
 100 – коэффициент пересчета на 100 г почвы.

Б) *Определение водорастворимого кальция*

5. Берут пипеткой по 25 мл водной вытяжки в две конические колбы объемом по 250 мл.

6. Приливают в каждую по 75 мл дистиллированной воды, лишенной ионов Ca^{+2} и Cu^{+2} .

7. Добавляют по 5-10 капель водного раствора гидроксилamina, по 2-3 капли 1 % раствора сульфида натрия, по 2 мл 10 % раствора КОН или NaOH (для доведения рН раствора до 12) и вносят деревянной лопаточкой мурексид (0,2-0,3г). Раствор должен окраситься в ярко-розовый цвет.

8. Немедленно титруют содержимое одной из колб 0,05н раствором трилона Б до перехода ярко-розовой окраски в фиолетовую (лиловую). Титруют медленно при постоянном перемешивании.

9. Выражают содержание катионов кальция и магния в миллиграмм-эквивалентах на 100 г почвы и в процентах. Рассчитывают по формулам:

$$Ca^{+2}, \text{ мг-экв/100г почвы} = (a_2 \times V_1 \times 100 \times K_{H_2O} \times N) / (V_2 \times V_3), \text{ где}$$

a_2 – количество трилона Б пошедшего на титрование,

N – нормальность трилона Б,

V_1 – объем дистиллированной воды взятой для приготовления водной вытяжки,

V_2 – аликвота взятая для определения суммы $Ca^{+2} + Mg^{+2}$,

V_3 – объем почвы взятой для приготовления водной вытяжки,

K_{H_2O} – коэффициент гигроскопичности,

100 – коэффициент пересчета на 100 г почвы.

Для пересчета миллиграмм-эквивалентов в проценты необходимо полученный результат умножить на эквивалентный вес и разделить на 1000 (100 г перевести в мг):

$$Ca^{+2}, \% = (Ca^{+2}, \text{ мг-экв/100г} \times 20) / 1000. \text{ Эквивалентный вес } Ca^{+2} = 20.$$

В) *Определение водорастворимого магния*

10. Катион магния определяют расчетным путем из количества трилона Б затраченного на определение суммы катионов (кальция и магния) и вычитают пошедшее на титрование ионов кальция в мг-экв/100 г почвы:

$$Mg^{+2}, \text{ мг-экв/100г почвы} = A - B,$$

A – ($Ca^{+2} + Mg^{+2}$), мг-экв/100г почвы,

B – Ca^{+2} , мг-экв/100г почвы.

Для пересчета миллиграмм-эквивалентов в проценты необходимо полученный результат умножить на эквивалентный вес и разделить на 1000 (100 г перевести в мг):

$$Mg^{+2}, \% = (Mg^{+2}, \text{ мг-экв/100г почвы} \times 12) / 1000. \text{ Эквивалентный вес } Mg^{+2} = 12.$$

11. Результаты заносят в таблице 46.

Таблица 46

Результаты определения катионов кальция и магния

Почва	Глубина, см	Аликвота, мл	$Ca^{+2} + Mg^{+2}$		Ca^{+2}			Mg^{+2}	
			a_1	мг-экв/ 100 г	a_2	мг-экв/100г	%	мг-экв/100г	%

4.3.11. Определение калия и натрия

В незасоленных почвах калий и натрий в основном (до 99 %) находятся в кристаллических решетках алюмосиликатов – полевых шпатов, слюд, гидрослюд. Общим для всех незасоленных почв является преобладание валового содержания калия над натрием по всему почвенному профилю.

В засоленных почвах их соотношение изменяется. В почвах аккумулятивных ландшафтов, содержащих легкорастворимые соли, накапливаются преимущественно натриевые, а не калиевые соли, что вызывает натриевое засоление. Присутствие натрия в поглощенном состоянии обуславливает солонцеватость и связанное с ним ухудшение физических свойств.

Количественное определение калия и натрия в настоящее время проводят главным образом методами фотометрии пламени. При отсутствии – по разности, суммы анионов эквивалентов к катионам в растворе.

Лабораторная работа № 34. Определение калия и натрия в водной вытяжке

Приборы и материалы: мерный стакан на 50 мл, пламенный фотометр, мерные колбы на 500 мл.

Реактивы: 1. Стандартные образцы.

Ход определения

1. Готовим образцовые растворы ОСТ 46.52-76.

• Стандартный раствор калия. Навеску 18,638 г KCl х.ч. (высушенного до постоянной массы при температура 105°C), помещают в мерную колбу вместимостью 1 л и растворяют в 400-500 мл дистиллированной воды, перемешивают, доводят до метки дистиллированной водой и тщательно перемешивают. Концентрация K₂O равна 0,25н (125 мг-экв/100 г почвы).

• Стандартный раствор натрия. Навеску 29,225 г NaCl х.ч. (высушенного до постоянной массы при 105°C) растворяют так же, как и калий, полученный раствор имеет концентрацию Na₂O – 0,5н, что соответствует 250 мг-экв/100 г почвы.

• Готовим серию рабочих стандартных растворов. В мерные колбы на 500 мл с помощью бюретки приливают объемы стандартных растворов (таблица 47) и дистиллированную воду до метки. Содержимое колб тщательно перемешивают.

Таблица 47

Концентрация калия и натрия в стандартных растворах

№ раствора	Объем раствора	Содержание в мг-экв/100 г		Показания прибора	
		калия	натрия	по калию	по натрию
1	1	0,5	1		
2	3	1,5	3		
3	5	2,5	5		
4	7	3,5	7		
5	10	5,0	10		
6	15	7,5	15		
7	20	10,0	20		
8	25	12,5	25		
9	30	15,0	30		

2. Настраивают пламенный фотометр на определение одного из элементов, и измеряют интенсивность излучения определяемого элемента по шкале прибора сначала в серии стандартных растворов. Стандартные растворы вводят в распылитель при-

бора в порядке увеличения концентрации, поэтому распылитель при переходе от одного раствора к другому не промывают. Показания записывают в таблицу 47.

3. Берут произвольное количество водной вытяжки в мерный стакан, и определяют количество калия или натрия на приборе. При анализе испытуемых растворов распылитель каждый раз промывают дистиллированной водой. В конце работы проверяют стабильность работы прибора по стандартным растворам. Затем в такой же последовательности проводят определение второго элемента.

4. По результатам измерений стандартных растворов строят калибровочный график, откладывая по оси абсцисс концентрации элементов в растворах (мг-экв/100 г почвы), а по оси ординат – характеристики интенсивности излучения (показания на шкале прибора). По результатам измерений интенсивности излучения и калибровочному графику находят концентрацию определяемого элемента.

5. Выражают содержание катионов калия и натрия в миллиграмм-эквивалентах на 100 г абсолютно сухой почвы и в процентах. Рассчитывают по формулам:

$$K, ^+ \% = (K^+ \text{ мг-экв}/100 \text{ г почвы} \times 39, 1)/1000. \text{ Эквивалентный вес } K^+ = 39, 1.$$

$$Na^+, \% = (Na^+ \text{ мг-экв}/100 \text{ г почвы} \times 23)/1000. \text{ Эквивалентный вес } Na^+ = 23.$$

6. Результаты заносим в таблицу 48.

Таблицу 48

Результаты определения катионов калия и натрия

Почва	Глубина, см	Аликвота, мл	Показания прибора		мг-экв/100 г почвы		Содержание, %	
			K^+	Na^+	K^+	Na^+	K^+	Na^+

4.3.12. Интерпретация данных водной вытяжки из засоленных почв

Интерпретацию данных водной вытяжки проводят только после проверки достоверности данных.

1. Для этого сопоставляется сумма процентного содержания анионов и катионов с величиной сухого остатка. При суммировании процентов берут половину углекислоты бикарбонатов от величины общей щелочности, так как в процессе выпаривания сухого остатка некоторая часть её теряется. Допустимое превышение находится в пределах 3-5 % (Базилевич Н.И., 1968).

Если растворимые в воде соли кристаллизуются с большим количеством гидратной воды, вес остатка будет значительно превышать сумму содержащихся ионов. В этом случае сумму солей сравнивают с величиной прокаленного остатка. Для темноокрашенных вытяжек так же сравнивают с величиной прокаленного остатка из-за значительного количества органических веществ перешедших в вытяжку.

2. Обязательным является сопоставление содержания в водной вытяжке анионов и катионов, но при условии правильного и точного выполнения анализа.

Если величина сухого остатка незначительна (0,05-0,09 %), то сумма катионов и анионов может не совпадать. Это объясняется присутствием в вытяжке других ионов (в кислых: Fe^{+3} , Al^{+3} , Mn^{+2} ; в щелочных: $HSiO_3^-$ и NO_3^-).

3. Результаты исследований водной вытяжки используют для установления степени засоленности почв, химизма засоления по содержанию токсичных солей и оценки их по “суммарному эффекту”.

Оценка степени засоления и солевого режима почв

Оценку общего количества водорастворимых солей аккумулирующихся в пределах одного горизонта или части профиля устанавливают по величине сухого остатка и определяют степень засоления (таблица 49), используя величину сухого остатка и группировку почв по степени засоления (Мамонтов В.Г., 2002; 2006).

Таблица 49

Группировка почв по степени засоления

Степень засоления почвы	Содержание солей, %
незасолённые	менее 0,25
слабозасолённые	0,25 - 0,50
среднезасолённые	0,50 - 1,00
сильнозасолённые	1,00 - 2,00
солончаки	2,00 - 4,00

По величине сухого остатка можно судить и о характере миграции солей в почвенном профиле. По характеру распределения солей в профиле почвы выделяют несколько стадий засоления (рис. 3):

- на первой стадии засоления максимум солей приурочен непосредственно к поверхности почвы, а ниже по профилю содержание солей существенно уменьшается и становится незначительным;
- стадия прогрессивного засоления характеризуется наибольшей величиной сухого остатка в верхней части почвы и значительным количеством солей ($> 1\%$) в пределах всего профиля;
- стадия рассоления характеризуется значительным количеством солей во всем профиле, но величина сухого остатка самая высокая в нижней части профиля.

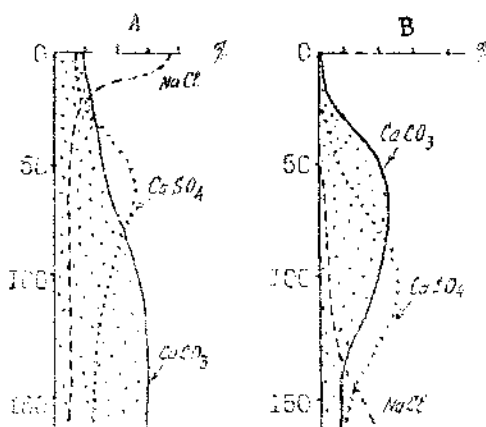


Рис. 3. Схема распределения солей в почве: А – при засолении; В – при рассолении (Бурлакова Л.М., 2011)

Оценка химизма (типа) засоления

По результатам анализа почвенного раствора устанавливают химизм засоления (приложение 9), который определяется составом анионов и катионов в характеризуемом слое.

Наиболее общим по химизму засоления является деление почв на 2 группы – засоленные нейтральными солями (хлоридами и сульфатами) и засоленные щелочными солями (главным образом карбонатами и гидрокарбонатами). Поч-

вы этих двух групп резко различаются по химическим и физическим свойствам, различны и приемы их мелиорации (таблица 50).

Таблица 50

Характеристика почв засоленных нейтральными и щелочными солями
(Теория и практика..., 2006)

Показатели и свойства почв	Почвы, засоленные нейтральными солями	Почвы, засоленные щелочными солями
рН	менее 8,3 (8,5)	более 8,5
химизм засоления	преобладают SO_4^{2-} и Cl^-	преобладают HCO_3^- и CO_3^{2-}
влияние электролитов на почву	коагуляция коллоидов	пептизация, диспергация
токсичное влияние на растение	высокое осмотическое давление	щелочность раствора
основная цель мелиорации	промывка	нейтрализация щелочности

При определении типа засоления почв учитывают в первую очередь анионы. Рассматривают анионы, которые превышают 20 % от суммы мг-экв анионов. При этом преобладающий анион в названии ставится на последнее место. Один ион указывают в том случае, если его содержание, более чем в 2 раза превышает содержание других анионов.

Исключение составляют карбонатные ионы, за содержание которых принимают общую щелочность. В отношении оценки возможного участия соды в составе солей рекомендуется пользоваться следующими положениями.

Если в водной вытяжке при значительном преобладании SO_4^{2-} и Cl^- присутствуют (хотя бы в одном из горизонтов почвы) ионы CO_3^{2-} в количестве менее 20 % от суммы мг-экв анионов, но более 0,03 мг-экв на 100 г почвы, то в названии химизма засоления следует отразить возможное присутствие соды. В таких случаях засоление определяется по соотношению преобладающих ионов с добавлением в названии «с участием соды».

То же необходимо делать в отношении HCO_3^- ионов, если количество их в водной вытяжке превышает 1,4 мг-экв на 100 г почвы, а $HCO_3^- > Ca^{2+} + Mg^{2+}$ (в эквивалентах); при этом необходимо произвести расчет токсичных солей и убедиться в наличии двууглекислой соды в количестве, превышающем порог токсичности (0,8 HCO_3^- , связанной с $Na^+ + Mg^{2+}$). Иногда повышенное содержание HCO_3^- может быть обусловлено присутствием $Mg(HCO_3)_2$. В этих случаях тип засоления определяется как гидрокарбонатный.

При определении химизма засоления почв удобно пользоваться величинами отношений мг-экв анионов, при этом учитывается и состав катионов (таблица 51).

Определение химизма засоления почв по анионному составу должно дополняться сведениями по составу катионов (таблица 52).

При определении химизма засоления почв с учетом катионного состава во внимание принимаются два катиона, которые присутствуют в наибольших количествах.

Если содержание одного, из этих двух, катионов превышает содержание другого, более чем в два раза, то в названии указывается только этот преобладающий катион.

При отнесении почв к содовым типам засоления или к таким типам засоления, как содово-хлоридный или содово-сульфатный, в водных вытяжках среди катионов преобладает Na^+ .

