

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

МЕЛИОРАЦИЯ ЗАСОЛЕННЫХ ПОЧВ И МЕТОДЫ ИХ ИЗУЧЕНИЯ

Учебно-методическое пособие

Томск
Издательский Дом Томского государственного университета
2018

УДК 631.6(075)

ББК 40.6я7

М474

Мелиорация засоленных почв и методы их изучения :
М474 учебно-методическое пособие / авт.-сост. Е.В. Каллас,
Т.А. Марон. – Томск : Издательский Дом Томского
государственного университета, 2018. – 138 с.

В учебно-методическом пособии приводится общая характеристика засоленных почв, описываются основные приемы их мелиорации, а также рассмотрены теоретические основы применяемых методов при анализе солончаковых и солонцовых почв, ход выполнения аналитических определений и способы проверки точности выполнения анализов, выполняемых на лабораторных занятиях по «Практикуму по мелиорации почв». В пособие включены вопросы использования результатов анализа водных вытяжек почв для определения запаса водорастворимых солей в почвах, установления степени и химизма их засоления, даны рекомендации по способам представления результатов анализа водных вытяжек, а также приведены классификации почв с учетом содержания токсичных солей и типа их засоления.

Для студентов специальности «Почвоведение», изучающих дисциплину «Мелиорация почв», а также выполняющих бакалаврские и магистерские квалификационные работы.

ВВЕДЕНИЕ

Исследованию засоленных почв уделяется большое внимание, как в России, так и за рубежом на протяжении многих десятилетий, поскольку они довольно широко распространены в аридных и семиаридных регионах нашей планеты, и процесс засоления обуславливает основные генетические и мелиоративные особенности сухостепных, полупустынных и пустынных почв. К засоленным относится большая группа почв, имеющих разный генезис и свойства, но объединенных одним признаком – наличием легкорастворимых солей в количестве, угнетающем рост и развитие растений-негалофитов. С целью познания генезиса засоленных почв, возможных путей их эволюции, а также для оптимизации системы мелиорации этих почв, необходимо определить: а) физико-химические и химические свойства; б) глубину залегания солевого горизонта и его мощность; в) химизм (тип) засоления; г) степень засоления и запас солей; д) строение солевого профиля, а также ряд других признаков.

Одним из основных приемов при исследовании химического состава засоленных почв является анализ водной вытяжки, результаты которого позволяют получить информацию об общем содержании легкорастворимых солей в почве, степени и химизме засоления, количестве токсичных солей. Рассмотренные в пособии типы распределения солей по почвенному профилю помогут определить стадию засоления почвы на данном этапе ее развития и установить эволюционный ход почвообразования на предшествующих этапах развития.

Целью настоящего учебно-методического пособия является оказание студентам помощи в усвоении теоретического материала раздела «Мелиорация засоленных почв» дисциплины «Мелиорация почв», правильном выполнении анализа водной вытяжки и других определений химических и физико-химических свойств солончаковых и солонцовых почв, а также изучении вопросов химизма и степени засоления, типов солевых профилей и способов представления результатов анализа водной вытяжки почв.

Раздел 1. МЕЛИОРАЦИЯ ЗАСОЛЕННЫХ ПОЧВ

1.1. Причины соленакопления и засоления почв

Засоленные почвы широко распространены в зоне сухих степей, полупустынь и пустынь, встречаются также в степной и лесостепной зонах, т.е. там, где годовое количество осадков меньше испаряемости. Они формируются в местах, где в общем солевом балансе в поверхностные горизонты почвы поступает солей больше, чем вымывается из нее. Для образования засоленных почв не требуется притока солей извне и необязательно, чтобы они были в избытке в почвообразующих породах или грунтовых водах. Длительный процесс восходящего движения растворов даже слабых концентраций и испарение воды почвой в количестве, превышающем атмосферные осадки, приводит к засолению.

Засоленные почвы в нашей стране занимают относительно небольшие территории (7% от общей площади с/х угодий, а вместе с солонцовыми комплексами 18%), однако они играют очень важную роль в орошаемой земледелии по ряду причин, основные из которых, согласно Ф.Р. Зайдельману (2009), следующие:

1. Сельскохозяйственное освоение засоленных почв тесно связано с необходимостью выполнения сложного комплекса специальных мелиоративных мероприятий по рассолению.

2. Засоленные почвы могут возникать в процессе эксплуатации незасоленных земельных массивов в результате вторичного засоления, поэтому при орошении очень важна разработка комплекса мероприятий по его предупреждению.

3. Ареал засоленных почв очень динамичен, поскольку рассоление почв может сопровождаться одновременно появлением новых ареалов засоления на смежных участках.

Возникновение засоленных почв связано с естественными циклами соленакопления, протекающими на огромных пространствах суши земного шара. В.А. Ковда различает следующие циклы соленакопления:

1. *Континентальное соленакопление* – связано с движением, перераспределением и аккумуляцией углекислых, сернокислых и хлористых солей во внутриматериковых бессточных областях. Выделяют первичные и вторичные циклы континентального соленакопления. *Первичные циклы* обусловлены аккумуляцией солей в почвах и водах, возникающих в процессе выветривания и почвообразования. *Вторичные циклы* континентального соленакопления рассматриваются как процессы перераспределения солей, ранее аккумулярованных в толще осадочных соленосных пород.

2. *Приморское соленакопление* – обусловлено аккумуляцией морских солей, главным образом хлорида натрия, в прибрежных морских низменностях и по берегам мелководных заливов.

3. *Дельтовое соленакопление* – этот цикл характеризуется сложным сочетанием процессов движения и аккумуляции солей, приносимых с континента рекой и долино-дельтовым грунтовым потоком, и солей, поступающих в разное время со стороны моря.

Основными причинами, обуславливающими аккумуляцию солей в горизонтах почвенного профиля, являются следующие:

1) поступление солей из засоленных грунтовых вод и почвообразующих пород;

2) перераспределение солей под действием поверхностных вод и их аккумуляция в почвах пониженных элементов рельефа;

3) перенос солей ветром в виде капель (импульверизация) и в виде твердых аэрозолей в бассейнах соленых озер, морей, с поверхности солончаков.

4) трансформация нейтральных и пассивных продуктов выветривания под влиянием почвообразования в токсичные водорастворимые соединения.

5) привнос солей с ирригационными водами, их перенос и аккумуляция в горизонтах почвенного профиля.

Засоление почв происходит в условиях преобладания восходящих токов влаги над нисходящими, т.е. *выпотного типа водного режима*, для формирования которого необходимо, чтобы величина испаряемости была выше, чем количество осадков, и уровень грунтовых вод был достаточно высок.

В мелиоративном отношении особое значение имеют такие засоленные почвы как солончаки, солончаковые и солончаковатые почвы, солонцы и солонцеватые почвы.