Таблица 51

Химизм (тип) засоления почв по анионному составу
(Базилевич Н.И., 1972)

Химизм (тип) засоления	Соотношение анионов, мг-экв			Соотношение катионов и анионов
	$\frac{\text{Cl}^-}{\text{SO}_4^{2-}}$	$\frac{\text{HCO}_3^-}{\text{Cl}^-}$	$\frac{\text{HCO}_3^-}{\text{SO}_4^{2-}}$	
<i>Хлоридное</i>	$\geq 2,5$	-	-	-
<i>Сульфатно-хлоридное</i>	2,5 – 1,0	-	-	-
<i>Хлоридно-сульфатное:</i> с малым количеством гипса $\text{CaSO}_4 < 1\%$ ($\text{Ca} < 12,5$ мг-экв)	1,0 - 0,2	-	-	-
с повышенным количеством гипса $\text{CaSO}_4 > 1\%$ ($\text{Ca} > 12,5$)	1,0 - 0,2	-	-	-
<i>Сульфатное:</i> с малым количеством гипса $\text{CaSO}_4 < 1\%$ ($\text{Ca} < 12,5$ мг-экв)	$< 0,2$	-	-	-
с повышенным количеством гипса $\text{CaSO}_4 > 1\%$ ($\text{Ca} > 12,5$)	$< 0,2$	-	-	-
<i>Содово - хлоридное</i>	> 1	< 1	> 1	$\text{HCO}_3^- > \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$
<i>Содово - сульфатное</i>	< 1	> 1	< 1	$\text{Na}^{1+} > \text{Mg}^{2+}$
<i>Хлоридно - содовое</i>	> 1	> 1	> 1	$\text{Na}^{1+} > \text{Mg}^{2+}$
<i>Сульфатно - содовое</i>	< 1	> 1	> 1	$\text{Na}^{1+} > \text{Ca}^{2+}$
<i>Сульфатно-гидрокарбонатное или хлоридно-гидрокарбонатное</i>	любое	> 1	> 1	$\text{Na}^{1+} < \text{Ca}^{2+}, \text{Na}^{1+} < \text{Mg}^{2+}, \text{HCO}_3^- > \text{Na}^+$

Таблица 52

Химизм (тип) засоления почв по катионному составу
(Базилевич Н.И., 1972)

Тип засоления	Отношение мг-экв катионов		
	$\text{Na}^+ / \text{Mg}^{2+}$	$\text{Na}^+ / \text{Ca}^{2+}$	$\text{Mg}^{2+} / \text{Ca}^{2+}$
Натриевый	более 1	более 1	-
Магниево - натриевый	более 1	более 1	более 1
Кальциево - натриевый	более 1	более 1	менее 1
Кальциево - магниевый	менее 1	менее 1	более 1
Натриево - магниевый	менее 1	более 1	более 1
Натриево - кальциевый	более 1	менее 1	менее 1
Магниево - кальциевый	менее 1	менее 1	более 1
Магниевый	менее 1	-	более 1

При сульфатно- или хлоридно-гидрокарбонатном засолении среди катионов преобладает Ca^{2+} или Mg^{2+} , но обычно присутствует некоторое количество Na^+ .

Среди почв хлоридного, а иногда и сульфатно-хлоридного типов засоления встречаются почвы, где, кроме NaCl , в составе солей присутствуют MgCl_2 , и CaCl_2 . В водных вытяжках из этих почв отношение $\text{Cl}^- / \text{Na}^+ > 1$. При участии в солевом составе MgCl_2 отношение $(\text{Cl}-\text{Na}) / \text{Mg}^{2+} < 1$, а при участии CaCl_2 отношение $(\text{Cl} - \text{Na}) / \text{Mg} > 1$.

При разделении хлоридно-сульфатного или сульфатного засоления с малым и с повышенным количеством гипса учитывают что, кроме SO_4^{2-} -ионов, содержание в водной вытяжке Са-ионов. При малом количестве гипса кальция обычно меньше 12,5 мг-экв, при высоком (т. е. более 1 % в почве) – не менее 12,5 мг-экв.

В почвах с щелочной средой будет существенно ограничиваться подвижность Ca^{2+} , Fe^{3+} и многих микроэлементов вследствие образования карбонатов. При засолении почв резко проявляется антагонизм ионов. В частности, избыточное накопление в почвенном растворе иона натрия, будет препятствовать поступлению в растения Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ и других катионов.

Рассмотренные типы засоления почв наиболее распространены. Типы засоления имеют определенные географические ареалы. Так, содовое засоление, характерно в основном для лесостепной зоны, в меньшей степени – для степной. Сульфатное засоление чаще встречается в степной и сухостепной зонах. Хлоридно-сульфатное и сульфатно-хлоридное засоление преобладают в полупустыне и пустыне. Хлоридное засоление характерно для приморской части Прикаспийской низменности.

В пределах одного почвенного профиля химизм засоления может варьировать. При малом варьировании химизма засоления отдельных горизонтов почвы (или слоев) тип засоления устанавливается по средним показателям для метрового слоя или почвы в целом.

При значительном варьировании химизма засоления различных горизонтов почвы тип ее засоления определяют по первому сверху засоленному горизонту, и далее указывают тип химизма более глубоких горизонтов. Таким образом, дополнительно характеризуют химизм засоления первого и второго метров почвы. При наличии соды необходимо отмечать в любой части профиля.

Оценка степени засоления по качественному составу солей

При одном и том же количестве солей почвы могут иметь различную степень засоления. Это обусловлено неодинаковой токсичностью для растений разных солей и ионов, поэтому, важное значение имеет качественный состав солей. По данным водной вытяжки возможно рассчитать содержание токсичных солей, принимая во внимание, порог токсичности. Порогом токсичности называется предельное количество солей в почве, выше которого начинается угнетение растений или поселения солелюбивых растений. Приняты следующие пороги токсичности:

- HCO_3^- 0,01 % или 0,03 мг-экв/ 100г почвы;
- Cl^- 0,01 % или 0,3 мг-экв/ 100г почвы;
- SO_4^{2-} – 0,08 % или 1,7 мг-экв/ 100г почвы.

Метод расчета токсичных и нетоксичных солей основан на определенном последовательном связывании ионов в гипотетические соли, начиная с менее растворимых к более растворимым. Сначала связываются карбонаты, потом сульфаты, затем хлориды. Все расчеты проводят в мг-экв.

CO_3^{2-} – ионы. Относятся к токсичным. Сначала они связываются с натрием в соль Na_2CO_3 . Если после этого обнаруживается избыток ионов CO_3^{2-} , то они связываются с магнием в другую токсичную соль MgCO_3 .

HCO_3^- - ионы. Эти ионы могут быть обусловлены присутствием как токсичных NaHCO_3 , $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$, так и нетоксичных солей $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$.

Сначала определяется возможное связывание HCO_3^- 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), количество HCO_3^- , связанное с кальцием также не превышает 0,6 мг-экв на 100 г почвы. Затем 2/3 остатка HCO_3^- связывают с натрием и 1/3 с магнием.

Если содержание ионов HCO_3^- меньше 1,4 мг-экв/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 связываются с магнием в соль $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$, и наконец с натрием в соль NaHCO_3 .

SO_4^{+2} – ионы. Входят в состав токсичных солей Na_2SO_4 , MgSO_4 и нетоксичной соли CaSO_4 . Сульфат-ионы связываются в гипотетические соли в следующей последовательности: CaSO_4 ; Na_2SO_4 ; MgSO_4 .

Cl^- - ионы. Все хлориды относятся к токсичным солям. Связывание хлор-иона в гипотетические соли производится в последовательности: NaCl , MgCl_2 , CaCl_2 , то есть начиная с наименее растворимых солей.

Содержание токсичных солей находят расчетным путем по результатам анализа водных вытяжек из почв. При расчете принимают, что ионы Cl^- , Mg^{2+} , Na^+ переходят из почв в водные вытяжки в результате растворения легкорастворимых, или токсичных солей. Ионы HCO_3^- , SO_4^{-2} , Ca^{2+} поступают в водные вытяжки в результате растворения как токсичных, так и малорастворимых нетоксичных солей (гипс, кальцит).

Расчеты можно вести следующим образом, принимая Ca^{2+} за ион нетоксичный, по уравнениям:

$$\begin{aligned} \text{HCO}_3^-_{\text{токс}} (\text{Ш}_{\text{токс}}) &= \text{Ш}_{\text{общ}} - \text{Ca}^{2+}, \text{ если } \text{Ш}_{\text{общ}} > \text{Ca}^{2+}; \\ \text{SO}_4^{-2}_{\text{токс}} &= \text{SO}_4^{-2} - (\text{Ca}^{2+} - \text{Ш}_{\text{общ}}), \text{ если } \text{Ш}_{\text{общ}} < \text{Ca}^{2+}; \end{aligned}$$

где SO_4^{-2} , Ca^{2+} , $\text{Ш}_{\text{общ}}$ - общее количество миллимолей эквивалентов ионов, которое было определено методом водной вытяжки, ммоль(экв)/100 г почвы;

$\text{Ca}^{2+} - \text{Ш}_{\text{общ}}$ - количество кальция, перешедшего в водную вытяжку вследствие растворения гипса, ммоль(экв)/100 г почвы;

$\text{HCO}_3^-_{\text{токс}}$, $\text{Ш}_{\text{токс}}$, $\text{SO}_4^{-2}_{\text{токс}}$ - количество миллимолей эквивалентов ионов, которое перешло в водную вытяжку в результате растворения токсичных солей, ммоль(экв)/100 г почвы.

Полученные в результате расчетов количества мг-экв (ммоль(экв)/100 г почвы) ионов токсичных солей переводят в проценты путем умножения величины мг-экв на соответствующий коэффициент:

$$\begin{aligned} \text{CO}_3^{-2} &- 0,003; & \text{Ca}^{2+} &- 0,02; \\ \text{HCO}_3^- &- 0,061; & \text{Mg}^{2+} &- 0,0122; \\ \text{SO}_4^{-2} &- 0,048; & \text{Na}^+ &- 0,023. \\ \text{Cl}^- &- 0,0355; \end{aligned}$$

Далее суммируют массовые доли (проценты) всех токсичных ионов ($\text{Ш}_{\text{токс}}$, $\text{HCO}_3^-_{\text{токс}}$, $\text{SO}_4^{-2}_{\text{токс}}$, Cl^- , Mg^{2+} , Na^+ , K^+) и дают общее количество токсичных ионов от веса почвы. Этот показатель называют «суммой токсичных солей» и обозначают символами $S_{\text{токс}}$ или $\sum_{\text{токс}}$.

Полученные результаты оформляются в виде таблицы 53.

Таблица 53

Содержание токсичных и нетоксичных ионов *

Раз-рез	Горизонт	Ионы	Сумма	HCO_3^-	Cl^-	SO_4^{-2}	Ca^{+2}	Mg^{+2}	Na^+	Тип засоления	Степень засоления
		не токсичные									
		токсичные									

* в числителе % от массы почвы, в знаменателе мг-экв/100 г почвы.

Для приблизительной оценки суммы токсичных солей используют эмпирическое уравнение:

$$\Sigma_{\text{токс}} \% = (\text{Mg}^{2+} + \text{Na}^+) / 15, \text{ где}$$

Mg^{2+} , Na^+ - количество миллимоль эквивалентов натрия и магния, которое было определено методом водной вытяжки, мг-экв/100 г почвы.

Данные используют для классификации почв по степени засоления почвы с учетом химизма солей (приложение 10).

Оценка «суммарного эффекта» влияния токсичных ионов

Известен еще один подход к определению степени засоления, основанный на оценке «суммарного эффекта» влияния токсичных ионов. Для этого токсичные ионы принято выражать в эквивалентах хлора. Не учитывается тип засоления почвы, а используются данные только по содержанию токсичных ионов:

$$1\text{Cl}^- = 0,1\text{CO}_3^{-2} = (2,5-3)\text{HCO}_3^- = (5-6)\text{SO}_4^{-2}.$$

Таким образом, 1 мг-экв Cl^- в 10 раз менее токсичен для растения, чем 1 мг-экв CO_3^{-2} и 2,5-3 раза более токсичен HCO_3^- и в 5-6 раз токсичнее, чем SO_4^{-2} . При определении степени засоления почвы по этому методу пользуются данными таблицы 54. При определении почв без участия гипса пользуются низшими показателями «суммарного эффекта», а в отсутствии гипса – высшими.

Таблица 54

Классификация почв по степени засоления с учетом «суммарного эффекта» токсичных ионов (Базелевич Н.И., 1972)

Степень засоления	«Суммарный эффект» токсичных ионов, 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)

Полученные данные по степени засоленности почв, химизма засоления, по содержанию токсичных солей являются диагностическими показателями для определения рода в классификации засоленных почв (приложение 10). Кроме того, на роды подразделяют в зависимости от глубины залегания первого солевого максимума (приложение 11). Как пример, в приложении 12 представлено деление типов и подтипов солонцов на роды и виды по классификации почв 1977 г.

Вопросы

1. Какие необходимо знать показатели, чтобы оценить химическое состояние засоленных почв?
2. В чем сущность методов определения карбонатов в почве?
3. В чем сущность методов определения гипса в почве?
4. Какие соли принято относить к легкорастворимым?
5. Какие методы используют для извлечения легкорастворимых солей из засоленных почв, каковы достоинства и недостатки этих методов?
6. Какую информацию о свойствах засоленных почв получают, проводя анализ почв методом водной вытяжки?
7. Каково значение почвенного раствора в почвообразовании, плодородии почв и питании растений?

8. Что понимают под суммой солей и под суммой токсичных солей?
9. Почему водную вытяжку (1:5) нельзя отождествлять с почвенным раствором?
10. Какие процессы, сопутствующие растворению легкорастворимых солей, протекают при получении водных вытяжек? Как эти процессы влияют на результаты определения легкорастворимых солей в почвах?
11. Назовите показатели, которые используют для характеристики засоления почв.
12. Как оценивают химизм засоления почв?
13. К каким солям относится гипс? К хорошо- (легко), средне- или труднорастворимым? Какова растворимость гипса?
14. Каковы приемы оценки степени засоления почв?
15. Что означает термин «сухой или плотный остаток»? Какие свойства засоленных почв он позволяет оценить?
16. За счет какого минерала могут быть завышены результаты определения легкорастворимых солей, полученные методом водной вытяжки?
17. В каких единицах обычно выражают результаты анализа водных вытяжек?
18. С помощью какого приема проверяется правильность результатов анализа водных вытяжек?
19. Как строятся солевые профили засоленных почв?
20. По каким показателям диагностируют засоленные почвы в классификации почв СССР (1977) и России (2004)?

Задачи

1. Для определения карбонатов навеску сухой почвы массой 2,0 г обработали 20 мл 0,102 М раствора HCl. Какова массовая доля (%) в почве CaCO₃, если на титрование оставшегося после реакции избытка HCl было затрачено 25,0 мл 0,0202 М NaOH?

Ответ: 3,75 % CaCO₃.

2. Найдите содержание гипса (CaSO₄•2H₂O) в ммоль(экв)/100 г почвы и в %, если его извлекали 0,2 М раствором HCl из навески почвы, равной 2,0 г. В полученном растворе осаждали сульфат-ионы хлоридом бария. Осадок прокаливали и взвешивали. Масса прокаленного осадка 0,3115 г. Известно, что содержание SO₄²⁻, полученное методом водной вытяжки (1:5), равно 10,5 ммоль(экв)/100г почвы.

Ответ: 123,2 ммоль(экв)/100 г или 10,6% гипса.

3. Определите массовую долю (%) плотного остатка. Для анализа брали 50,0 мл водной вытяжки, приготовленной при отношении почва:вода, равном 1:5 (50г почвы: 250 мл воды). Масса высушенной пустой чашки была равна 20,0340 г, а масса чашки с сухим остатком после выпаривания и высушивания аликвоты вытяжки - 20,2150 г.

Ответ: 1,81 %.

4. Найдите массовую долю плотного остатка (%), если его масса после выпаривания 50,0 мл водной вытяжки, приготовленной по стандартному методу, составила 0,2510 г.

Ответ: 2,51 %.

5. Оцените степень засоления почвы, если удельная электропроводность фильтрата из насыщенной водой почвенной пасты составляет 13 мСм /см.

Ответ: Почва сильнозасоленная.

6. Определите содержание CO₃²⁻, HCO₃⁻-ионов и общую щелочность (в

ммоль(экв)/100 г почвы и в процентах), если водную вытяжку готовили при соотношении почва:вода равном 1:5. На титрование 25,0 мл вытяжки по индикатору фенолфталеину было затрачено 0,75 мл 0,02н H_2SO_4 , а на последующее титрование этой же аликвоты по метиловому оранжевому - 6,0 мл кислоты той же концентрации.

Ответ: 0,6 ммоль(экв) CO_3^{2-} /100 г почвы или 0,018 %; 2,1 ммоль(экв) HCO_3^- /100г почвы или 0,13 %. Общая щелочность - 2,7 ммоль(экв) / 100 г почвы.