Для того чтобы правильно разработать систему мелиорации этих почв, необходимо изучить физико-химические свойства засоленных почв, строение солевого профиля, химизм засоления и другие признаки и свойства.

1.2. Общая характеристика засоленных почв

Содержание токсичных водорастворимых солей в солончаках, солончаковых и солончаковатых почвах столь значительно, что оно обуславливает угнетение и гибель сельскохозяйственных и лесохозяйственных культур. В *солончаках* водорастворимые соли в количестве более 0,6% при содовом засолении, более 1% при хлоридном и более 2% при сульфатном типе засоления аккумулярованы в поверхностных горизонтах профиля (0–30 см). Но соли могут аккумуляроваться и на некоторой глубине. *Так, в солончаковых почвах* содержатся те же соли и в том же количестве, но не с поверхности, а ниже, в пределах 1-го метра профиля, а в *солончаковатых почвах* соли присутствуют в меньших количествах в любых горизонтах почвенного профиля.

В соответствии с критериями Почвенного института им. В.В. Докучаева (авторы Н.И. Базилевич, Е.И. Панкова), почвы, в которых в пределах 2-метровой толщи выделяется солевой горизонт мощностью не менее 5 см, относятся к *засоленным*. Почвы, в которых солевые горизонты залегают глубже 2 метров, или почвы на грунтовых водах повышенной минерализации (более 3 г/л) относят к *потенциально засоленным*.

При мелиоративной оценке засоленных почв особое значение имеет характеристика почв по *типу химизма*, т.е. качественному составу солей, и *степени засоления*. Химизм и степень являются очень важными показателями засоленных почв в экологическом отношении, поскольку определяют устойчивость к засолению культур (табл. 1).

Таблица 1

**Солеустойчивость сельскохозяйственных культур
(по Д. Торн, Х. Петерсон, 1952)**

Солеустойчивость		
Хорошая	Средняя	Плохая
Плодовые культуры		
Финиковая пальма	Гранат Инжир Виноград	Груша Абрикос Персик Слива Яблоня Апельсин Лимон
Полевые культуры		
Сахарная свекла Столовая свекла Сорго Рапс Хлопчатник	Лен Томат Просо Ячмень Овес Рис Подсолнечник Морковь Тыква Лук Перец Пшеница	Вика Горох Капуста Баклажан Картофель Бобы
Кормовые культуры		
Волоснец канадский Пырей западный	Люцерна Донник белый Донник желтый Суданская трава Райграс многолетний Лядвенец рогатый Ежа сборная Канареечник Овсяница высокая Рожь, пшеница	Лисохвост луговой Клевер шведский Клевер красный Клевер белый

Химизм (тип) засоления устанавливаются по составу анионов и их соотношению, а также по составу катионов и их соотношению в водной вытяжке. В состав солей солончаков и засоленных почв

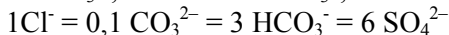
входят главным образом катионы Na^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} и анионы Cl^- , SO_4^{2-} , CO_3^{2-} , HCO_3^- . Отсюда различают по соотношению катионов натриевые, магниевые-натриевые, кальциево-натриевые и т.д. солончаки, по соотношению анионов – хлоридные, сульфатные, хлоридно-сульфатные солончаки.

Исследованиями В.А. Ковды и Н.И. Кондорской показано, что типы засоления почв имеют закономерные географические ареалы:

- ареалы содового соленакопления встречаются преимущественно в лесостепной и степной зонах;
- хлоридно-сульфатное и сульфатно-хлоридное соленакопление доминирует в пустыне и полупустыне;
- хлоридное соленакопление имеет место в приморской части Прикаспийской низменности;
- сульфатное соленакопление встречается в степной и сухостепной зонах.

В настоящее время *экологическое действие солей* принято оценивать по содержанию токсичных ионов. К *токсичным* относят ионы, способные образовывать токсичные соли. Ионы хлора, натрия, магния являются токсичными. Ионы SO_4^{2-} и HCO_3^- являются токсичными тогда, когда они образуют натриевые и магниевые соли. Гипс и карбонаты (бикарбонаты) кальция нетоксичны. Наиболее токсичной солью является сода, а почвы содового засоления наименее пригодны для возделывания культурных растений. Вредное действие солей начинается с содержания их около 0,7 г/л, но сода вредна уже в количестве 0,3 г/л.

Различные ионы обладают разной *степенью токсичности*. Для сопоставления токсичности ионов используют эквивалентную форму. В качестве эквивалента принимают токсичность иона хлора. При этом действие 1 мг-экв Cl^- по токсичности приравнивают к действию 0,1 мг-экв CO_3^{2-} ; к 3 мг-экв HCO_3^- ; к 6 мг-экв SO_4^{2-} , т.е.



(анионы, связанные с натрием и магнием)

Вредное действие хлористо-сернокислых солей начинается с содержания их около 0,1% от веса почвы. Такие почвы часто относятся к слабосолончаковым. На них произрастает пшеница, овес,

просо, люцерна и другие культуры. Эти же соли, но уже в количестве 0,3–0,5% препятствуют нормальному развитию культурных растений, а для некоторых (например, бобовых) это количество является губительным. На почвах, содержащих 0,6% солей, еще может развиваться хлопчатник и ячмень; при 0,6–0,8% – луговые травы и такие как сорго (солеустойчивое растение из зерновых). Более высокие количества солей вызывают заметное угнетение и гибель культурных растений.

Степень засоления устанавливают по содержанию солей в зависимости от химизма засоления. Степень засоления приблизительно характеризуется следующим количеством солей в солевом горизонте:

- незасоленные почвы содержат менее 0,25%;
- слабозасоленные 0,25–0,5%;
- средnezасоленные 0,5–1,0%
- сильнозасоленные 1,0–2,0%
- солончаки более 2,0%.

Эта шкала является ориентировочной и не единственной. Существуют и другие шкалы. Например, Е.В. Лобова и А.Н. Розанов характеризуют засоленные почвы по плотному остатку следующим образом:

- сильносолончаковые – плотный остаток более 0,7%;
- среднесолончаковые – 0,5–0,7%;
- слабосолончаковые – 0,25–0,5%.

В зависимости от солевого состава, гумусированности почвы, её гранулометрического состава границы между категориями засоленности сдвигаются в ту или иную сторону. Например, при наличии хлора и соды вредное действие проявляется при меньшем их содержании, нежели при сульфатном засолении.

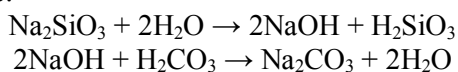
Ниже приводится краткая характеристика почв разных типов засоления.

Содообразование и почвы содового засоления.

Щелочные почвы содового засоления являются наиболее сложным объектом мелиорации. Сода не только угнетает растения, но и вызывает диспергацию почв, резкое ухудшение их физических

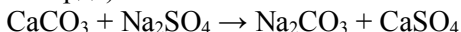
свойств. Значения рН в этих почвах выше 8,5 и обычно колеблются в интервале от 9 до 11 единиц. Чем выше степень щелочности, тем больше содержание обменного натрия в составе поглощенных катионов. Сода в почвах, породах и грунтовых водах образуется разными путями.