7. Какова общая щелочность почвы (в ммоль(-)/100 г почвы), если на титрование 25,0 мл вытяжки (приготовленной стандартным методом – 50 г почвы:250 мл воды) по индикатору фенолфталеину затратили 1,5 мл 0,02н раствора H_2SO_4 , а на последующее титрование этой же аликвоты по метиловому оранжевому - 5,0 мл той же H_2SO_4 ?

Ответ: Общая щелочность - 2,6 ммоль(-)/100 г почвы.

8. Определите содержание CO_3^{2-} и HCO_3^- -ионов (в ммоль(-)/100 г почвы), если известно, что содержание CO_3^{2-} составляет 0,012 %, а при определении общей щелочности на титрование 50,0 вытяжки с индикатором метиловым оранжевым было затрачено 12,1 мл 0,02н раствора H_2SO_4 . Водную вытяжку готовили по стандартному методу.

Ответ: CO_3^{2-} - 0,40 ммоль(-)/100 г почвы; HCO_3^- - 2,02 ммоль(-)/100 г почвы.

9. Известно, что на титрование 15 мл раствора, полученного разбавлением 10 мл водной вытяжки до 200 мл, затрачено 5 мл 0,02н раствора $AgNO_3$. Рассчитайте, сколько граммов хлорид-ионов содержится в 1 грамме почвы. Водную вытяжку готовили стандартным методом.

Ответ: 0,02 г/1 г почвы.

10. Найдите содержание в почве хлорид-ионов (в ммоль(-)/100 г почвы и в процентах), если на титрование 50 мл раствора, полученного разбавлением 10,0 мл водной вытяжки до 100 мл, затратили 6,0 мл 0,02н раствора $AgNO_3$. Водную вытяжку готовили стандартным методом.

Ответ: 12 ммоль(-)/100 г или 0,43 %.

11. Рассчитайте, достаточно ли 10,0 мл 0,02 М раствора $BaCl_2$ для осаждения сульфат-иона в 50 мл водной вытяжки, полученной стандартным методом, если известно, что содержание сульфат-иона не превышает 1,0 в ммоль(-)/100 г почвы.

Ответ: $4 > 1$, достаточно.

12. Косвенным хроматным методом найдите содержание сульфат-ионов (в ммоль(-)/100 г почвы и в процентах), если известно, что для анализа было взято 5,0 мл водной вытяжки, приготовленной стандартным методом. К аликвоте добавляли раствор-осадитель сульфат-ионов (солянокислый раствор хромата бария) и подщелачивали аммиаком до выпадения лимонно-желтого осадка. Объем жидкости доводили до 50 мл, затем осадок отфильтровывали. Спектрофотометрическим методом было установлено, что содержание SO_4 - в фотометрируемом растворе равно 0,080 ммоль(-)/50 мл.

Ответ: 8,0 ммоль(-)/100 г или 0,38 %

13. Найдите содержание калия (в ммоль(+)/100 г почвы и в процентах), если методом фотометрии пламени определена его концентрация в водной вытяжке (приготовленной при соотношении почва : вода 1:5), равная 20 мкг/мл.

Ответ: 2,6 ммоль(+)/100 г или 0,010 %.

14. Определите содержание натрия водорастворимых солей в почве (в ммоль(экв)/100 г почвы и в процентах), если его концентрация в растворе,

полученном при разбавлении 2,0 мл вытяжки до 100 мл, равна 17 мкг/мл. Вытяжку готовили стандартным методом.

Ответ: 18,7 ммоль(экв)/100 г или 0,43 %.

15. Известно, что концентрация натрия в растворе, полученном разбавлением 10 мл водной вытяжки до 200 мл, составляет 0,01 мг/мл. Рассчитайте, сколько натрия (в миллимолях эквивалентов) содержится в 1 грамме почвы. Вытяжку готовили стандартным методом.

Ответ: 0,04 ммоль(экв)/1г почвы.

16. Известно, что на титрование 10 мл раствора, полученного разбавлением 2,0 мл фильтрата из насыщенной водой почвенной пасты до 50 мл, затрачено 4,0 мл 0,02н раствора AgNO_3 . Какова концентрация (в ммоль(экв)/л) хлорид-ионов в фильтрате из пасты?

Ответ: 200 ммоль(экв)/л.

Задания по теме «Вещественный состав почв»

По табличным данным (приложение 13) провести оценку химического состояния засоленных почв по предлагаемой схеме.

1. Сделайте пересчет данных анализа в мг-экв/100г почвы и в %.
2. Определите степень засоления по сухому остатку.
3. Определите тип и химизм засоления по катионному и анионному составу.
4. Рассчитайте содержание токсичных и нетоксичных солей в % к массе почвы.
5. Определите степень засоления почв по сумме токсичных солей, по «суммарному эффекту» токсичных ионов, определённых расчетным способом и по эмпирической формуле:

$$\text{Сумма токсичных солей, \%} = (\text{Na}^+ + \text{Mg}^{+2}) / 15.$$

6. Оцените солевой режим почв.
7. Постройте солевой профиль почвы и дайте классифицию почвы по глубине залегания солевого максимума.
8. Сделайте общие выводы о засолении почвы.
9. Работа оформляют и сдают преподавателю на проверку.

Рекомендуемая литература

1. Аринушкина, Е.В. Руководство по химическому анализу почв. – М.: Изд-во МГУ, 1970. - 490 с.
2. Базилевич, Н.И. Опыт классификации почв по содержанию токсичных солей и ионов / Н.И. Базилевич, Е.И. Панкова // Бюлл. Почв, ин-та им. В.В. Докучаева ВАСХНИЛ, 1972. – Вып. V. – С. 36-40.
3. Воробьева, Л.А. Теория и методы химического анализа почв. – М.: Изд-во МГУ, 1995. – 134 с.
4. Воробьева, Л.А. Показатели химического состояния засоленных почв / Л.А. Воробьева, Д.С. Орлов // В кн.: Освоение засоленных земель в условиях орошения. – Новочеркасск, 1984. – С. 23-33.
5. Воробьева, В.А. Химический анализ почв: Учебник. – М.: Изд-во МГУ, 1998. - 272 с.
6. Задачник по химическому анализу почв. – М.: Изд-во МГУ. – 77 с.
7. Мамонтов, В.Г. Интерпретация данных водной вытяжки из засоленных почв. Методическое пособие. – М.: МСХА им. А.К. Тимирязева, 2002. – 37 с.

8. Орлов, Д.С. Химия почв / Д.С. Орлов, Л.К. Садовникова, Н.И. Суханова. – М.: Высшая школа, 2005. – 557 с.
9. Панкова, Е.И. Диагностика и критерии оценки засоления почв / Е.И. Панкова, Л.А. Воробьева // В кн.: Засоленные почвы России. – М.: ИКЦ Академкнига, 2006. – С. 6-50.
10. Руководство по лабораторным методам исследования ионно-солевого состава нейтральных и щелочных минеральных почв. – М.: ВАСХНИЛ, 1990. – 236 с.
11. Соколов, Н.И. К методике анализа водных вытяжек // Тр. Почв. ин-та им. В.В. Докучаева. – Т. X. – Вып. 5. – 1934. – 36 с.
12. Теория и практика химического анализа почв // Под ред. Л.А. Воробьевой. – М.: ГЕОС, 2006. – 400с.

СЛОВАРЬ ТЕРМИНОВ

Абсолютно сухая проба почвы – это проба почвы, высушенная до постоянной массы при температуре 105 °С.

Абсорбция – физико-химический процесс поглощения вещества из газа или жидкости твёрдыми или жидкими поглотителями (поглощение осуществляется всем объёмом поглощения, а не только его поверхностным слоем).

Аддитивность – суммарное выражение действия отдельных компонентов (направленное действие смеси солевых растворов в почве, равняющееся сумме действия отдельных компонентов).

Адсорбция – поглощение газов, паров или жидкостей поверхностным слоем твёрдого тела (адсорбента) или жидкости.

Азот гидролизуемый – соединения азота, переходящие в раствор при обработке почвы или гуминовых веществ 25 % серной кислотой при нагревании в автоклаве. Источником являются белки или их дериваты, прочно сорбированные аминокислоты, органические азотсодержащие основания.

Азот гуминовый – входит в состав негидролизуемых остатков гумусовых кислот и негумифицированных органических и минеральных соединений. Составляет 4-50 % гуминовых кислот.

Азот легкогидролизуемый – находится в почве в минеральной форме, а также в легко разлагаемой части органических веществ, которые в ближайшее время могут быть минерализованы.

Азот минеральный – входит в состав минеральных соединений почвы: нитратов, нитритов, аммония. Его состав от общего азота 1-3 %.

Азот общий – суммарное содержание в почве органического и минерального азота.

Азот органический – азот, входящий в состав органических соединений почвы, гумуса и негумифицированных органических соединений, составляет 93-99 % от общего азота.

Актуальная кислотность – эта активная кислотность почвенного раствора, обусловленная содержанием ионов водорода.

Актуальная щёлочность – это содержание в почвенном растворе или водной вытяжке гидролитически щелочных солей, преимущественно карбонатов и гидрокарбонатов.

Аликвота – точно измеренная кратная часть образца, взятая для анализа, которая сохраняет свойства основного образца.

Анализ – это метод научного исследования, состоящий из мысленного или фактического разложения целого на составные части.

Анализ гравиметрический – основан на выделении определяемого компонента из раствора в виде малорастворимого соединения и определении массы осадка и продукта его дальнейшей обработки.

Анализ групповой – метод аналитической характеристики почвы, состоящий в расчленении ее не на индивидуальные компоненты, а на отдельные аналитические группы по определенной совокупности их признаков. Например, анализ фракционного состава почв, группового состава гумуса и др.

Анализ колориметрический – высокопроизводительный метод определения химических элементов по интенсивности рассеяния света определенной длины волны окрашенных растворов.

Анализ почвы – совокупность методов, приемов и способов исследования состава и свойств почвы.

Анализ титриметрический – основан на определении объема реагента-титранта (точно известной концентрации), расходуемого на взаимодействие с определенным веществом. Окончание реакции четко фиксируется визуально по изменению окраски, либо инструментально (по оптической плотности, рН, электропроводности и др.).

Анион – это отрицательно заряженный ион постоянно содержащийся в растворе многих солей, кислот и оснований.

Баланс – система показателей, характеризует соотношение или равновесие в каком-либо постоянном или изменяющемся явлении.

Баланс вещества почвы – соотношение приходной и расходной статей изменения любого компонента почвы за единицу времени. Определяют за сутки, сезон, год, многолетний период. Может быть положительный, отрицательный, равновесный (нулевой, неизменный).

Баланс солевой – это учет прихода и расхода солей в почвенном профиле за учитываемый период. Передвижение солей осуществляется преимущественно в форме растворов. Засоление профиля конкретной почвы можно объяснить солевым балансом в прошлом и настоящем. Чем выше минерализация и испарение воды и чем меньше её расход на вертикальную и горизонтальную фильтрацию, тем более неблагоприятный водно-солевой баланс. Если вынос преобладает над приходом, происходит рассоление почв.

Барьер – участок зоны почвы, место в почвенном профиле, где изменение условий миграции приводит к уменьшению подвижности тех или иных веществ или химических элементов и их накоплению на этих участках.

Биогенная аккумуляция элементов – обогащение верхней части почвы биогенными элементами вследствие переноса их растениями из почвенной толщи. обусловлена избирательной способностью растений.

Биогенные элементы – химические элементы, постоянно входящие в состав организмов и выполняющие определенные биологические функции. Важнейшие биогенные элементы – кислород, углерод, водород, азот, бор, сера, кальций, калий, натрий, хлор. Биогенные элементы, необходимые организмам в ничтожных количествах, называются микроэлементами.

Валентность – это способность атома химического элемента образовывать определённое число химических связей с другими атомами.

Валовым анализом называют совокупность аналитических приёмов и методов анализа, позволяющих определить валовое (общее) содержание химических элементов в почве.

Валовым или элементным составом почвы называют общее содержание в почве каждого из химических элементов.

Валовым содержанием химического элемента называют суммарное содержание в почве химического элемента, входящего в состав всех имеющихся в почве его химических соединений.

Весовой анализ – то же, что и гравиметрический анализ.

Вещества – вид материи, который обладает массой покоя (элементарные частицы, атомы, молекулы и др.). В химии вещества подразделяют на простые, образованные атомами одного химического элемента, и сложные (химические соединения).

Вещества гумусовые – это сложный динамический комплекс органических соединений, образующийся при разложении и гумификации органических остатков в почве. Основная масса (85-90 %) представлена специфической частью - собственно гумусовыми веществами.

Вещества зольные – вещества, составляющие золу, после сжигания растительных остатков. Основную массу золы составляют кальций, магний, калий, натрий, кремний, фосфор, сера, железо, алюминий, марганец, хлор.

Вещество органическое – органическая часть почвы, представленная живыми организмами (биофаза), неразложившимися органическими остатками и гумусовыми веществами.

Взвеси (суспензии) – системы, в которых частицы оседают или всплывают очень медленно из-за малой разницы в плотностях дисперсной фазы и дисперсной среды.

Восстановление – химическая реакция, противоположная окислению. Сущность восстановления состоит в присоединении электронов восстанавливаемым веществом. При этом происходит понижение валентности элемента. Вещество, в состав которого входит элемент, присоединяющий электроны, и при этом восстанавливается, называется окислителем. Вещество, содержащее в своем составе элемент, отдающий электроны и который при этом окисляющийся, называется восстановителем.

Выделение солей – скопления солей различной формы и химического состава, образующиеся и откладывающиеся в горизонтах почв в результате процессов почвообразования и носят название химических новообразований. В профиле почв эти соединения представлены в форме выцветов и налётов, корочек, примазок, потёков, прожилок, трубочек, конкреций.

Вынос солей – перемещение солей вместе с поливными или промывными водами, а также с водами атмосферных осадков из верхних горизонтов в нижележащие горизонты и грунтовые воды.

Выпаривание – осуществляется для концентрирования растворов, выделения растворенного вещества. Уменьшение объема (упаривание) или полное удаление растворителя (выпаривание досуха или до состояния «влажных солей»). Выпариванию подвергаются водные растворы нелетучих или малолетучих веществ.

Вытяжка водная – это фильтрат водного раствора, полученный при взбалтывании почвы с дистиллированной водой при соотношении 1:5.

Вытяжка кислотная – фильтрат от обработки почвы какой-либо кислотой, взятой в определенной концентрации и в определенном соотношении с почвой в течение заданного времени. Кислотные вытяжки разнообразны и широко используются при исследовании почв для количественного определения ряда химических соединений или условий их формирования, различной растворимости в применяемом реактиве.

Вытяжка оксалатная – фильтрат, полученный после обработки почвы раствором щавелевой кислоты в смеси со щавелево-кислым аммонием в отношении 1:2 при pH – 3,2. Вытяжка оксалатная используется для извлечения из почвы «подвижных» железа и алюминия.

Вытяжка пирофосфатная – используется для извлечения гумусовых веществ из почвы без предварительного декальцирования.

Вытяжка почвенная – фильтрат какого-либо растворителя фильтрат какого-либо растворителя, заданной концентрации и заданного состава, действовавшего на почву определенное время и при определенном отношении почва:раствор с целью извлечения из нее растворимых в данном растворителе вещества. В качестве

растворителей используется вода, растворы кислот, щелочей или солей, неводные растворители.

Генезис – происхождение, возникновение, момент зарождения и развития, приведший к определённому состоянию, виду и явлению.

Гигроскопическая влага – содержание влаги в воздушно-сухой почве, выраженное в процентах от абсолютно сухого веса почвы.