1. Геохимическая теория содообразования (разработана В.А. Ковдой) – сода образуется в процессе выветривания горных пород, содержащих алюмосиликаты натрия, переноса их ветром и водами поверхностного и внутрипочвенного стока. Наиболее интенсивно эти процессы протекают при наличии базальта, габбро, вулканических лав и других пород. Реакция содообразования протекает по схеме:



Первичным источником натрия в этом случае служит известково-натриевый полевой шпат (плагиоклаз), наиболее распространенный минерал земной коры (40,2%). Содообразование четко проявляется на территориях молодого вулканизма в условиях засушливого климата.

2. Сода в почвах может возникнуть в результате замещения кальция карбонатов на натрий хлоридов и сульфатов грунтовых вод (реакция Гильгарда):



3. Теория обменных реакций К.К. Гедройца – сода образуется вследствие обменных реакций в почвах, насыщенных обменным натрием, угольной кислотой или карбонатами кальция.

4. Биохимическая теория (разработана И.Н. Антиповым-Каратаевым) – сода может образоваться биохимическим путем в результате деятельности сульфатредуцирующих микроорганизмов в переувлажненной почве в анаэробных условиях. Кроме этого биохимическим путем сода может образоваться в процессе денитрификации азотистых соединений натрия.

5. Сода может накапливаться в почве в результате минерализации растений, содержащих натрий. Примером могут служить каштановые солонцеватые почвы, которые формируются под по-

лынными группировками. Полынь, как известно, характеризуется повышенным содержанием натрия, который при разложении растительности поступает в почву и вступает во взаимодействие с ППК.

6. Накопление соды в почвенном профиле возможно за счет поступления глубинных напорных вод.

7. Сода аккумулируется в почвах при орошении слабощелочными водами.

В настоящее время наибольшее признание получили три основные теории содообразования в почвах:

- Теория обменных реакций К.К. Гедройца.
- Биохимическая теория, разработанная И.Н. Антиповым-Каратаевым.
- Геохимическая теория содообразования В.А. Ковды.

Сода обычно накапливается в районах сравнительно низкого общего содержания солей, т.е. на начальных стадиях соленакопления, поэтому аккумуляцию соды можно рассматривать как начальную стадию процесса засоления почв.

Почвы сульфидного засоления.

В дельтах рек, лагунах, на приморских равнинах в тропических зонах формируются почвы, в которых под влиянием процесса глеобразования происходит образование двухвалентного железа и сероводорода. Вступая в реакцию, эти соединения образуют сульфид железа. Источником твердого седимента (осадка), обогащенного оксидом железа, являются мощные ферралитные коры выветривания. В таком аллювии оказываются погребенными органические остатки деревьев и кустарников мангровых лесов, богатые сульфидами, которые при сбраживании в анаэробных условиях образуют значительные массы сероводорода.

До тех пор, пока в почве господствуют анаэробные условия, сульфиды железа не меняют свойств почв. Но по мере продвижения дельты в море или в результате искусственного осушения происходит обсыхание территории и аэрация профиля почв. При этом происходит процесс окисления сульфидов. Продуктом реакции оказывается серная кислота, которая разрушает карбонаты и является причиной резкого падения значений рН (до 2,5–3,0). Поч-

вы теряют свое плодородие в результате экстракислой реакции корнеобитаемого слоя. Одновременно к зоне аэрации подтягивается большое количество двухвалентного железа, переходящего при контакте с воздухом в оксид трехвалентного железа. Его аккумуляция на поверхности почвы и в гумусовом горизонте еще больше усугубляет отрицательные свойства кислых сульфидных почв. Эти почвы являются недостаточно изученным объектом мелиорации. В некоторых случаях кислые почвы, обогащенные сульфидами, возникают на почвообразующих породах, содержащих большое количество серосодержащих минералов (например, на юрских глинах).

1.3. Диагностика и критерии оценки солонцеватости почв

Как отмечалось выше, среди засоленных почв выделяют солонцы и солонцеватые почвы. Эти почвы имеют глинисто-дифференцированный профиль, состоящий из надсолонцового осолоделого горизонта, солонцового оглиненного горизонта, который обладает специфическими свойствами и является диагностическим, и подсолонцовых горизонтов. Морфологически солонцовый горизонт наиболее ярко выражен в солонцах. В почвенном профиле солонцов в большинстве случаев содержатся легкорастворимые соли.

Согласно Классификации и диагностике почв России (2004), солонцы подразделяются на типы и более низкие таксономические единицы по морфологическим признакам. Солонцы относятся к отделу щелочно-глинисто-дифференцированных почв, в отделе выделяют следующие типы: солонцы темные, солонцы светлые, солонцы гидрометаморфические темные и солонцы гидрометаморфические светлые. Их классификационное деление отличается от ранее принятой почвенной классификации (Классификация и диагностика..., 1977).

Согласно Классификации и диагностике почв СССР (1977), среди солонцов выделяют три типа: солонцы автоморфные (грунтовые воды залегают ниже 6–7 м), солонцы полугидроморфные (грунтовые воды на глубине 3–6 м) и солонцы гидроморфные, формирующиеся в условиях повышенного увлажнения с преобладанием в годичном

цикле режима капиллярного насыщения влагой всего почвенного профиля. Деление солонцов на подтипы проводят в зависимости от зонально-географических условий. Выделяют солонцы черноземные, солонцы каштановые, солонцы полупустынные.

Классификационное подразделение солонцов внутри подтипов, соответствующее родовому уровню, проводят по глубине залегания, составу солей и степени засоления, а также по глубине залегания гипса и карбонатов. К карбонатным относят солонцы, вскипающие от HCl с поверхности или в солонцовом горизонте, но не глубже 40–45 см. В глубококарбонатных солонцах карбонаты залегают ниже 40–45 см. По гипсоносности выделяют высокогипсовые солонцы с присутствием гипса выше 40 см и глубокогипсовые – с присутствием гипса глубже 40 см.

Видовое деление солонцов проводят по мощности надсолонцового горизонта, доле (%) обменного натрия от суммы обменных оснований в солонцовом горизонте и по структуре солонцового горизонта.

По мощности надсолонцового горизонта выделяются солонцы:

- корковые, в которых мощность надсолонцового горизонта до 5 см;
- мелкие (5–10 см);
- средние (10–18 см);
- глубокие с мощностью надсолонцового горизонта более 18 см.

По структуре солонцового горизонта выделяют солонцы: оrehоватые, столбчатые, глыбистые.

По доле (%) обменного натрия от суммы обменных оснований в солонцовом горизонте выделяют солонцы:

- малонатриевые, в которых доля обменного натрия ниже 10%;
- средненатриевые – 10–25%;
- многонатриевые – >25%.

Солонцеватые почвы относятся к разным генетическим типам почв, как автоморфным (черноземам, каштановым, бурым пустынно-степным), так и полугидроморфным и гидроморфным. Они диагностируются по морфологической выраженности солонцового горизонта и химической солонцеватости (доле обменного натрия от суммы обменных оснований) (табл. 2).

Т а б л и ц а 2

Разделение почв по степени солонцеватости – доле (%) обменного натрия от суммы обменных оснований

Степень солонцеватости почв	По классификации и диагностике почв СССР (1977)		По Егорову, Мишаниной (1976)	По В.А. Ковде (1968)	
	Высокогумусные почвы (черноземы)	Малогумусные почвы (каштановые, бурые и др.)		Зона черноземов	Зона каштановых и бурых почв
Несолонцеватые	<5	<3	<5	–	–
Слабосолонцеватые	5–10	3–5	5–10	<10	<5
Среднесолонцеватые	10–15	5–10	10–25	10–15	5–10
Сильносолонцеватые	15–20	10–15	>25	15–30	10–15

При этом морфологическая выраженность солонцового горизонта проявляется слабее, чем в солонцах.

Порог для отнесения почв к категории солонцеватых (5 и 3% суммы обменных катионов) был предложен И.Н. Антиповым-Каратаевым в 1953 г. В настоящее время получены материалы, свидетельствующие о том, что пороги солонцеватости для почв разного гранулометрического и минералогического составов, характеризующихся различной емкостью катионного обмена, могут существенно различаться. Об этом можно получить представление по ориентировочному составу обменных оснований для несолонцеватых почв, приведенному в табл. 3.

При высокой емкости катионного обмена, свойственной черноземам, доля обменного натрия, превышающая 2–3%, может вызвать осолонцевание почв, в то время как для каштановых почв порог солонцеватости выше – 3–5% суммы обменных оснований (Экологические требования..., 1996).

Таким образом, классификация солонцов и солонцеватых почв по Классификации 1977 г. основана как на морфологических, так и на химических показателях свойств почв. Морфологические и химические свойства при диагностике этих почв учитываются и в классификациях других стран.

Т а б л и ц а 3

Ориентировочный состав обменных оснований в зональных (несолонцеватых) почвах (по: Экологические требования, 1996)

Почвы	Состав обменных оснований			Сумма обменных оснований ммоль экв/100 г почвы
	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	
Сероземы на лессовидных суглинках	60–80	10–35	4–10	7–11
Каштановые на суглинках	68–75	20–30	3–5	20–22
Черноземы на суглинках	75–80	15–20	2–3	35–45

В Толковом словаре по почвоведению (Лозе, Матъе, 1998) солонец характеризуется как натриевая лессивированная почва с профилем типа ABC, формирующаяся путем лессиважа глин, насыщенных натрием.

В американской классификации (Soil taxonomy..., 1975) предложены следующие критерии для выделения солонцового (natric) горизонта: минимальная мощность – 15 см, возрастание доли глинистой фракции по сравнению с вышележащим горизонтом, столбчато-глыбистая структура, наличие оптически ориентированных глин на структурных отдельностях. Наряду с морфологическими признаками учитываются и химические свойства: доля (%) обменного натрия от емкости катионного обмена (ESP) должна быть равной или превышать 15%; соотношение обменных катионов должно соответствовать выражению $(Mg^{2+} + Na^{+}) > (Ca^{2+} + H^{+})$; рН насыщенной водой почвенной пасты $> 8,5$. Удельная электропроводность фильтрата из насыщенной водой почвенной пасты (ЕС) может быть как больше, так и меньше 4 дСм/м. В первом случае почвы будут оцениваться как солонцовые засоленные, а во втором – как солонцовые незасоленные.

В «Soil survey...» (1979) отмечается, что доля (%) обменного натрия (ESP) более 15% емкости катионного обмена (при количестве обменного натрия более 3 ммоль-экв/100 г почвы) обуславливает неблагоприятные физические свойства почв. Особенно отчетливо это проявляется в почвах тяжелого гранулометрического состава, при высокой емкости катионного обмена и монтмориллонитовом составе глинистых минералов.

В качестве альтернативы доле обменного натрия для горизонта натрик в «Soil taxonomy...» (1999) рассматривается показатель адсорбируемости натрия (SAR - sodium adsorption ratio), равный или превышающий 13. Этот показатель оценивают по результатам анализа фильтратов из насыщенных водой почвенных паст:

$$SAR = \frac{cNa}{\sqrt{(cCa + cMg)/2}}$$

где cNa , cCa , cMg – концентрации натрия, кальция и магния в фильтратах из водонасыщенных почвенных паст (ммоль экв/л). Между величиной SAR и ESP существует зависимость, что позволяет по величине SAR оценивать степень солонцеватости почв.

В заключение следует еще раз подчеркнуть, что среди засоленных почв необходимо выделять засоленно-солонцовые почвы, для которых характерно наличие в профиле почв как солонцового, так и солевых горизонтов. Эти почвы наряду с засолением обладают специфическими физико-химическими и мелиоративными свойствами.

Солонцы и солонцеватые почвы широко распространены на территории России и должны выделяться в качестве особой категории засоленных почв.

1.4. Критерии оценки почв по гипсоносности

Гипс часто присутствует в засоленных почвах, он характеризуется относительно низкой растворимостью по сравнению с легкорастворимыми солями (табл. 4).

Согласно «Классификации и диагностике почв СССР» (1977), почвы разделяются по наличию интенсивно загипсованных (более 10% $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) горизонтов, залегающих глубже 20 см от поверхности. При этом разделение почв проводится по глубине верхней границы гипсового (интенсивно загипсованного) горизонта, содержанию гипса, мощности гипсового горизонта и строению гипсовых новообразований (табл. 5).

Т а б л и ц а 4

**Растворимость солей в воде при 20°C, безводного вещества в 100 г воды
(по Справочнику химика, 1964)**

Соль	Растворимость	Соль	Растворимость
$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	128,8	$\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	74,5
$\text{Mg}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	73,3	$\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	54,8
NaNO_3	87,6	NaCl	35,9
KNO_3	31,6	KCl	34,4
$\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$	21,8	$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	0,206
$\text{K}_2\text{CO}_3 \cdot 1,5\text{H}_2\text{O}$	111,0	$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	35,1
NaHCO_3	9,6	$\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$	19,2
KHCO_3	33,3	K_2SO_4	11,1

В том случае, если гипсовый горизонт содержит 40% или более $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ и при этом располагается не глубже 20 см от поверхности, почвы выделяются в особую группу гипсовых почв (Классификация и диагностика..., 1977).