Гипертонические растворы – растворы, осмотическое давление которых выше осмотического давления в клетках организма.

Гипотонические растворы – растворы, осмотическое давление которых ниже осмотического давления в клетках организмов.

Грамм-эквивалент – количество вещества в граммах, численно равное его молекулярной массе.

Гранулометрический состав – относительное содержание в почве частиц разной величины.

Гумус валовой – общее содержание органического вещества в почвах. определяется методами мокрого или сухого сжигания после отбора неразложившихся растительных остатков.

Гумус грубый – гумус, состоящий из отмерших, частично разложившихся растительных и животных остатков.

Гумусовые вещества – это сложный динамический комплекс органических соединений, образованных при разложении и гумификации органических остатков почв. Основная часть гумуса 85-90% представлена гумусовыми веществами – высокомолекулярными азотсодержащими органическими соединениями циклического строения, имеющих кислотный характер.

Запас солей – запас солей в почвенном слое определённой мощности.

Засоление почв – накопление в почве легкорастворимых солей. Содержание более 1 % по весу токсичных солей или более 0,25 % в плотном остатке. Бывает засоление: а) поверхностное – значительное количество солей в верхнем горизонте, а глубже незначительно; б) пятнистое – в форме небольших пятен; в) сплошное – возникает при близком залегании минерализованных грунтовых вод; г) эоловое – накопление связано с привнесениями ветров из мест развевания солончаков; д) содовое – связано с преобладанием в почве карбонатов и бикарбонатов натрия; е) содово-сульфатное – преобладание в почве сульфатов при участии карбонатов и бикарбонатов; ж) сульфатное – преобладают резко сульфаты над остальными солями; з) сульфатно-хлоридное – преобладают в почве хлориды и сульфаты над остальными солями; к) хлоридное – преобладают хлориды натрия, магния и кальция над другими солями; л) хлоридно-сульфатное – преобладают в почве сульфаты и хлориды над остальными солями.

Засоление почвы глубинное – засоление подстилающего почву горизонта. обусловлено глубоко залегающими минерализованными водами или соленосными породами.

Засоление почвы поверхностное – накопление значительного количества солей в верхнем горизонте почвы при незначительном их содержании в глубоких слоях и грунтовых водах.

Засоленность почвы остаточная – наличие в почве солей, оставшихся от гидроморфной стадии развития почв.

Засоленные почвы – почвы, содержащие $>0,1$ % по весу токсичных для растений солей или $>0,25$ % солей в плотном остатке (для безгипсовых почв). К засоленным почвам относятся солончаки, солончаковатые почвы и солонцы.

Зола – несгораемый минеральный остаток после окисления органического материала.

Зольность – масса твердого неорганического остатка (зола), образованной после полного сгорания образца в определённых условиях (% от массы образца).

Зольность торфа – содержание золы в воздушно- или абсолютно-сухом торфе.

Индикатор – это вещества, вводимые в небольшом количестве в анализируемый раствор, указывают на концентрацию и на её изменение.

Кислотность почв – свойство почвы, придающее кислую реакцию, обусловленную наличием в почвенном растворе ионов водорода и алюминия в ППК. Существует: обменная, актуальная, гидролитическая.

Классификация почв по степени засоления – подразделение почв по общему количеству веществ, переходящих в водную вытяжку. Определяется по сухому остатку.

Классификация почв по типу засоления – группировка почв по соотношению преобладающих в водной вытяжке анионов и катионов.

Кора выветривания – верхние слои литосферы, преобразованные *in situ* под воздействием физического, химического и биологического выветривания.

Корка солевая – скопление в виде сплошного слоя большого количества солей на поверхности почвы без примеси землистых частиц.

Масс-спектрометрия – метод исследования вещества путем определения спектра масс частиц, содержащихся в веществе, и их относительные содержания.

Международная система единиц – система единиц физических величин, принятая 11-й Генеральной конференцией по мерам и весам (1960). Сокращенное обозначение SI (в русской транскрипции СИ).

Метод инфракрасной спектроскопии – основан на изучении поглощения света веществом в длинноволновой области спектра (>760 нм). По инфракрасным спектрам поглощения можно судить о строении и составе вещества, природе связей между органическими и минеральными компонентами почв.

Методы фотометрические – методы количественного анализа, основанные на определении вещества или элемента путем окрашивания соединений и измерении оптической плотности раствора тем или иным способом: визуальным (колориметрия), при помощи фотоэлектроколориметров или спектрофотометров.

Методы химические – методы, в основу которых положены явления взаимодействия анализируемых веществ, соединений, ионов с тем или иным реагентом. Методы химические подразделяются на весовые и титриметрические (объемные), их часто называют «классическими методами».

Миллиграмм-эквивалент – тысячная доля отношения атомной массы к валентности. Используется для характеристики содержания обменных оснований и емкости катионного обмена (ЕКО) или емкости поглощения (Е). выражается в мг-экв/100 г почвы (в системе СИ – в моль(+)/100 г). Например, 1 мг-экв Са равен $40/2 \times 1000$, или 0,02 г; это означает, что, если глинистый минерал имеет Е, равную 100 мг-экв/100 г, он способен фиксировать 2 г Са.

Минеральная часть почвы – основная часть почвенной массы, представленная минеральными соединениями. Составляет 90-99 % веса почв (в органогенных почвах до 10 %). Представлена силикатными и алюмосиликатными минералами,

аморфными и кристаллическими гидроокисями алюминия, железа, кремния, различными минеральными солями.

Мольная доля – это число молей данного элемента (компонента), отнесенное к общему числу молей всех элементов (компонентов), составляющих почву. Мольная доля может изменяться от нуля до единицы.

Мольный процент – то же, что и мольная доля, но выраженная в процентах; изменяется от нуля до 100 %.

Нейтрализация – химическая реакция между стехиометрическими количествами кислоты и основания, приводящая к образованию соли.

Новообразование в почве – морфологически оформленные минералы и скопления разложившегося вещества, отличные от основной массы почвенного горизонта по химическому составу и сложению, возникшую в результате почвообразования.

Номенклатура – перечень названий, система терминов, категорий.

Нормальность раствора – концентрация раствора, выраженная числом грамм-эквивалентов растворённого вещества, содержащегося в 1 л раствора.

Обменные катионы – катионы ППК, которые могут быть замещены в эквивалентных отношениях взаимодействующего с почвенным раствором.

Образец почвенный – некоторое количество почвы, взятое из того или иного ее горизонта.

Объединенная проба почвы (смешанная) – проба почв, состоит из заданного количества единичных проб почвы.

Озоление мокрое – окисление органических веществ кипящими концентрированными кислотами: серной, смесью серной и азотной, смесью серной кислоты и перекиси водорода.

Озоление сухое – окисление органических веществ при свободном доступе воздуха и медленном повышении температуры. Полученная зола содержит углесоли и частицы угля (сырая зола).

Определение гумуса – метод основан на окислении гумуса почвы раствором двуххромовокислого калия в серной кислоте с последующим определением трёхвалентного хрома, эквивалентного содержанию гумуса.

Органические остатки – это органические вещества, ткани растений и животных, частично сохраняющие исходную форму и строение.

Органическое вещество – это органическая часть почвы, представленная живыми организмами, неразложившимися органическими остатками и гумусовыми веществами.

Осаждение – это образование твердого осадка в растворе в ходе химической реакции, например, добавлением соответствующих реагентов. Сам метод заключается в выделении из раствора химических компонентов в виде малорастворимого соединения.

Отношение C:N – отношение весового содержания органического углерода к общему содержанию в почве азота. Обогащение азотом: очень высокое – до 5; высокое – 5-8; среднее – 8-11; низкое – 11-14; очень низкое > 14.

Отношение Сгк:Сфк – показатель гумусового состояния – относительного количества углерода, входящего в состав гуминовых кислот, к количеству углерода, входящего в состав фульвокислот.

Перегонка – это разложение веществ (жидких или твердых) на составные части с помощью кипячения, нагревания. Перегонка основана на неодинаковой летучести

составляющих смесь веществ. При перегонке жидкостей, образующиеся пары, отводятся в холодильник, где они снова сгущаются в жидкость.

Плодородие – способность почвы удовлетворять потребность растений в элементах питания, влаге, воздухе, а также обеспечивать условия для их нормальной жизнедеятельности.

Плотность почвы – отношение массы сухой почвы, взятой без нарушения природного сложения к её объёму. Зависит от минерального и гранулометрического состава, структуры и содержания органического вещества.

Плотность твердой фазы почвы – масса твердой фазы абсолютно сухой почвы в единице объёма.

Плотный остаток – (сухой остаток) – суммарное содержание минеральных и органических веществ в воде или в водной вытяжке из почвы. Плотный остаток для воды выражается в г/л, а для вытяжек - в процентах на сухую почву.

Показатель рН (реакция раствора) – отрицательный десятичный логарифм активности ионов H^+ в растворе. Значения рН меняются от 0 до 14; ниже 7 раствор считают кислым; приблизительно равным 7 – нейтральным; а выше 7 – щелочным.

Потеря при прокаливании (ППП) – убывание массы почвы при ее прокаливании при температуре до 900 °С и свободном доступе воздуха. При этом почва теряет воду, гумус, CO_2 карбонатов, адсорбированные газы и хлориды. Величину ППП используют для пересчета содержания элементов минеральной части почвы на прокаленную навеску.

Предел токсичности солей – это содержание в почве солей, при превышении которого, начинается резкое угнетение культурных растений и их гибель. Зависит от вида, сорта растений, влажности, климатических условий, состава солей.

Проба почвенная – часть почвы, типичная для генетических слоёв или горизонтов данного типа почв.

Прогноз засоления – оценка содержания состава и перемещения легкорастворимых солей при изменении условий использования почв или мелиорации

Прокаливание – это нагревание вещества при высокой температуре (от 300 до 1200°С), в отличие от высушивания, проводимого при температуре 100- 250°С. Если прокаливанию подвергается органический материал, то этот процесс обычно называют *озолением* (сухим озолением).

Профиль гумусовый – кривые, изображающие изменение содержания гумуса в почве с глубиной.

Профиль солевой – кривые, изображающие изменение содержания суммы солей и отдельных их ионов с глубиной. **раствор буферный** – раствор, поддерживающий определенное значение рН, окислительно-восстановительного потенциала и другие характеристики среды.

Раствор почвенный – жидкая фаза почвы, включающая почву, воду, содержащиеся растворимые соли, органо-минеральные и органические соединения, газы и тончайшие коллоидные золи. Включает все формы капиллярной, рыхлосвязной и относительно прочносвязной воды почвы.

Режим солевой – это режим почвы, обусловленный устойчивыми периодическими нисходящим или восходящим перемещением солей, которые приводят к временным изменениям их количественного и качественного состава в разных горизонтах почв.

Содержание гумуса – показатель гумусного состояния почвы, характеризует содержание органического вещества в почве.

Солевой режим почв – периодическое передвижение простых солей в профиле почвы.

Соли легкорастворимые – соли, растворимые в воде (растворимость > 2 г/дм³). Чаще встречаются хлориды, сульфаты, карбонаты кальция, магния и натрия, реже их нитраты.

Соли труднорастворимые – соли, растворимость которых в воде 2 г/дм³ и ниже. Аккумулируются в твердой фазе почв и имеют слабую подвижность (CaCO₃, MgCO₃, CaSO₄).

Состав валовой химический (полный) – содержание в почве элементов и их окислов (Si, Al, Fe, Ti, Mn, Ca, Mg, K, Na, P, S и др.). Включает потери при прокаливании, содержание гигроскопической воды, карбонатов, гумуса, гипса, воднорастворимых солей, что позволяет рассчитать содержание элементов на прокалённую, безгумусную, безкарбонатную, безгипсовую, беззасоленную почву.

Состав валовой химический (сокращенный) – содержание в почве элементов и их окислов (Si, Al, Fe, иногда Ca, Mg, P), потери при прокаливании, содержание карбонатов, гумуса, гипса и водорастворимых солей, выраженные в весовых %.

Состав гуминовых веществ фракционный – содержание различных по элементному составу, молекулярным весам и др. показателям фракций специфических органических веществ, входящих в группу гуминовых и фульвокислот.

Состав гумуса групповой – соотношение в гумусе важнейших групп органических соединений специфической природы, выраженное в % к весу почвы или к содержанию общего углерода почвы.

Спекание – процесс получения твёрдых и пористых материалов из мелких порошкообразных или пылевидных материалов при повышенных температурах.

Сплав – макроскопически однородный материал, состоящий из смеси двух или большего числа химических элементов с преобладанием металлических компонентов, необходимый для сплавления почвы.

Суспензия (взвесь) – высокодисперсная система, в которой дисперсной фазой является тонко размельчённое твёрдое тело ($< 0,0001$ мм), а дисперсной средой – жидкость.

Титрование – установление объема раствора известной концентрации (титранта), количество реагента в котором эквивалентно количеству определяемого компонента в аликвоте анализируемого (титруемого) раствора.

Токсичность солей – свойство различных легкорастворимых солей вызывать угнетение развития и отравление растительных организмов, вследствие повышенного осмотического давления в почвенном растворе; нарушение поступления воды и питательных элементов, а также нарушение физиологических функций растения.

Торф – органогенная порода, образующийся в процессе естественного отмирания и неполного распада болотных растений в условиях избыточного увлажнения и затрудненного доступа воздуха.

Фиксаналы – вещества, в строго определенном количестве (обычно 0,1 моля), содержащиеся в стеклянных ампулах. Предназначены для приготовления растворов точно известной концентрации, используемых в титриметрических анализах.

Фильтрование – разделение суспензий или аэрозолей при помощи фильтров – пористых перегородок, пропускающих жидкость или газ, но задерживающих твердые частицы.

Фракция – часть от целого, отличающаяся по количественному условно выбранному признаку.

Химический анализ почв – включает качественный и количественный анализ.

Химический эквивалент – численно равен массе вещества (в атомных единицах массы), реагирующей с 1 ионом H^+ или OH^- в реакциях нейтрализации, с 1 электроном – в окислительно-восстановительных реакциях, с $1/n$ частью металла с валентностью n в комплексонометрии и т.д. Например, в реакции $H_2SO_4 + 2NaOH = Na_2SO_4 + 2H_2O$ на 1 ион H^+ кислоты приходится одна молекула $NaOH$ (молекулярная масса 40), на 1 ион OH^- – $1/2$ молекулы H_2SO_4 (молекулярная масса 98); поэтому химический эквивалент $NaOH$ равен 40, а H_2SO_4 – 49, т.е. $98/2$.

Щёлочность гидрокарбонатная – содержание в водной вытяжке гидрокарбонатного иона HCO_3^- .

Щёлочность карбонатная – содержание в водной вытяжке карбонатного иона CO_3^{2-} .

Щёлочность общая – щёлочность от нормальных карбонатов и гидрокарбонатов; суммарное содержание в водной вытяжке ионов CO_3^{2-} , HCO_3^- .

Щёлочность потенциальная – содержание в ППК обменно-поглощённого катиона натрия, который переходя в раствор, подщелачивает его. Отдельно не оценивают и выражают по значению актуальной щёлочности.

Эквивалентная форма выражения результатов анализа – представление данных в мг-экв на 100 г почвы, позволяет установить количественное соотношение между положительными и отрицательнозаряженными ионами и выявить их взаимное насыщение.

Эквивалентный вес – частное от деления атомного веса рассматриваемого элемента вещества на его валентность.

Эквивалентов закон – один из законов химии, устанавливающий, что отношения масс веществ, вступающих в химическое взаимодействие, равны или кратны их химическим эквивалентам.