К настоящему времени гипсоносные почвы достаточно хорошо изучены. Имеется большое количество публикаций, посвященных диагностике, генезису и мелиорации гипсоносных почв (Минашина, Игнатова, 1971; Минашина, 1975, 1979, 1988; Минашина, Егоров, 1975; Молодцов, 1982; Панкова, Мазиков, 1985; Панкова, Ямнова, 1987; Панкова и др., 1996; Минашина, Шишов, 2002 и др.). Опубликованные материалы свидетельствуют о том, что гипсоносные почвы очень разнообразны по свойствам, и связано это, главным образом, с особенностями гипсового горизонта – глубиной расположения, количеством гипса и строением.

Содержание гипса в почвах изменяется в широких пределах – от следовых количеств до 25–50%, а иногда и до 80–90%. В зависимости от содержания, форм гипсовых новообразований и распределения в почвенном профиле гипс может оказывать как положительное, так и отрицательное действие на свойства почв и состояние растений.

Т а б л и ц а 5

**Показатели и критерии оценки гипсовых горизонтов
(по Классификации и диагностике..., 1977)**

Показатели	Критерии оценки
Глубина верхней границы гипсового горизонта, см	Высокозагипсованные 20–60 Неглубокозагипсованные 60–100 Глубокозагипсованные 100–200 Глубинно–загипсованные > 200
Содержание гипса ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), %	Среднезагипсованные 10–20 Сильнозагипсованные 20–40 Очень сильнозагипсованные > 40
Мощность гипсового горизонта, см	Маломощные < 40 Среднемощные 40–100 Мощные > 100
Строение гипсовых новообразований, мм	Микрокристаллические 0,1 Мелкокристаллические 0,1–1,0 Среднекристаллические 1,0–10 Крупнокристаллические 10–100
Сложение гипсовых образований	Рыхлые Фрагментарно-плотные Плотные Шестоватые Очаговые Монолитные

Небольшое, до 10%, содержание гипса оказывает положительное влияние на свойства почв. Это обусловлено тем, что гипс обеспечивает благоприятное соотношение ионов в почвенном растворе и почвенном поглощающем комплексе, исключает процессы осолонцевания, а также оказывает положительное влияние на физические свойства засоленных почв. В то же время высокое со-

держание гипса, особенно в сочетании с легкорастворимыми солями, ухудшает почвенно-мелиоративные свойства почв.

Отрицательный эффект, связанный с гипсоносностью, может проявляться через водно-физические, агрофизические, агрохимические и мелиоративные свойства почв, такие как солеотдача и промываемость, особенно в том случае, если гипсовый горизонт приурочен к корнеобитаемому слою.

Водно-физические и агрофизические свойства гипсоносных почв зависят от формы гипсовых новообразований и количества гипса. Гипсоносные почвы могут характеризоваться низкими фильтрационными свойствами, что связано с закупоркой пор гипсовыми пробками (гипсовый тромбоз) (Лим и др., 1975). Такие почвы обычно содержат мелко- и среднекристаллический гипс, причем содержание его может быть относительно невысоким (до 20%), но при этом закупорка пор затрудняет передвижение влаги сверху вниз и снизу вверх. Создается гипсовый экран, ухудшающий водно-физические (фильтрационные) свойства почв. Обычно этот горизонт характеризуется высокой плотностью (1,6 г/см³ и более), что ухудшает не только фильтрационные свойства почв, но и препятствует проникновению корней вглубь профиля (в том случае, если плотный гипсовый горизонт лежит в пределах корнеобитаемого слоя). Гипсоносные почвы с плотным гипсовым горизонтом нуждаются в специальном комплексе мелиоративных мероприятий по освоению и эксплуатации: необходимо рыхление плотного гипсового горизонта, применение специальных агротехнических приемов, соблюдение особого режима орошения (частые поливы малыми нормами, рассчитанными на надгипсовый горизонт) и особые агрохимические приемы внесения удобрений (Васильев и др., 1975; Молодцов, 1982).

В отличие от рассмотренных выше почв (с плотным гипсовым горизонтом) почвы с рыхлым гипсовым горизонтом характеризуются высокой (провальной) фильтрацией. Одной из главных проблем при использовании этих почв в сельском хозяйстве является обеспечение растений влагой и борьба с суффозией. Но, как правило, эти проблемы возникают при высоком (более 20%) содержании гипса и особен-

но резко проявляются при залегании гипсового горизонта в верхнем полуметровом слое (Исаев, 1983; Минашина, 1979; и др.).

Агрохимические свойства гипсоносных почв обладают рядом специфических особенностей. Эти почвы часто испытывают недостаток фосфора и других питательных элементов (Церлинг и др., 1970). Гипсовый горизонт, при содержании гипса более 30%, обладает крайне низкой емкостью катионного обмена (4–6 ммоль (+) / 100 г почвы) и не способен удерживать питательные элементы.

Почвы с таким гипсовым горизонтом требуют особых агрохимических приемов (частое внесение удобрений малыми нормами).

Мелиоративные свойства гипсоносных почв определяются рассмотренными выше особенностями. Кроме того, гипсоносные почвы часто содержат легкорастворимые соли. При высоком содержании гипса и сильном засолении характеризуются плохой промываемостью и низкой солеотдачей. Это может быть связано с тем, что легкорастворимые соли включены в кристаллы гипса (Минашина, Игнатова, 1971). Учитывая низкую растворимость гипса, отмыть в этом случае легкорастворимые соли практически невозможно; кроме того, в гипсоносных засоленных почвах часто присутствует двойная соль – глауберит ($\text{CaSO}_4 \cdot \text{Na}_2\text{SO}_4$), которая усложняет промывку таких засоленных почв.

Более подробная характеристика гипсоносных почв содержится в «Рекомендациях по мелиоративной оценке, освоению и использованию гипсоносных почв» (1979, 1988, составитель Н.Г. Минашина) и работе Н.Г. Минашиной и Л.Л. Шишова (2002). Н.Г. Минашина и Л.Л. Шишов (2002) по совокупности свойств выделяют коровые, гажевые, зернистые, сегрегационные, арзыковые и шестоватые гипсовые горизонты.

Согласно материалам, приведенным в «Soil Survey...» (1979), предлагается учитывать следующие свойства гипсоносных почв:

- небольшое количество гипса (до 2% от массы почвы) благоприятно для роста растений;
- мучнистый гипс при содержании 2–25% может оказывать слабое вредное, либо вовсе не оказывать вредного действия на почвы и растения;

– при содержании гипса, превышающем 25%, гипс может быть причиной существенного уменьшения урожая (Van Alphen, 1971, цит. по: Soil Survey ..., 1979).

Таким образом, сведения о гипсоносности, приводимые в работах почвоведов русской и американской школ, достаточно близки и свидетельствуют о необходимости учитывать гипсоносность при характеристике засоленных почв.

Обобщение имеющихся литературных материалов и исследования гипсоносных почв позволили Е.И. Панковой, Л.А. Воробьевой (2006) уточнить некоторые понятия, касающиеся определения и критериев оценки гипсоносных почв. Авторы предлагают к гипсоносным относить почвы, в профиле которых присутствует морфологически выраженный гипс ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) в количестве 1–2% и более. Гипсовый горизонт – это горизонт максимального скопления гипса в профиле почв.

Гипсоносные почвы характеризуются показателями, приведенными в табл. 5; но критерии оценки по ряду показателей изменены (Панкова и др., 1996). Так, по содержанию гипса предлагается выделять дополнительно слабогипсоносные почвы, содержащие до 10% $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (см. табл. 5). По глубине верхней границы появления гипса в профиле почв предлагается выделять поверхностно-гипсоносные (граница в слое 0–20 см); высокопрофильно-гипсоносные (20–50 см); среднепрофильно-гипсоносные (50–100 см) и далее по табл. 5.

По свойствам гипсовых горизонтов и новообразований Е.И. Панкова и Л.А. Воробьева (2006) предлагают выделять: 1) гипсовый горизонт, представленный мучнистым гипсом, карбонатами кальция и легкорастворимыми солями; 2) гипсовый горизонт, включающий конкреции типа «пшена» или «рисовых зерен», состоящий из мелких кристаллов гипса; 3) плотный гипсовый горизонт, включающий скопления мелких и средних кристаллов гипса по порам и ходам корней; 4) гипсовый «псевдопесчаный» горизонт со среднекристаллическим гипсом; 5) гипсовый горизонт, включающий шестоватые гипсовые новообразования, состоящие из мелкокристаллического гипса; 6) гипсовый горизонт,

включающий крупнокристаллические гипсовые новообразования в виде стекловидных гипсовых «роз» и пластин.

В заключение следует указать, что диагностика гипсоносных почв и критерии их оценки требуют дополнительных проработок.

1.5. Критерии оценки карбонатности почв

При характеристике засоленных почв обязательно оценивают их карбонатность, используя в качестве показателей верхнюю границу вскипания от 10%-ного раствора HCl, свойства горизонта максимального скопления карбонатов и др. Карбонаты могут равномерно пропитывать почвенную массу либо аккумулироваться в карбонатном горизонте почвенного профиля в виде пятен, мягких или плотных конкреций или прослоев.

В «Классификации и диагностике почв СССР» (1977) приведены показатели и критерии оценки почв по свойствам сильноокарбонатных горизонтов, содержащих более 30% CaCO₃ (табл. 6). Однако и при содержании карбоната кальция менее 30% он может оказывать существенное влияние на физические и химические свойства почв и их плодородие. Это должно учитываться при характеристике карбонатности почв.

Т а б л и ц а 6

Разделение почв по наличию в профиле почв и подстилающих породах окарбонатных (более 30% CaCO₃) горизонтов (по Классификации и диагностике..., 1977)

Показатели	Критерии оценки
Глубина верхней границы сильноокарбонатного слоя, см	Высокоокарбонатные 30–60 Неглубокоокарбонатные 60–100 Глубокоокарбонатные 100–200 Глубинноокарбонатные > 200
Мощность сильноокарбонатного слоя, см	Маломощные < 40 Среднемощные 40–100 Мощные > 100
Сложение сильноокарбонатного слоя	Рыхлые Фрагментарно-плотные Монолитно-плотные

При содержании до 10–15% CaCO_3 положительно влияет на свойства почв: способствует образованию стабильных крупнопористых агрегатов, улучшает водно-физические свойства. При увеличении содержания CaCO_3 до 25% карбонаты могут осаждаться в крупных порах, снижая водопроницаемость почв. При содержании карбонатов свыше 25% они могут отрицательно воздействовать на свойства почв, вызывая их уплотнение (плотность почв может превышать $1,6 \text{ г/см}^3$). При высыхании орошаемых карбонатных почв образуется плотная корка. Карбонатные горизонты могут оставаться достаточно проницаемыми для воды, но препятствовать росту корней. На высококарбонатных почвах растения могут испытывать недостаток фосфора, железа, микроэлементов. Чем мельче кристаллы карбонатов, тем активнее они воздействуют на почвы. Наиболее активна фракция карбонатов $\leq 0,02 \text{ мм}$ (Soil survey..., 1979).

П.А. Керзумом (1974) была проведена оценка влияния карбонатов на плодородие почв Таджикистана. Он отмечал, что при содержании карбонатов менее 25% (даже с поверхности) отрицательного воздействия на плодородие почв не наблюдается. При содержании карбонатов 25–40% в слое 0–50 см урожай может понизиться на 25%, если это же количество карбонатов обнаруживается в слое 50–100 см, урожай снижается на 10%.

Опираясь на приведенные выше и другие публикации, предлагается группировать почвы по содержанию CaCO_3 в горизонте, расположенном в пределах корнеобитаемого слоя (табл. 7).

Т а б л и ц а 7

Группировка почв по степени карбонатности

Степень карбонатности почв	Содержание щелочноземельных карбонатов, %
Слабокарбонатные	≤ 2
Карбонатные	2–15
Среднекарбонатные	15–25
Сильнокарбонатные	25–50
Очень сильнокарбонатные	> 50

Выделение особой группы слабокарбонатных почв, содержащих до 2% карбонатов, целесообразно в связи с тем, что эти почвы по своим физико-химическим свойствам резко отличаются от некарбонатных почв, не вскипающих от 10%-ной HCl.

1.6. Вторичное засоление при орошении

1.6.1. Солевой баланс почв на орошаемом массиве

Солевой баланс почв – это изменение запаса солей на определенной территории за определенный период времени. Чтобы рассчитать солевой баланс, необходимо знать:

- исходный запас солей;
- приход и расход их за данный промежуток времени;
- запас солей в грунтовых водах.

Различают *солевые балансы разных временных периодов*:

- вековой баланс, связанный с геологическими изменениями;
- периодический, характеризующий 11–25-летние отрезки времени, определяемые солнечной активностью;
- годичный баланс, образующий годовой гидрологический цикл;
- межполивной баланс, охватывающий короткий отрезок времени между поливами.

Рассмотрим приходные и расходные статьи солевого баланса. *Приходные статьи солевого баланса* – это поступление с грунтовыми водами, поливными водами, атмосферными осадками, с продуктами минерализации растительных и животных организмов, с поверхностным стоком, удобрениями. *Расходные статьи солевого баланса* – это отток солей в грунтовые воды, вынос солей с промывными и поливными водами, вынос солей с урожаем, удаление солей поверхностным стоком, выдувание солей ветром.

В.А. Ковда предложил следующее *уравнение солевого баланса*, которое учитывает основные приходные и расходные статьи:

$$S = S_z + (S'_{гр} - S_{гр}) + S_{ир} - S_{ур},$$

где S – запас солей в конце периода наблюдений; S_z – суммарный запас солей в начале периода; $S'_{гр}$ – приток от грунтовых вод; $S_{гр}$ –

вынос в грунтовые воды; $S_{\text{ир}}$ – приток с ирригационными водами; $S_{\text{ур}}$ – вынос с урожаем.