Эксперимент – метод познания, при помощи которого в контролируемых и управляемых условиях исследуются явления природы и общества.

Экспресс-методы – быстрые полевые методы анализа почв, растений, позволяющие получить экспресс-информацию о химическом составе анализируемых объектов.

Экстрагирование – (от латинского *extraho* – вытягиваю, извлекаю) – способ извлечения одного или нескольких компонентов из твердых тел обычно с помощью органических растворителей (экстрагентов). Применяется для выделения органических соединений.

Элемент химический – совокупность атомов с одинаковым зарядом ядра.

Элементный анализ – совокупность методов качественного и количественного определения химических элементов в анализируемом веществе.

Элементный состав почв (выловой состав) – набор и количественное соотношение химических элементов в почвенной массе. Это первая и необходимая химическая характеристика почв, на которой базируется понимание их свойств, генезиса и плодородия.

Элементы атмофильные – химические элементы, входящие в состав земной коры: H, N, C, O, Ne, Ar, Kr, Xe, Cl, Br, I.

Элементы базипетального градиента – химические элементы, являющиеся основным строительным материалом клеток растений (элементы 1, 5, 6 групп периодической системы) с четко выраженными основными или кислотными

свойствами. Повышение их содержания в почвогрунтах улучшает условия роста растений. Относятся: Na, K, Mg, P, Mo и др.

Элементы биофильные – химические элементы, поглощаемые из геохимической среды (почвы, воды) организмами и используемые в процессах жизнедеятельности. К ним относятся макроэлементы – N, C, O, H, Ca, Mg, Na, K, P, S, Cl, Si, Fe и микроэлементы – Cu, Co, Mn, Zn, V, Ni, Mo, Sr, B, Se, F, Dr, I. По степени биофильности подразделяются на: максимальную (C), высокою (N, H), среднюю (O, Cl, P, S, B, Br ...), низкую (Fe, Al).

Элементы ведущие – элементы, ионы и соединения, определяющие условия миграции в данной системе. Относятся элементы с высокими кларками, активно мигрирующие и накапливающиеся, что определяет геохимические особенности системы и составляет сущность принципа подвижных элементов.

Элементы высокой потребности – термин используется для элементов Ca, P, Mg, N и др. с учетом их отчуждения и содержания в почве.

Элементы дефицитные – химические элементы, добавление которых в ландшафт увеличивает ежегодную продукцию живого вещества. Ликвидация дефицита элементов включает: внесение удобрений, подкормка, орошение. В число дефицитных элементов могут входить и макро-, и микроэлементы.

Элементы зольные – макро- и микроэлементы, обнаруженные в золе растений, опада, подстилки, живых организмов и др. компонентов экосистемы после прокаливании при 450°C. В состав золы не входят C, H, O, N, так как улетучиваются при сухом озолении.

Элементы избыточные – химические элементы, удаление которых из ландшафта увеличивает продуктивность экосистемы. Это: Cl, S, Na, Cu, Ni, Fe, F и др. Для многих экосистем набор таких элементов не установлен.

Элементы литофильные – химические элементы, отличающиеся сродством к кислороду, и в условиях биосферы образуют минералы типа оксидов, гидроксидов, солей кислородных кислот. Это Si, Ti, S, P, F, Cl, Al, Se, Na, K, Ca, Mg и др. (всего 54 элемента).

Элементы почвы механические – продукты выветривания горных пород, отдельные минералы (первичные и вторичные), гумусовые вещества, продукты взаимодействия органических и минеральных веществ, частицы почвы различных размеров. Выделяют следующие группы: минеральные, органические, органоминеральные.

Элементы халькофильные – химические элементы, склонные давать соединения с серой. Это Cu, Zn, Pb, Cd, Ag, Mn, Fe и др.

Элювиально-иллювиальное распределение – тип распределения веществ (гумус, илестые частицы, карбонаты, гипс, воднорастворимые соли, оксиды, кремнеземы, глинистые минералы и конкреции) в почвенном профиле. Элювиальное распределение характеризует профили, где преобладают процессы разрушения и выноса веществ с поверхности вниз и последующее их осаждение в пределах почвенного профиля. При этом образуется элювиальный и иллювиальный горизонты. Характерный пример – профиль подзолистых почв.

ЛИТЕРАТУРА

1. Антонова, З.П. Определение содержания в почвах гумуса / З.П. Антонова, В.Д. Скалабан, Л.Г. Сучилкина. // Почвоведение. – 1984. - № 11. – С. 130-133.

2. Аринушкина, Е.В. Руководство по химическому анализу почв. – М.: Изд-во МГУ, 1961. – 291с.
3. Аринушкина, Е.В. Точность методов валового анализа минеральной части почв / Е.В. Аринушкина, Е.П. Миненкова, Е.А. Дмитриев. // Почвоведение. – 1968. - № 10. – С. 64-71.
4. Аринушкина, Е.В. Руководство по химическому анализу почв. - М.: Изд-во МГУ 1970.- 490 с.
5. Базилевич, Н.И. Методические указания по учету засоленных почв / Н.И. Базилевич, Е.И. Панкова. – М.: Гипроводхоз, 1968. – 91 с.
6. Базилевич, Н.И. Опыт классификации почв по содержанию токсичных солей и ионов / Н.И. Базилевич, Е.И. Панкова // Бюлл. Почв, ин-та им. В.В. Докучаева ВАСХНИЛ. – Вып. V. – 1972. – С. 36-40.
7. Бурлакова, Л.М. Почвообразование и эволюция почв: учебное пособие. – Барнаул: Изд-во АГАУ, 2011. – 143 с.
8. Вальков, В.Ф. Справочник по оценке почв / В.Ф. Вальков, Н.В. Елисеева, И.И. Имгрунт, К.Ш. Казеев, С.И. Колесников. – Майкоп: ГУРИПП «Адыгея», 2004. – 236 с.
9. Воробьева, Л.А. Теория и методы химического анализа почв. – М.: Изд-во МГУ, 1995. – 134 с.
10. Воробьева, Л.А. Показатели химического состояния засоленных почв. / Л.А. Воробьева, Д.С. Орлов // В кн.: Освоение засоленных земель в условиях орошения. – Новочеркасск, 1984. – С. 23-33.
11. Воробьева, В.А. Химический анализ почв: Учебник. – М.: Изд-во МГУ, 1998. – 272 с.
12. Гедройц, К.К. К вопросу об изменяемости концентрации почвенного раствора и содержания в почве легкорастворимых соединений в зависимости от внешних условий // Ж. опыта, агрономии. – 1906. – Т. VII. – С. 521-563.
12. Гришина, Л.А. Система показателей гумусного состояния почв. / Л.А. Гришина, Д.С. Орлов // В кн.: Проблемы почвоведения. – М.: Наука, 1978. – С. 42-47.
13. Гришина, Л.А. Гумусообразование и гумусное состояние почв. – М.: МГУ, 1986. – 244 с.
14. Задачник по химическому анализу почв. – М.: Изд-во МГУ. – 77 с.
15. Классификация и диагностика почв СССР. – М.: Колос, 1977. – 224 с.
16. Ковда, В.А. Основы учения о почвах // Книга 1,2. – М., 1973. – 447 с.
17. Лабораторно-практические занятия по почвоведению: учебное пособие / М.В. Новицкий, И.Н. Донских, Д.В. Чернов [и др.] – СПб.: Проспект Науки, 2009. – 320 с.
18. Мамонтов, В.Г. Интерпретация данных водной вытяжки из засоленных почв. Методическое пособие. – М.: МСХА им. А.К. Тимирязева, 2002. – 37 с.
19. Мамонтов, В.Г. Общее почвоведение / В.Г. Мамонтов, Н.П. Панов, И.С. Кауричев, Н.Н. Игнатьев. – М.: КолосС, 2006. – 456 с.
20. Мякина, Н.Б., Методическое пособие для чтения результатов химических анализов почв. / Н.Б. Мякина, Е.В. Аринушкина. – М.: Изд-во МГУ, 1979. – 62 с.
21. Никитин, Б.А. Методы определения содержания гумуса в почве // Агрохимия. – 1972. - № 3. – С. 123-125.
22. Орлов, Д.С. Гумусовые кислоты почв и общая теория гумификации. – М.: Изд-во МГУ, 1990. – с.

23. Орлов, Д.С. Дополнительные показатели гумусного состояния почв и их генетических горизонтов / Д.С. Орлов, О.Н. Бирюкова, М.С. Розанова // Почвоведение. – 2004. – № 8. – С. 918-926.
24. Орлов, Д.С. Еще о спектрофотометрическом определении содержания гумуса в почве / Д.С. Орлов, Н.М. Гриндель // Почвоведение. – 1967. – № 8. С. – 67-72.
25. Орлов, Д.С. Система показателей химического состояния почв / Д.С. Орлов, Л.А. Воробьева // Почвоведение. - 1982. - №4. - С. 5 - 22.
26. Орлов, Д.С. Химия почв / Д.С. Орлов, Л.К. Садовникова, Н.И. Суханова. - М.: Высшая школа, 2005. - 557 с.
27. Орлов, Д. С. Химия почв. – М., Изд-во МГУ, 1992. – 399 с.
28. Панкова, Е.И. Диагностика и критерии оценки засоления почв. / Е.И. Панкова, Л.А. Воробьева // В кн.: Засоленные почвы России. М.: ИКЦ Академкнига, 2006. – С. 6-50.
29. Польшов, Б.Б. Валовой почвенный анализ и его толкование // В кн.: Избранные труды. – М.: Изд-во АН СССР, 1956. – С. 386-394.
30. Пономарева, В.В. Некоторые данные о степени внутримолекулярной окисленности гумуса разных типов почв (к вопросу о переводном коэффициенте с углерода на гумус) / В.В. Пономарева, Т.А. Плотникова // Почвоведение. – 1967. – № 7. – С. 85-95.
31. Пономарева, В.В. Методические указания по определению содержания и состава гумуса в почвах (минеральных и торфяных). / В.В. Пономарева, Т.А. Плотникова – Л.: ЦМП им. В.В. Докучаева ВАСХНИЛ, 1975. - 106 с.
32. Растворова, О.Т. Химический анализ почв. / О.Т. Растворова, Д.П. Андреев, Э.И. Гагарина и др. – СПб.: Изд-во Спб ГУ, 1995. – 263 с.
33. Роде, А.А. Система методов исследования в почвоведении. – Новосибирск: Наука, 1971. – 92 с.
34. Розанов, Б.Г. Морфология почв: Учебник для высшей школы. – М.: Академический Проект, 2004. – 432 с.
35. Руководство по лабораторным методам исследования ионно-солевого состава нейтральных и щелочных минеральных почв. – М.: ВАСХНИЛ, 1990. – 236 с.
36. Симаков, В.Н. Методика одновременного определения углерода, азота и окисленности в почве / В.Н. Симаков, В.П. Цыпленков // Агрохимия. – 1969. – № 6. – С. 127-134.
37. Соколов, Н.И. К методике анализа водных вытяжек // Тр. Почв, ин-та им. В.В. Докучаева. – Т. X. – Вып. 5. – 1934. 36 с.
38. Теория и практика химического анализа почв // Под ред. Л.А. Воробьевой. - М.: ГЕОС, 2006. - 400с.
39. Шеуджен, А.Х. Органическое вещество почвы и методы его определения: Учебное пособие / А.Х. Шеуджен, Н.Н. Нещадим., Л.М. Онищенко // Под ред. В.Т. Куркаева. – Майкоп: ОАО «Полиграфиздат «Адыгея», 2007. – 344 с.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Кислотно-основные индикаторы

Индикатор	Концентрация, %	Растворитель	Интервал pH изменения окраски	Окраска индикатора
пикриновая кислота	1,0	вода	0,0-1,3	бесцветная-желтая
малахитовый зеленый	насыщенный раствор	этанол	0,0-2,0 11,5-13,2	желтая-зеленая; зеленая-бесцветная
метилловый зеленый	0,05	вода	0,1-2,0	желтая-зеленоголубая
крезоловый красный	0,04	50 % этанол	0,2-1,8 7,2-8,8	красная-желтая; желтая-пурпурно-красная
тимоловый синий	0,1	20 % этанол	1,2-2,8 8,0-9,6	красная-желтая; желтая-синяя
В-динитрофенол	0,1-0,04	вода	1,7-4,4 ; 2,4-4,0	бесцветная-желтая
метилловый оранжевый	0,1	вода	3,0-4,4	красная-оранжево-желтая
конго красный (конгорот)	0,1	вода	3,0-5,2	синефиолетовая-красная
бромкрезоловый зеленый (синий)	0,1	20 % этанол	3,0-5,2 3,8-5,4	синефиолетовая-красная; желтая-синяя
метилловый красный (метилрот)	0,1	60 % этанол	4,4-6,2	красная-желтая
бромтимоловый синий (бромтимолблеу)	0,05-0,1	20 % этанол	6,0-7,6	желтая-синяя
феноловый красный (фенолрот)	0,1	20 % этанол	6,8-8,0	желтая-красная
фенолфталеин	0,1	95 % этанол	8,2-10,0	бесцветная-пурпурная
тимолфталеин	0,1	90 % этанол	9,4-10,6	бесцветная-синяя
нитрамин	0,1	70 % этанол	11,0-12,5	бесцветная-красно-коричневая

Коэффициенты пересчета

Азот			
4,427	NO ₂	N	0,226
1,216	NH ₃	N	0,822
3,819	NH ₄ Cl	N	0,262
Алюминий			
1,890	Al ₂ O ₃	Al	0,529
Железо			
1,430	Fe ₂ O ₃	Fe	0,699
Калий			
1,205	K ₂ O	K	0,830
1,907	KCl	K	0,524
Кальций			
1,399	CaO	Ca	0,715
2,497	CaCO ₃	Ca	0,400
4,2%	CaSO ₄ • 2H ₂ O	Ca	0,233
Кремний			
2,140	SiO ₂	Si	0,467
Магний			
1,658	MgO	Mg	0,603
Марганец			
1,291	MnO	Mn	0,774
1,583	MnO ₂	Mn	0,632
Натрий			
1,348	Na ₂ O	Na	0,742
Сера			
2,497	SO ₃	S	0,400
7,281	BaSO ₄	S	0,137
Титан			
1,668	TiO ₂	Ti	0,599
Углерод			
3,664	CO ₂	C	0,273
Фосфор			
2,291	P ₂ O ₅	P	0,436

Типы строения профилей

I. Простое строение профилей:

1. Примитивный
2. Неполноразвитый
3. Нормальный
4. Слабо дифференцированный
5. Эродированный

II. Сложное строение профилей:

1. Реликтовый
2. Многочленный
3. Полициклический
4. Нарушенный
5. Мозаичный

III. Строение профилей по распределению вещества:

1. Аккумулятивный
2. Элювиальный
3. Грунтово-аккумулятивный
4. Элювиально-иллювиальный
5. Недифференцированный

IV. Интегральное название профилей:

1. Изогумусовый
2. Метаморфический
3. Элювиально-иллювиальный
4. Недифференцированный
5. Гидрогенно-дифференцированный
6. Криогенно-дифференцированный
7. Антропогенно-дифференцированный

ПРИЛОЖЕНИЕ 4

Индивидуальные задания по элементному составу почв

Горизонт	Мощность горизонта, см	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	TiO ₂	MnO	SO ₃	P ₂ O ₅
Вариант № 1 Лугово-чернозёмная солонцеватая почва												
Апах	0-10	59,13	14,93	4,80	3,65	0,4	2,05	1,32	0,68	0,09	0,17	0,17
Апах	10-22	59,71	14,50	4,80	3,51	0,4	2,08	1,42	0,66	0,10	0,17	0,16
АВ	22-35	60,42	15,50	5,59	3,36	0,5	1,98	1,32	0,73	0,09	0,17	0,12
В ₁	35-56	61,61	16,31	5,59	1,96	1,92	1,90	1,32	0,75	0,07	0,17	0,11
В ₂ са	56-80	62,72	12,90	4,60	9,81	2,22	1,29	1,4	0,64	0,07	0,17	0,10
Взса	80-104	58,47	12,85	4,80	7,01	2,62	1,74	1,27	0,61	0,07	0,13	0,09
ВСса	104-136	60,34	13,37	5,00	5,61	2,62	1,95	1,48	0,62	0,07	0,13	0,09
Сса	136-150	59,32	12,58	4,93	6,00	2,51	1,90	1,47	0,61	0,07	0,13	0,07
Вариант № 2 Солонец чернозёмно-луговой глубокий												
Апах	0-20	63,52	14,33	4,40	2,52	0,81	1,67	1,46	0,63	0,1	0,30	0,13
В ₁	20-34	63,75	14,54	5,19	1,82	1,31	1,73	1,45	0,68	0,09	0,26	0,12
В ₂ са	34-50	61,42	15,54	5,59	1,96	1,31	1,49	1,27	0,68	0,07	0,26	0,11
В ₃ са	50-70	50,70	11,79	4,59	11,64	2,72	1,44	2,35	0,67	0,06	0,43	0,10
ВСса	70-90	55,61	15,36	4,59	8,41	2,72	1,81	1,42	0,60	0,06	0,56	0,08
С ₁ са	90-110	59,09	14,43	4,20	6,87	1,81	1,88	1,44	0,6	0,08	0,34	0,08
С ₂ са	110-170	60,22	14,88	4,29	5,33	2,62	1,89	1,53	0,64	0,07	0,39	0,08
Аса	170-190	60,53	14,76	4,39	5,47	2,32	1,87	1,59	0,62	0,07	0,56	0,09
Д ₁ са	190-230	60,61	14,19	4,39	5,61	2,62	1,84	1,43	0,59	0,09	0,30	0,09
Вариант № 3 Дерново – глубокоподзолистая почва												
	5 - 10	81,68	10,54	2,62	0,94	0,70	2,07	1,06	0,71	0,09	0,49	0,10
	22 - 27	81,89	9,93	2,48	0,93	0,58	2,39	1,07	0,83	0,12	0,6	0,04
	55 - 60	76,41	13,65	4,49	1,16	1,03	2,27	0,95	0,74	-	0,26	0,11
	140 - 150	77,60	11,70	3,79	1,40	1,09	2,43	1,02	0,74	0,08	0,29	0,05
Вариант № 4 Чернозёмный типичный												
	0 - 8	70,62	17,97	4,75	3,52	0,83	0,75	0,46	0,7	0,07	0,33	0,21
	30 - 38	69,18	17,88	5,48	3,48	0,72	0,93	0,47	0,69	0,07	0,01	0,13
	50 - 55	71,02	18,19	4,64	3,48	0,79	1,03	0,43	0,68	0,06	0,30	0,13
Вариант № 5 Серо-бурая пустынная												
	0 - 8	73,37	12,89	4,12	0,63	3,71	2,21	2,17	0,38	0,08	0,18	0,14
	8 - 20	68,14	14,15	4,73	2,08	4,76	2,21	1,81	0,6	0,1	1,33	0,14
	20 - 30	50,91	4,68	4,81	2,65	2,96	1,1	1,56	0,38	0,03	30,17	0,07
	35 - 65	48,75	1,86	6,3	2,24	3,82	1,49	1,07	0,54	0,03	33,76	0,06
Вариант № 6 Темно-красная ферралитовая												
	0 - 10	38,34	31,25	21,16	0,26	0,02	0,15	0,09	6,64	0,69	0,04	1,47
	40 - 50	36,05	32,73	22,34	0,23	0,04	0,15	0,1	5,99	0,53	0,06	1,8
	100 - 120	36,81	33,64	22,47	0,2	0,06	0,07	0,09	4,98	0,52	0,02	1,42
Вариант № 7												
А _п	0-19	75,89	11,18	5,16	1,76	0,45	1,79	1,77				0,20
А ₂	19-25	76,85	12,61	3,51	1,26	0,51	1,52	1,93				0,04
А ₂ В ₁	25-35	73,34	15,11	4,54	1,29	0,45	1,94	1,57				0,06
В ₁	35-45	70,95	15,77	5,33	1,35	1,18	1,84	1,54				0,09
В ₂	85-95	69,17	16,59	6,06	1,13	1,62	2,00	1,48				0,09
С	190-200	67,56	15,97	7,04	2,08	2,34	1,88	1,30				0,12
Вариант № 8												
А _п	0-15	67,0	11,8	4,7	1,3	1,1	1,9			0,08		0,12
А _п /п	15-40	67,8	11,9	4,7	1,2	1,1	1,9			0,08		0,11
В	40-55	66,8	11,9	4,7	1,2	1,2	1,9			0,07		0,10
ВСса	55-70	52,4	9,3	3,4	10,9	2,4	1,7			0,05		0,15
Вариант № 9												
АВп	0-15	64,8	11,1	4,2	3,0	1,4	1,9			0,07		0,14
АВп/п	15-40	63,1	10,8	4,2	4,5	1,5	1,8			0,06		0,13
ВСса	40-55	49,3	9,3	3,4	13,6	2,7	1,5			0,04		0,14

Вариант № 10												
Ап	0-15	62,4	11,3	4,4	4,6	1,6	1,8			0,07		0,15
Ап/п	20-30	62,4	11,5	4,5	4,5	1,6	1,8			0,07		0,14
В ₁	50-60	53,7	10,8	4,1	10,0	2,3	1,6			0,06		0,14
В ₂	70-80	55,0	11,1	4,2	9,6	2,2	1,7			0,07		0,13
ВС	85-95	54,2	11,0	4,2	10,3	2,4	1,6			0,07		0,12
Вариант № 11												
Ап	0-16	67,9	10,6	4,0	1,4	1,1	1,8			0,07		0,13
Ап/п	16-54	69,0	10,5	4,0	1,3	1,0	1,7			0,07		0,11
АВ	54-115	67,9	9,5	3,8	1,1	0,9	1,7			0,06		0,11
В	115-150	71,0	9,9	3,4	0,9	0,9	1,7			0,05		0,10
ВС	180-230	75,9	7,0	2,0	0,6	0,6	1,2			0,03		0,07
Вариант № 12												
АВп	0-12	69,6	9,7	3,6	1,2	0,9	1,9			0,07		0,14
АВп/п	15-25	70,0	9,8	3,4	1,2	0,9	1,8			0,06		0,1
В ₁	40-50	69,6	10,6	3,8	1,1	1,1	1,9			0,05		0,11
В ₂	60-70	67,3	9,8	3,5	7,0	1,8	1,7			0,05		0,14
ВС	75-85	59,2	9,6	3,4	7,9	1,9	1,7			0,05		0,14

ПРИЛОЖЕНИЕ 5

Показатели состояния органического вещества
пахотного слоя почв (% к массе сухой почвы)

№ п/п	Мощность, см	С гумуса, %	N, %	С _{ЛОВ} , %	N _{ЛОВ} , %	d _v , г/см ³
1	0 - 25	1,51	0,14	0,13	0,007	1,2
2	0 - 23	0,92	0,07	0,11	0,005	1,3
3	0 - 27	1,25	0,12	0,21	0,010	1,2
4	0 - 24	2,11	0,19	0,20	0,015	1,2
5	0 - 27	3,43	0,31	0,25	0,011	1,3
6	0 - 28	2,54	0,28	0,34	0,022	1,1
7	0 - 20	1,06	0,10	0,13	0,006	1,3
8	0 - 25	3,33	0,34	0,52	0,024	1,2
9	0 - 26	4,35	0,40	0,35	0,015	1,1
10	0 - 29	1,73	0,18	0,45	0,027	1,2
11	0 - 25	2,01	0,22	0,11	0,005	1,4
12	0 - 23	3,07	0,31	0,15	0,006	1,3
13	0 - 26	3,15	0,29	0,43	0,027	1,1
14	0 - 25	1,55	0,14	0,25	0,014	1,1
15	0 - 27	1,06	0,09	0,25	0,013	1,2

ПРИЛОЖЕНИЕ 6

Индивидуальные задания по органической части почв

Таблица 1

Групповой состав гумуса почв

Индекс почвы, горизонт	Сорг, %	Собщ, %	С _{ГК} , %			С _{ФК} , %	С _{НО} , %	$\frac{С_{ГК}}{С_{ФК}}$
			С _{ГК}	С _{ЧГК}	С _{БГК}			
Вариант №1								
Ал _т ^I СА	4,06	$\frac{1,72}{42,36}$	$\frac{0,71}{17,48}$	$\frac{0,39}{9,6}$	$\frac{0,32}{7,88}$	$\frac{1,01}{24,87}$	$\frac{2,34}{57,6}$	0,7
Вариант № 2								
Ал _д ^I ЛА	1,36	$\frac{0,42}{30,88}$	$\frac{0,158}{11,62}$	$\frac{0,048}{3,5}$	$\frac{0,052}{3,82}$	$\frac{0,32}{23,52}$	$\frac{0,94}{69,1}$	0,49
Вариант № 3								
Ал _д ^I ЛА	2,01	$\frac{1,04}{51,74}$	$\frac{0,32}{15,92}$	$\frac{0,07}{3,48}$	$\frac{0,25}{12,44}$	$\frac{0,72}{35,82}$	$\frac{0,97}{48,3}$	0,44
Вариант № 4								
Ал _д ^I УА	0,72	$\frac{0,39}{54,16}$	$\frac{0,21}{29,16}$	$\frac{0,04}{5,55}$	$\frac{0,17}{23,61}$	$\frac{0,18}{25,00}$	$\frac{0,33}{46,1}$	1,16
Вариант № 5								
Ал _д ^I ЛА	1,99	$\frac{0,94}{47,24}$	$\frac{0,40}{20,10}$	$\frac{0,11}{5,52}$	$\frac{0,29}{14,57}$	$\frac{0,54}{27,13}$	$\frac{1,05}{47,2}$	0,74
Вариант № 6 (пастбище) Д ₂ ^I ГД,								
А ₁ 0-17	$\frac{0,93}{32,75}$	$\frac{2,84}{100}$	$\frac{0,90}{31,69}$			$\frac{0,03}{1,06}$	$\frac{1,91}{67,25}$	-
А _{1В} 19-29	$\frac{1,06}{44,54}$	$\frac{2,38}{100}$	$\frac{0,96}{40,34}$			$\frac{0,1}{4,20}$	$\frac{1,32}{55,46}$	9,6
В ₁ 32-42	$\frac{1,28}{58,18}$	$\frac{2,2}{100}$	$\frac{0,96}{43,64}$			$\frac{0,32}{14,55}$	$\frac{0,92}{41,82}$	3,0
Вариант № 7 (пастбище) Д ₂ ^I ГД								
А ₁ 0-20	$\frac{0,83}{47,70}$	$\frac{1,74}{100}$	$\frac{0,25}{14,34}$			$\frac{0,58}{33,33}$	$\frac{0,91}{52,30}$	0,43

Продолжение таблицы 1

A ₁ B 25-35	<u>0,77</u> 50,99	<u>1,51</u> 100	<u>0,23</u> 15,02			<u>0,54</u> 35,97	<u>0,74</u> 49,01	0,42
B _{1g} 45-55	<u>0,65</u> 56,03	<u>1,16</u> 100	<u>0,18</u> 15,52			<u>0,47</u> 40,52	<u>0,51</u> 43,97	0,38
Вариант № 8 (сенокос) Д ₁ ^r ГД								
A ₁ 0-15	<u>0,75</u> 47,77	<u>1,57</u> 100	<u>0,71</u> 45,22			<u>0,04</u> 2,55	<u>0,82</u> 52,22	-
A ₁ B 18-28	<u>0,96</u> 72,18	<u>1,33</u> 100	<u>0,76</u> 57,14			<u>0,20</u> 15,04	<u>0,37</u> 27,82	3,8
Вариант № 9 (пашня) Д ₃ ^r ГД _к								
Апах _{1g} 0-20,	<u>0,96</u> 17,05	<u>5,63</u> 100	<u>0,50</u> 8,88			<u>0,46</u> 8,17	<u>4,67</u> 82,95	1,09
Апах ₂ 20-34	<u>0,81</u> 15,52	<u>5,22</u> 100	<u>0,37</u> 7,11			<u>0,44</u> 8,41	<u>4,41</u> 84,48	0,84
B _g 40-50	<u>0,12</u> 5,45	<u>2,20</u> 100	<u>0,025</u> 1,14			<u>0,095</u> 4,32	<u>2,08</u> 94,55	0,26
Вариант № 10								
П ₁ ^Д _{тД} , Вершина холма	<u>0,92^x</u> 48,06 ^{xx}	1,91	<u>0,75</u> 39,18			<u>0,17</u> 8,88	<u>0,99</u> 51,94	4,41
Вариант № 11								
П ₃ ^Д _{тД} , Верхняя часть склона	<u>1,21</u> 54,90	2,20	<u>0,56</u> 25,18			<u>0,66</u> 29,72	<u>0,99</u> 45,10	0,85
Вариант № 12								
П ₁ ^Д _{тД} , Подножье склона	<u>0,76</u> 46,79	1,62	<u>0,37</u> 22,78			<u>0,39</u> 24,01	<u>0,86</u> 53,21	0,95
Вариант № 13								
П ₁ ^Д _{тД} , Средняя часть склона	<u>0,74</u> 74,54	0,99	<u>0,31</u> 31,44			<u>0,43</u> 43,10	<u>0,25</u> 25,46	0,73
Вариант № 14								
П ₃ ^Д _{тД} , Подножье склона	<u>1,54</u> 64,54	2,38	<u>0,25</u> 10,51			<u>1,29</u> 54,03	<u>0,84</u> 35,46	0,19
Вариант № 15								
П ₂ ^Д _{тП} , Возвышенный участок склона	<u>0,77^x</u> 47,41 ^{xx}	1,62	<u>0,19</u> 11,70			<u>0,58</u> 35,71	<u>0,85</u> 52,59	0,33
Вариант № 16								
ДК ^{выщ} _{тЭ5↓} , Прямой участок склона	<u>1,22</u> 55,35	2,20	<u>0,40</u> 18,15			<u>0,82</u> 37,20	<u>0,98</u> 44,65	0,49
Вариант № 17								
П ₁ ^Д _{тАД} II, Пониженный участок склона	<u>0,69</u> 24,28	2,84	<u>0,31</u> 10,91			<u>0,38</u> 13,37	<u>2,15</u> 75,72	0,82
Вариант № 18 Подгольцовый пояс								
Криволесье AU	<u>1,94</u> 53,44	<u>3,63</u> 100	<u>0,37</u> 10,2			<u>1,57</u> 43,25	<u>1,69</u> 6,56	0,2
АН	<u>1,95</u> 50,65	<u>3,85</u> 100	<u>0,13</u> 3,4			<u>1,82</u> 47,27	<u>1,90</u> 49,35	0,1

Вариант № 19 Подгольцовый пояс								
Субальпийские луга AU	$\frac{3,64}{91,45}$	$\frac{3,98}{100}$	$\frac{0,59}{14,8}$			$\frac{3,05}{76,63}$	$\frac{0,34}{8,55}$	0,2
Вариант № 20 Подгольцовый пояс								
Парковое редколесье AU	$\frac{3,64}{95,79}$	$\frac{3,80}{100}$	$\frac{0,66}{17,3}$			$\frac{2,98}{78,42}$	$\frac{0,82}{4,21}$	0,2
Вариант № 21 Горно-лесной пояс								
AU	$\frac{2,11}{75,09}$	$\frac{2,81}{100}$	$\frac{0,37}{13,1}$			$\frac{1,74}{61,92}$	$\frac{0,70}{24,91}$	0,2
Вариант № 22 Горно-лесной пояс								
AU	$\frac{2,17}{78,62}$	$\frac{2,76}{100}$	$\frac{0,69}{25,0}$			$\frac{1,48}{53,62}$	$\frac{0,59}{21,38}$	0,5

Примечание: числитель – содержание углерода, % к массе почвы;
знаменатель – содержание углерода, % к Сорг.