Солевой баланс почвенного покрова тесно связан с водным режимом орошаемой территории и особенно с режимом грунтовых вод.

Взаимоотношение водного и солевого баланса можно выразить следующим уравнением:

$$I \times C = Q \times C_1,$$

где I – все виды прихода грунтовых вод; C – концентрация растворов, питающих грунтовые воды; Q – все виды расхода грунтовых вод на отток; C_1 – концентрация растворов, уходящих с естественным или искусственным оттоком грунтовых вод.

Худшим сочетанием условий будет случай, когда $I \times C > Q \times C_1$, в этих условиях соленакопление в грунтовых водах растет.

Благоприятное мелиоративное состояние орошаемого массива наблюдается при условии, когда $I \times C < Q \times C_1$, т.е. когда запас солей в грунтовых водах уменьшается.

И.П. Герасимов и Е.Н. Иванова выделяют следующие *типы солевых балансов*:

1. Первый – аридный со сточным и бессточным подтипами,
2. Второй – экстрааридный бессточный,
3. Третий – гумидный сточный.

В.А. Ковда предложил различать:

- стабильный солевой баланс;
- солевой баланс засоления;
- солевой баланс рассоления.

Таким образом, экстрааридный тип И.П. Герасимова и Е.Н. Ивановой будет солевым балансом засоления, а гумидный тип будет солевым балансом рассоления.

Солевой баланс можно определить для различных территорий, например, для отдельного орошаемого поля, для ирригационной системы, для крупной естественноисторической области (например, для Барабинской низменности) и т.д.

Внутри крупного массива может происходить перераспределение солей с одной его части в другую. Солевые балансы массива в целом и отдельных его частей могут быть различными. Например,

массив в целом характеризуется стабильным солевым балансом, а отдельные участки могут иметь баланс засоления и рассоления.

Различают первичное и вторичное засоление.

Первичным засолением называют естественное накопление в почве солей вследствие испарения грунтовых вод, солёности материнских пород или в результате воздействия эоловых, биогенных и других факторов.

Вторичное засоление – накопление солей в почве, возникающее в результате искусственного изменения водного режима, например, при неправильном орошении.

1.6.2. Причины вторичного засоления почв

Чаще всего вторичное засоление обусловлено неправильным орошением. Другими причинами являются следующие:

- нерациональный выпас скота, перегрузка пастбищ;
- вырубка лесов;
- осушение избыточно увлажнённых почв.

По данным ЮНЕСКО, во всем мире не менее 40–50% площади орошаемых земель в аридной зоне подвержено вторичному засолению и осолонцеванию. Эти земли дают низкий урожай или вообще выпадают из сельскохозяйственного использования.

Наиболее интенсивно вторичное засоление развивается на массивах с недостаточной дренированностью, приуроченных к дельтам, пойменным террасам, приозерным низменностям. В меньшей степени вторичное засоление проявляется в тех случаях, когда почвы подстилаются хорошо фильтрующими породами (песками, песчано-галечниковым аллювием).

Согласно В.А. Ковды (1968), *вторичное засоление на орошаемой территории* происходит в 3 стадии:

1. Первая – засоление почв вдоль новых оросительных каналов.
2. Вторая – общее засоление орошаемой территории.
3. Третья – рассоление староорошаемой территории и засоление прилегающих пространств.

На первой стадии происходит усиленная фильтрация из вновь построенных каналов и повышение уровня грунтовых вод в зоне влияния канала, вдоль которого образуется зона вторичного засоления почв.

На второй стадии развивается общее засоление почв орошаемой территории. Эта стадия протекает в несколько этапов:

- 1) первый – сезонное пятнистое засоление,
- 2) второй – постоянное пятнистое засоление,
- 3) третий – сплошное засоление.

Сезонное пятнистое засоление возникает местами на участках, лишенных растительности, не поливаемых или поливаемых в меньшей степени. Засоление возникает в период интенсивного испарения (вторая половина лета). В осенне-зимний период засолившиеся пятна рассоляются.

В дальнейшем засоленные пятна накапливают больше солей и не успевают рассолиться в период выпадения осадков – пятна сохраняются в течение всего года – наступает *постоянное пятнистое засоление*. В пятнах содержится до 1,5% солей.

Постепенно засоленные пятна увеличиваются в размерах, сливаются, образуя *сплошное засоление* орошаемой территории.

Третья стадия – стадия рассоления староорошаемых территорий наступает при определенных геологических и гидрологических условиях на орошаемом массиве. Рассоление протекает в том же порядке, в каком происходило засоление: вначале опресняются территории вдоль каналов, затем происходит рассоление всей орошаемой территории.

Соли орошаемой территории вытесняются на её периферию и далее за пределы орошаемых земель на неорошаемые участки. Чем старше орошаемый массив, тем более выражен процесс рассоления центральной его части и засоление периферии и прилегающих неорошаемых земель.

Вторичное засоление часто связано с подъемом грунтовых вод. Если зеркало грунтовых вод поднимается до такой степени, что капиллярный подъем достигает поверхности, то будет происходить вторичное засоление поверхностного слоя. Если водоподъем-

ная способность почвы недостаточна для того, чтобы капиллярная влага дошла до поверхности, то она испаряется внутри почвы, и соли откладываются в толще почвы, образуется подповерхностный солончак.

Для оценки вторичного засоления введено понятие о *критическом уровне грунтовых вод* (по Б.Б. Польшову, 1932). *Критической* называют глубину залегания грунтовых вод, при которой начинается засоление поверхностных корнеобитаемых горизонтов, происходит соленакопление, приводящее к гибели растений.

В почвах разного гранулометрического состава, при разной степени минерализации грунтовых вод и в различных климатических условиях абсолютные значения критической глубины залегания грунтовых вод различны. Критическую глубину залегания грунтовых вод можно определить по формуле:

$$h_{кр} = h_{max} + a,$$

где h_{max} – наибольшая высота капиллярного подъема в исследуемых почвах; a – глубина распространения основной массы корней с/х-ых растений.

Критическая глубина грунтовых вод колеблется в интервале от 1,5 м в легких почвах до 3,5 м в тяжелых. Чем выше минерализация, тем с большей глубины грунтовые воды могут вызвать засоление почв. По данным В.А. Ковды, при минерализации 10–15 г/л в условиях аридных зон Азии, Африки, Европы критическая глубина грунтовых вод равна 2–2,5 метра. При орошении необходимо поддерживать уровни грунтовых вод на глубине ниже критической, т.е. глубже 2–2,5 м.

Критический уровень грунтовых вод зависит от многих факторов. В первую очередь он определяется водоподъемной способностью почвы, метеорологическими условиями, химическим составом грунтовых вод, агротехническими и мелиоративными приемами.