Таблица 2

Групповой состав гумуса дерново – мелкоподзолистых почв (%)

Вид угодья	Горизонт, глубина, см	С общее	С выг	Углерод			C _{тк} /C _{фк}	C _{тк} /C _{об} щ
				C _{тк}	C _{фк}	C _{НО}		
Вариант № 23 Кудымкарский район								
Лес	A ₁ 5-20	2,05	$\frac{1,58}{77,32}$	$\frac{0,50}{24,78}$	$\frac{1,07}{52,53}$	$\frac{0,46}{22,68}$	0,47	24,83
Вариант № 24 Кудымкарский район								
Пашня	A _{пах} 0-28	1,18	$\frac{0,44}{37,89}$	$\frac{0,15}{13,30}$	$\frac{0,29}{24,58}$	$\frac{0,73}{62,26}$	0,55	13,31
Вариант № 25 Кудымкарский район								
Залежь	A ₁ 3-27	1,19	$\frac{0,43}{36,50}$	$\frac{0,16}{13,51}$	$\frac{0,27}{22,98}$	$\frac{0,75}{63,49}$	0,59	13,52
Вариант № 26 Куединский район								
Лес	A ₁ 3-22	1,55	$\frac{0,64}{41,71}$	$\frac{0,24}{15,59}$	$\frac{0,40}{26,16}$	$\frac{0,90}{58,28}$	0,59	15,59
Вариант № 27 Куединский район								
Пашня	A _{пах} 0-23	2,28	$\frac{0,94}{41,36}$	$\frac{0,41}{18,02}$	$\frac{0,53}{23,33}$	$\frac{1,34}{58,63}$	0,77	18,05
Вариант № 28 Куединский район								
Залежь	A _{пах} 2-30	1,08	$\frac{0,48}{44,69}$	$\frac{0,14}{13,4}$	$\frac{0,33}{31,28}$	$\frac{0,59}{55,3}$	0,42	13,41
Вариант № 29 Краснокамский район								
Пашня	A _{пах} 0-26	1,52	$\frac{0,38}{25,42}$	$\frac{0,11}{7,40}$	$\frac{0,27}{18,00}$	$\frac{1,13}{74,57}$	0,41	7,39

Примечание: ^x в числителе - % к весу почв, ^{xx} в знаменателе - % к Собщ

Таблица 3

Фракционный и групповой состав гумуса почв стационара в % (слой 0-20 см)

Вариант удобрения	Собщ	Углерод					ГК ФК	Степень гуммификации
		Гумусовых веществ извлекаемых		ГК*	ФК*	НО*		
		Na ₄ P ₂ O ₇ + NaOH	0,1н H ₂ SO ₄					
Вариант № 38								
Без удоб.	0,73	58,5	11,0	20,5	34,2	41,1	0,56	20,5
Вариант № 39								
(NK)2	0,88	70,5	7,38	21,6	48,9	29,5	0,44	21,6
Вариант № 40								
(NPK)2	1,43	49,7	4,9	21,7	28,0	50,3	0,77	21,7
Вариант № 41								
H+60 т/га	1,06	50,9	9,4	17,9	33,0	50,0	0,54	17,9
Вариант № 42								
H+(NPK)1	0,85	41,2	9,4	16,5	24,7	58,8	0,66	16,5

Таблица 4

Групповой состав гумуса пахотного (гумусового) слоя почв

№ разреза, почва, элемент рельефа	C _{общ}	C _{выт}	C _{гк}	C _{фк}	C _{но}	C _{гк} :C _{фк}	C _{гк} :C _{общ} × 100
Вариант № 30 Залежь 15 лет (многолетние травы)							
Разрез №1 П ^Д ₁ ТД, Вершина холма	1,91	$\frac{0,92^x}{48,06^{xx}}$	$\frac{0,75}{39,18}$	$\frac{0,17}{8,88}$	$\frac{0,99}{51,94}$	4,41	39,18
Вариант № 31 Залежь 15 лет (многолетние травы)							
Разрез №2 П ^Д ₃ ТД, Верхняя часть склона	2,20	$\frac{1,21}{54,90}$	$\frac{0,56}{25,18}$	$\frac{0,66}{29,72}$	$\frac{0,99}{45,10}$	0,85	25,18
Вариант № 32 Залежь 15 лет (многолетние травы)							
Разрез №3 П ^{Дг} ₁ ТД, Подножье склона	1,62	$\frac{0,76}{46,79}$	$\frac{0,37}{22,78}$	$\frac{0,39}{24,01}$	$\frac{0,86}{53,21}$	0,95	22,78
Вариант № 33 Залежь 15 лет (многолетние травы)							
Полуяма №4 П ^{Дг} ₁ ТД↓, Средняя часть склона	0,99	$\frac{0,74}{74,54}$	$\frac{0,31}{31,44}$	$\frac{0,43}{43,10}$	$\frac{0,25}{25,46}$	0,73	31,44
Вариант № 34 Залежь 15 лет (многолетние травы)							
Полуяма №5 П ^{Дг} ₃ ТД, Подножье склона	2,38	$\frac{1,54}{64,54}$	$\frac{0,25}{10,51}$	$\frac{1,29}{54,03}$	$\frac{0,84}{35,46}$	0,19	10,51
Вариант № 35 Пашня (поле картофеля)							
Разрез №6 П ^Д ₂ ТП, Возвышенный участок склона	1,62	$\frac{0,77^x}{47,41^{xx}}$	$\frac{0,19}{11,70}$	$\frac{0,58}{35,71}$	$\frac{0,85}{52,59}$	0,33	11,70
Вариант № 36 Пашня (поле картофеля)							
Разрез № 7 ДК ^{выш} _{ТЭ5↓} , Прямой участок склона	2,20	$\frac{1,22}{55,35}$	$\frac{0,40}{18,15}$	$\frac{0,82}{37,20}$	$\frac{0,98}{44,65}$	0,49	18,15
Вариант № 37 Пашня (поле картофеля)							
Разрез №8 П ^Д ₁ ТАД II, Пониженный участок склона	2,84	$\frac{0,69}{24,28}$	$\frac{0,31}{10,91}$	$\frac{0,38}{13,37}$	$\frac{2,15}{75,72}$	0,82	10,91

Таблица 5

Содержание углерода и качественный состав гумуса в почвах
ООО «Совхоза Дружный»

Горизонт, глубина, см Вид ЭПС	Повторность	C _{общ}	Содержание гумуса, %	Углерод				C _{гк} / C _{фк}	Тип гумуса		
				вытяжки	ГК	ФК	НО				
Вариант № 43											
Зональные Ап 0-32	1	1,4	2,4	<u>0,74*</u> 52,9	<u>0,30</u> 21,4	<u>0,44</u> 31,4	<u>0,66</u> 47,1	0,68	г-ф		
	2			<u>0,70</u> 46,4	<u>0,25</u> 17,9	<u>0,45</u> 32,1	<u>0,70</u> 50,0			0,55	г-ф
	3			-	-	-	-				
								0,62	г-ф		
Вариант № 44											
Эрозионные Ап 0-30	1	1,4	2,4	<u>1,10</u> 78,6	<u>0,26</u> 18,6	<u>0,84</u> 70,0	<u>0,30</u> 21,4	0,31	Ф		
	2			<u>0,99</u> 70,7	<u>0,31</u> 22,1	<u>0,68</u> 48,6	<u>0,41</u> 29,3			0,46	Ф
	3			<u>1,13</u> 80,7	<u>0,37</u> 26,43	<u>0,76</u> 54,3	<u>0,27</u> 19,3				
								0,42	ф		
Вариант № 45											
Полугидро- морфно- эрозионные А ₀ А ₁ 0-6	1	1,1	1,9	<u>0,98</u> 89,10	<u>0,46</u> 41,82	<u>0,52</u> 47,30	<u>0,12</u> 10,91	0,88	г-ф		
	2			<u>1,0</u> 90,9	<u>0,41</u> 37,3	<u>0,59</u> 53,6	<u>0,1</u> 9,1			0,69	г-ф
	3			<u>0,99</u> 90,0	<u>0,43</u> 39,1	<u>0,56</u> 50,9	<u>0,11</u> 10,0				
								0,78	г-ф		

Примечание: в числителе - % к весу почв, в знаменателе - % к С_{общ}

ПРИЛОЖЕНИЕ 7

Содержание карбоната кальция по реакции почвы с 10 % HCl

СаСО ₃ , %	Слуховой эффект	Визуальный эффект
0,1	нет	нет
0,5	слабо увеличивающийся до едва слышимого	нет
1	слабо нарастающий до умеренно слышимого	слабое вскипание, ограниченное отдельными пузырьками, едва видимое
2	от умеренно до отчетливо слышимого; слышен даже если не держать образец рядом с ухом	чуть более интенсивное вскипание, видимое при рассмотрении с близкого расстояния
5	хорошо слышим	умеренное вскипание, явно видимое, пузырьки до 3 мм в диаметре
10 и более	хорошо слышим	сильное вскипание по всему объему, пузырьки до 7 мм в диаметре, хорошо ви-

ПРИЛОЖЕНИЕ 8

Множитель пересчёта грамм – ионов в миллиграмм - эквивалентах

Ионы	Вес иона	Эквивалентный вес	мг-экв, выраженный в		Пересчёт г-ионов (%) в мг - экв
			мг	г	
Катионы: Na ⁺	22,99	22,99	23	0,023	43,48
K ⁺	39,10	39,10	39	0,039	25,58
NH ₄ ⁺	18,04	18,04	18	0,018	55,43
Ca ⁺²	40,08	20,04	20	0,020	40,90
Mg ⁺²	24,32	12,16	12	0,012	82,84
Ba ⁺²	137,36	68,68	69	0,069	14,56
Sr ⁺²	87,63	43,82	44	0,044	22,82
Cu ⁺²	63,54	31,77	32	0,032	31,46
Zn ⁺²	65,38	32,69	33	0,033	30,59
Ni ⁺²	58,71	29,36	29	0,029	34,08
Co ⁺²	58,94	29,47	29	0,029	33,93
Mn ⁺²	54,94	27,47	27	0,027	36,41
Fe ⁺²	55,85	27,92	28	0,028	35,82
Fe ⁺³	55,85	18,62	19	0,019	53,27
Al ⁺³	26,98	9,00	9	0,009	111,24
Анионы: Cl ⁻	35,45	35,45	35	0,035	28,20
NO ₃ ⁻	62,00	62,00	62	0,062	16,13
HCO ₃ ⁻	61,00	61,00	61	0,061	16,39
CO ₃ ⁻²	60,00	30,00	30	0,030	33,33
SO ₄ ⁻²	96,06	48,03	48	0,048	20,82
HPO ₄ ⁻²	96,03	48,02	48	0,048	20,83

Группировка почв по химизму засоления
(Теория и практика ..., 2006)

Засоление нейтральное ($\Sigma_{\text{общ}} < \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$, pH < 8,5)		Засоление щелочное ($\Sigma_{\text{общ}} > \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$, pH > 8,5)			Засоление карбонатно-щелочноземельное ($\Sigma_{\text{общ}} < \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$, 8,5 < pH < 8,5)		
Щобщ < 20% от Σ анионов		Щобщ > 20% от Σ анионов			Щобщ < 20% от Σ анионов		Щобщ > 20% от Σ анионов
Химизм засоления							
Хлоридный	$\text{Cl}^- / \text{SO}_4^{2-}$ токс ≥ 2	Содовый	$\Sigma_{\text{общ}} > \text{Cl}^-$ и $> \text{SO}_4^{2-}$	Хлоридный и сульфатно-хлоридный с участием соды	$\Sigma_{\text{общ}} < \text{Cl}^-$ и $< \text{SO}_4^{2-}$, $\text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-}$	Сульфатно-хлоридно-карбонатный	$\Sigma_{\text{общ}} > \text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-}$
Сульфатно-хлоридный	$\text{Cl}^- / \text{SO}_4^{2-}$ токс = 1-2	Хлоридно-содовый	$\Sigma_{\text{общ}} > \text{Cl}^-$, $\text{SO}_4^{2-} < 20\%$ от Σ анионов				
Хлоридно-сульфатный	$\text{Cl}^- / \text{SO}_4^{2-}$ токс = 0,5-1	Сульфатно-содовый	$\Sigma_{\text{общ}} > \text{SO}_4^{2-}$, $\text{Cl}^- < 20\%$ от Σ анионов	Сульфатный и хлоридно-сульфатный с участием соды	$\Sigma_{\text{общ}} < \text{Cl}^-$ и $< \text{SO}_4^{2-}$, $\text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^-$		
Сульфатный	$\text{Cl}^- / \text{SO}_4^{2-}$ токс < 0,5	Содово-хлоридный	$\Sigma_{\text{общ}} < \text{Cl}^-$, $\text{SO}_4^{2-} < 20\%$ от Σ анионов				
		Содово-сульфатный	$\Sigma_{\text{общ}} < \text{SO}_4^{2-}$, $\text{Cl}^- < 20\%$ от Σ анионов				

Классификация почв по степени засоления в зависимости от химизма засоления* (Панкова Е.И., 2006)

Степень засоления почв	Нейтральное засоление			Щелочное засоление**		Карбонатно-щелочноземельное засоление
	Химизм засоления (по соотношению анионов, моль(экв)/100 г почвы)					
	Хлоридный, сульфатно-хлоридный	Хлоридно-сульфатный	Сульфатный	Содовый и содово-хлоридный	Сульфатно-содовый и содово-сульфатный	Сульфатно-хлоридно-карбонатный
порог токсичности (незаселенные почвы)	$\frac{<0,1}{<0,05}$	$\frac{<0,2}{<0,1}$	$\frac{<0,3(1,0)}{<0,15}$	$\frac{<0,1}{<0,05}$	$\frac{<0,15}{<0,15}$	$\frac{<0,2}{<0,15}$
слабая	$\frac{0,1-0,2}{0,05-0,12}$	$\frac{0,2-0,4(0,6)}{0,1-0,25}$	$\frac{0,3(1,0)-0,6(1,2)}{0,15-0,3}$	$\frac{0,1-0,2}{0,05-0,15}$	$\frac{0,15-0,25}{0,15-0,25}$	$\frac{0,2-0,4}{0,15-0,3}$
средняя	$\frac{0,2-0,4}{0,12-0,35}$	$\frac{0,4(0,6)-0,6(0,9)}{0,25-0,5}$	$\frac{0,6(1,2)-0,8(1,5)}{0,3-0,6}$	$\frac{0,2-0,3}{0,15-0,3}$	$\frac{0,25-0,4}{0,25-0,4}$	$\frac{0,4-0,5}{0,3-0,5}$
сильная	$\frac{0,4-0,8}{0,35-0,7}$	$\frac{0,6(0,9)-1,0(1,4)}{0,5-1,0}$	$\frac{0,8(1,5)-1,5(2,0)}{0,6-1,5}$	$\frac{0,3-0,5}{0,3-0,5}$	$\frac{0,4-0,6}{0,4-0,6}$	не встречается
очень сильная	$\frac{\geq 0,8}{>0,7}$	$\frac{\geq 1,0(1,4)}{>1,0}$	$\frac{\geq 1,5(2,0)}{>1,5}$	$\frac{\geq 0,5}{>0,5}$	$\frac{\geq 0,6}{>0,6}$	не встречается

Примечание. *Над чертой – сумма солей, под чертой – сумма токсичных солей, (%), полученных методом водной вытяжки 1:5; в скобках приведена степень засоления почв, содержащих более 1-2 % CaSO₄ · 2H₂O. **Степень засоления почв хлоридного, сульфатно-хлоридного, сульфатного и хлоридно-сульфатного засоления с участием соды оценивается по критериям соответственно содово-хлоридных и содово-сульфатных почв

ПРИЛОЖЕНИЕ 11

Роды почв по глубине залегания солевого максимума

Роды	Соли в слое, см
солончаковые	0 - 30
высокосолончаковатые	30 - 50
солончаковатые	50 - 100
глубокосолончаковатые	100 - 150
глубокозасоленные	150 - 200
потенциальнозасоленные	200 - 300

ПРИЛОЖЕНИЕ 12

Деление типов и подтипов солонцов на роды и виды

Роды	Виды
<p>1. По глубине залегания водорастворимых солей: Солончаковые (5-30см) - $C_{HA}^{Ч Cк I}$ Высокосолончаковатые (30-50см) - $C_{HA}^{Ч Cк II}$ Солончаковатые (50-100см) - $C_{HA}^{Ч Cк III}$ Глубокосолончаковатые (100-150см) - $C_{HA}^{Ч Cк IV}$</p>	<p>1. По мощности горизонта А: корковые (до 5см) - $C_{HA}^{Ч Cк I 1}$ мелкие (5-10см) - $C_{HA}^{Ч Cк I 2}$ средние (10-18см) - $C_{HA}^{Ч Cк I 3}$ глубокие (>18см) - $C_{HA}^{Ч Cк I 4}$</p>
<p>2. По химизму засоления: <i>нейтральные:</i> хлоридные $C_{HA}^{Ч Cк I X}$ сульфатно-хлоридные $C_{HA}^{Ч Cк I CX}$ хлоридно-сульфатные $C_{HA}^{Ч Cк I XC}$ сульфатные $C_{HA}^{Ч Cк I C}$ <i>содовые, смешанные:</i> содово-сульфатные $C_{HA}^{Ч Cк I CДС}$ содово-хлоридные $C_{HA}^{Ч Cк I CДХ}$ хлоридно-содовые $C_{HA}^{Ч Cк I ХСД}$ сульфатно-содовые $C_{HA}^{Ч Cк I ССД}$</p>	<p>2. По содержанию обменного натрия в горизонте В₁ (% от ЕКО): малонатриевые (до 10) $C_{HA}^{Ч Cк I 1/1}$ средненатриевые (10-25) $C_{HA}^{Ч Cк I 1/2}$ многонатриевые (>25) $C_{HA}^{Ч Cк I 1/3}$</p>
<p>3. По степени засоления: слабозасоленные $C_{HA}^{Ч Cк I}$ средnezасоленные $C_{HA}^{Ч Cк II}$ сильнозасоленные $C_{HA}^{Ч Cк III}$ солонцы-солончаки $C_{HA}^{Ч Cк IV}$</p>	<p>3. По степени осолодения: слабоосолоделые $C_{HA}^{Ч Cк I 1/1 1}$ осолоделые $C_{HA}^{Ч Cк I 1/1 2}$ сильноосолоделые $C_{HA}^{Ч Cк I 1/1 3}$</p>
<p>4. По глубине залегания карбонатов и гипса: высококарбонатные (выше 40-45см) $C_{HA}^{Ч Cк Вк I}$ глубококарбонатные (глубже 40-45см) $C_{HA}^{Ч Cк Гк II}$ высокогипсовые (выше 40-45см) $C_{HA}^{Ч Cк Вг I}$ глубокогипсовые (глубже 40-45см) $C_{HA}^{Ч Cк Гг II}$</p>	<p>4. По структуре в солонцовом горизонте В₁: глыбистые $C_{HA}^{Ч Cк I 1/1 Гл}$ призматические $C_{HA}^{Ч Cк I 1/1 П}$ столчатые $C_{HA}^{Ч Cк I 1/1 С}$ ореховатые $C_{HA}^{Ч Cк I 1/1 О}$</p>

Индивидуальные задания по вещественному составу почв

Таблица 1

Вещественный состав почв

Горизонт	Глубина, см	Сухой остаток, %	В мг – экв на 100 г почвы							
			Щёлочность		Cl	SO ₄ ⁻²	Ca ⁺²	Mg ⁺²	Na ⁺	K ⁺
			CO ₃ ⁻²	HCO ₃ ⁻						
Вариант № 1 Чернозём обыкновенный										
Апах	0-10	0,066	Нет	0,44	0,07	0,06	0,35	0,12	0,05	0,05
Апах	10-23	0,041	-«-	0,38	0,06	0,06	0,37	0,12	0,05	0,04
А ₁	23-30	0,037	- «-	0,56	0,07	0,10	0,38	0,11	0,08	0,02
АВ	30-50	0,077	- «-	0,78	0,06	0,06	0,56	0,14	0,09	0,02
В _{1ca}	50-80	0,095	- «-	0,80	0,04	0,04	0,62	0,16	0,11	0,02
В _{2ca}	80-116	0,076	- «-	0,78	0,05	0,06	0,55	0,18	0,12	0,02
ВСса	116-135	0,079	- «-	0,73	0,04	0,08	0,57	0,19	0,12	0,01
Сса	135-160	0,080	- «-	0,78	0,06	0,15	0,53	0,22	0,14	0,02
Вариант № 2 Чернозём луговой глубокий										
Апах	0-20	0,126	нет	0,32	0,10	0,27	0,10	0,08	0,33	0,03
В ₁	20-34	0,186	-«-	0,68	0,08	0,35	0,19	0,28	0,78	0,04
В _{2ca}	34-50	0,261	-«-	0,84	0,14	0,63	0,19	0,28	1,05	0,05
В _{3ca}	50-70	0,203	-«-	1,92	0,12	0,10	0,17	0,22	1,96	0,01
ВСса	70-90	0,197	-«-	1,76	0,14	0,06	0,10	0,23	1,91	0,01
С _{1ca}	90-110	0,144	-«-	1,36	0,14	0,21	0,14	0,16	1,60	0,01
С _{2ca}	110-170	0,115	-«-	1,20	0,12	0,25	0,14	0,20	1,29	0,01
Д _{1ca}	170-190	0,081	-«-	1,08	0,14	0,19	0,17	0,28	0,89	0,02
Д _{2ca}	190-230	0,084	-«-	0,92	0,10	0,06	0,09	0,28	0,62	0,02
Вариант № 3 Лугово-чернозёмная										
Апах	0-10	0,001	Нет	0,32	0,06	0,04	0,26	0,11	0,07	0,03
Апах	10-22	0,001	-«-	0,26	0,05	0,04	0,27	0,12	0,06	0,04
АВ	22-35	0,003	-«-	0,30	0,05	0,04	0,35	0,10	0,09	0,02
В ₁	35-56	0,075	-«-	0,71	0,06	0,06	0,47	0,16	0,15	0,01
В _{2ca}	56-80	0,080	- «-	0,80	0,06	0,04	0,48	0,16	0,22	0,02
В _{3ca}	80-104	0,091	- «-	0,88	0,05	0,04	0,31	0,21	0,52	0,02
ВСса	104-136	0,092	-«-	1,03	0,07	0,04	0,18	0,26	0,83	0,02
Сса	136-150	0,120	-«-	1,14	0,07	0,15	0,08	0,29	1,16	0,02
Вариант № 4 техногенное засоление										
	0-20	14,45		0,003	28,7	0,77	0,98	0,20	27,3	
	20-40	11,66		0,005	27,01	0,58	1,98	1,90	23,8	
	40-60	9,93		0,031	25,2	1,46	3,76	0,60	22,3	
	60-80	6,83		0,006	20,3	3,77	2,15	0,50	21,4	
	80-100	2,10		0,006	19,6	3,99	0,74	0,20	22,6	
Вариант № 5 техногенное засоление										
	0-20	15,59		0,006	28,1	0,63	4,34	2,90	21,5	
	20-40	13,87		0,005	27,4	2,82	4,02	2,10	24,1	
	40-60	10,51		0,007	25,8	1,55	3,28	1,11	22,9	
	60-80	4,32		0,006	23,2	5,79	2,19	0,34	26,4	

Вариант № 6 техногенное засоление										
	0-20	18,97		0,013	31,4	3,80	5,03	2,50	27,6	
	20-40	14,83		0,026	38,0	3,16	4,24	1,14	28,5	
	40-60	15,89		0,020	27,8	5,59	3,12	0,87	29,4	
	60-80	11,97		0,006	24,7	5,68	1,15	0,56	28,6	
	80-100	5,41		0,35	23,3	9,98	1,01	0,63	31,6	
Вариант № 7 Каштановая слабосолонцеватая										
	0-10	0,088		0,66	НЕТ	0,29	0,5	0,41		
	30-40	0,096		0,79	0,09	0,19	0,55	0,41		
	70-80	0,40		0,75	4,42	1,06	0,7	1,48		
	110-120	0,760		0,64	5,72	4,67	1,05	2,46		
	150-160	1,962		0,36	5,24	22,15	12,5	6,48		
	190-200	1,520		0,43	3,69	17,31	8,65	4,84		
	240-260	0,941		0,59	2,28	10,4	4,3	2,95		
	350-370	0,230		1,49	1,04	0,85	0,2	0,25		

Таблица 2

Вещественный состав почв различного засоления

Глубина, см	Сухой остаток, %	В % на абсолютно сухую почву								
		Щёлочность		Cl	SO ₄ ⁻²	Ca ⁺²	Mg ⁺²	Na ⁺	K ⁺	
		CO ₃ ⁻²	HCO ₃ ⁻							
Вариант № 8 Пухлый солончак										
0-1	17,048	следы	0,077	0,101	11,352	0,232	0,374	4,558		
1-18	10,208	следы	0,051	0,555	5,922	0,330.	0,503	1,885		
25-35	6,195	нет	0,025	0,263	3,752	0,263	0,322	1,065		
40-50	5,588	нет	0,023	0,266	3,319	0,235	0,277	0,977		
60-70	4,104	нет	0,023	0,138	2,575	0,234	0,172	0,738		
90-100	3,162	нет	0,023	0,063	2,086	0,236	0,144	0,505		
140-150	2,843	нет	0,022	0,070	1,812	0,179	0,126	0,477		
Вариант № 9 Сорový солончак										
0-0,5	9,98	нет	0,048	0,660	5,878	0,137	0,421	1,526		
0,5-7	2,73	нет	0,052	0,666	1,006	0,048	0,096	0,700		
7-16	2,44	нет	0,054	0,957	0,529	0,027	0,099	0,683		
60-70	4,73	нет	0,038	1,724	1,198	0,040	0,178	1,334		
160-170	1,06	нет	0,032	0,381	0,273	0,023	0,032	0,306		
Вариант № 10										
0-10	0,769	0,170	0,443	0,039	нет	0,004	0,002			
0-7	0,376	0,139	0,357	0,032	0,009	0,003	0,003			
0-5	0,804	0,56	0,592	0,012	0,004	0,00 1	нет			
0-15	1,293	0,006	0,050	0,454	0,268	0,005	0,031			
Вариант № 11										
0-14	3,630		0,037	1,757	0,493	0,132	0,049	1,142		
14-25	2,276		0,027	1,171	0,637	0,385	0,165	0,315		
25-45	4,660		0,027	1,597	1,253	0,450	0,147	0,846		
45-70	4,840		0,024	1,846	1,274	0,465	0,138	1,016		
70-100	4,900		0,022	2,236	0,904	0,345	0,159	1,189		

Вариант № 12									
0-12	3,652		0,022	0,923	1,068	0,368	0,132	0,442	
22-30	1,912		0,024	0,745	0,330	0,348	0,081	0,094	
45-57	3,362		0,022	0,891	1,032	0,248	0,149	0,499	
92-102	2,736		0,024	0,728	0,865	0,136	0,144	0,463	
120-134	2,080		0,024	0,507	0,833	0,110	0,102	0,415	
178-200	2,188		0,022	0,419	1,008	0,126	0,099	0,427	
Вариант № 13									
0-9	0,330		0,051	0,035	0,155	0,040	0,012	0,052	
9-16	0,559		0,037	0,016	0,330	0,086	0,020	0,046	
1647	1,330		0,026	0,023	0,809	0,169	0,071	0,084	
47-74	1,566		0,022	0,021	0,957	0,217	0,082	0,077	
74-109	1,456		0,022	0,017	0,889	0,221	0,066	0,068	
109-124	1,626		0,021	0,021	0,992	0,235	0,072	0,092	
Вариант № 14 техногенное засоление									
0-20	14,45		0,10	1,01	0,03	0,01	0,002	0,62	
20-40	11,66		0,14	0,96	0,02	0,03	0,022	0,54	
40-60	9,93		0,9	0,89	0,07	0,07	0,007	0,51	
60-80	6,83		0,16	0,72	0,18	0,04	0,006	0,49	
80-100	2,10		0,18	0,69	0,19	0,01	0,002	0,52	
Вариант № 15 техногенное засоление									
0-20	15,59		0,18	0,99	0,03	0,08	0,034	0,49	
20-40	13,87		0,15	0,97	0,13	0,08	0,025	0,55	
40-60	10,51		0,20	0,91	0,07	0,06	0,013	0,52	
60-80	4,32		0,19	0,81	0,03	0,04	0,004	0,60	
Вариант № 16 техногенное засоление									
0-20	18,97		0,21	1,11	0,18	0,10	0,030	0,63	
20-40	14,83		0,43	1,09	0,15	0,08	0,013	0,65	
40-60	15,89		0,34	0,98	0,26	0,06	0,010	0,67	
60-80	11,97		0,11	0,87	0,27	0,02	0,006	0,65	
80-100	5,41		0,39	0,82	0,48	0,02	0,007	0,72	
Вариант № 17 Солончаковое пятно на орошаемом участке									
0-2	15,09		0,04	3,96	4,56	0,31	0,300	3,87	
2-10	1,72		0,02	0,14	0,99	0,19	0,030	0,29	
10-25	1,57		0,02	0,14	0,86	0,16	0,030	0,27	
25-40	0,85		0,02	0,16	0,34	0,02	0,020	0,21	
60-80	0,50		0,02	0,09	0,21	0,02	0,020	0,11	
100-120	0,32		0,02	0,06	0,16	0,01	0,010	0,09	
Вариант № 18 Каштановая слабосолонцеватая почва									
0-10	0,088		0,04	НЕТ	0,014	0,01	0,010	0,002	
30-40	0,096		0,048	0,00	0,009	0,01	0,005	0,002	
70-80	0,40		0,046	0,15	0,051	0,7	0,018	0,093	
110-120	0,760		0,039	0,20	0,224	0,021	0,03	0,173	
150-160	1,962		0,022	0,18	1,063	0,25	0,079	0,201	
190-200	1,520		0,026	0,13	0,831	0,173	0,059	0,182	
240-260	0,941		0,036	0,08	0,499	0,086	0,036	0,138	
350-370	0,230		0,091	0,03	0,041	0,004	0,003	0,067	