О глубине грунтовых вод можно судить по характеру растительности:

– солерос и рогоз свидетельствуют о почти поверхностном расположении грунтовых вод. Рогоз является показателем пресных вод, солерос – засоленных;

– тростник, ситник, ива произрастают при неглубоком залегании грунтовых вод (до 3 м);

– верблюжья колючка, тамарикс, черный саксаул являются индикаторами глубоких грунтовых вод (более 5 м).

Вторичное засоление может быть вызвано не только поднятием грунтовых вод, но и неблагоприятным составом поливных вод. Рассмотрим поливную воду с точки зрения возможного фактора вторичного засоления.

Поливные воды часто содержат некоторое количество солей и при высокой минерализации могут быть причиной вторичного засоления. В каком случае допустимо орошение минерализованными водами? Это возможно только на легких песчаных почвах с зимними промывками атмосферными осадками на фоне хорошего дренажа. Наиболее благоприятным для почв является орошение водами, содержащими не более 0,2 г/л солей.

Орошение почв водой повышенной минерализации осуществляется на фоне промывных поливов со значительными поливными нормами. Поливные нормы должны быть на 20–30% больше, чем необходимо по расчетам для оптимального увлажнения почвы (верхний предел оптимального увлажнения почвы при поливах равен предельно-полевой влагоемкости (ППВ)). При этом избыток воды растворяет те соли, которые остались от предыдущего полива, и переносит их в грунтовые или дренажные воды, с которыми они удаляются за пределы территории орошения. При этом условии засоленность почв расти не будет.

Необходимо подчеркнуть, что стабильное ведение земледелия на орошаемом массиве возможно при засолении корнеобитаемого слоя не выше 0,2–0,3% и опреснении грунтовых вод до концентрации 2–3 г/л (или снижении их уровня до 3–4 м и более). В этом случае орошаемые почвы могут быть гарантированы от реставрации засоленности.

Еще одной причиной, определяющей интенсивность вторичного засоления орошаемых территорий, является рельеф. Бугорки, микроповышения на орошаемом участке засоляются в большей степени, чем понижения. Это объясняется тем, что бугры раньше

освобождаются от воды, чем понижения. Они подсасывают воду из понижений и вместе с водой обогащаются солями. Отсюда следует, что поле плохо спланированное, засоляется в большей степени, чем хорошо спланированное. Поэтому перед орошением необходимо проводить тщательные планировочные работы.

Кроме этого, в большей степени будут засоляться территории, не покрытые растительностью, т.к. здесь корни растений не перехватывают воду, растения не затеняют поверхность почвы, и испарение ею достигает максимума.

С целью предупреждения вторичного засоления на орошаемых землях, для удаления избытка влаги и солей, для поддержания грунтовых вод на уровне, исключающем вторичное засоление, необходим дренаж.

1.6.3. Дренаж орошаемых почв

Дренажная сеть на орошаемом массиве обеспечивает возможность стабильной и эффективной эксплуатации мелиорированных земель. На орошаемом массиве устраивают коллекторно-дренажную сеть.

Коллекторно-дренажная сеть – это специальный комплекс гидротехнических сооружений, состоящий из дрен, коллекторов и насосных станций, обеспечивающих сбор и отвод с орошаемых массивов избыточных грунтовых вод.

Дренаж может быть различным в зависимости от условий водного питания, засоления, рельефа и других факторов. По расположению на местности он может быть:

1) *систематическим* – в этом случае дрены расположены равномерно на всей мелиорируемой территории;

2) *выборочным* – при этом дрены приурочены к отдельным участкам с неблагоприятным мелиоративным состоянием (т.е. к участкам с близким уровнем грунтовых вод);

3) *линейным* – дрены расположены по фронту питания грунтовых вод.

По своему устройству дренаж может быть *горизонтальным* и *вертикальным*, иногда применяют одновременно оба вида. В этом случае дренаж является *комбинированным*.

Горизонтальный дренаж представляет собой совокупность горизонтальных дрен и коллекторов с гидротехническими сооружениями, предназначенными для дренирования орошаемой территории. Дрены принимают и отводят грунтовые воды непосредственно с мелиорируемой территории, а коллекторы транспортируют дренажные воды в водоприемник. Насосные станции применяют в том случае, когда невозможен самотечный отвод дренажных вод и необходим водоподъем. Коллекторную сеть располагают по наиболее пониженным элементам рельефа.

Наряду с горизонтальным дренажом используется *вертикальный дренаж*. Он обеспечивает понижение уровня грунтовых вод путем их механической откачки из скважин. Система вертикального дренажа представляет собой сложное сооружение, состоящее из водозабора с гидротехническим оборудованием и наземного комплекса.

Водозабор – это система глубоких скважин, оборудованных фильтрами.

В состав *наземного комплекса* входят:

- энергетическое хозяйство (высоковольтная линия электропередач, трансформаторная подстанция, низковольтная линия, пусковая аппаратура, электрооборудование),
- средства автоматики, телемеханики и связи,
- водоприемные сооружения и водоотводящая сеть,
- эксплуатационные дороги.

Вертикальный дренаж впервые был применен в 1919-1920 годах в США для дренажа орошаемых земель штата Аризона. Там была построена система вертикального дренажа из 159 скважин, которая обслуживала 21 тыс. гектаров.

Вертикальный дренаж имеет следующие достоинства:

1. Он позволяет активно регулировать уровень грунтовых вод.
2. Занимает небольшую площадь.
3. Не препятствует механизации сельскохозяйственных работ.

4. Позволяет использовать неминерализованные грунтовые воды для орошения.

Наряду с достоинствами имеются и недостатки:

1. Высокие эксплуатационные затраты.
2. Потребность в электроэнергии и качественных фильтрах.

В последние десятилетия (начиная с конца XX в.) в научной литературе появляются работы, свидетельствующие о том, что оценка эффективности рассоляющего действия дренажа на орошаемых землях *не отражает действительного положения дел*. Таковы, например, работы С.Ф. Аверьянова (1972), Е.И. Панковой и И.П. Айдарова (1995). Авторы рассчитали, что горизонтальный и особенно вертикальный дренаж отводит из расчетного 2–2,5 м слоя не более 20–40% от общего количества солей, остальной объем солей поступает в дренаж из глубоких горизонтов. Таким образом, дренаж способствует вовлечению в активную геохимическую миграцию громадного количества солей со всеми вытекающими отсюда последствиями для окружающей среды.

Многие работы по проблемам мелиорации показывают невозможность на данном этапе надёжно управлять солевым режимом орошаемых земель и эффективно бороться со вторичным засолением в гидроморфных условиях. Свести к минимуму угрозу вторичного засоления позволит предупреждение уровня грунтовых вод и сохранение автоморфного режима на орошаемых землях. Дренаж можно использовать только в том случае, если решена проблема утилизации дренажного стока.

1.7. Приемы мелиорации засоленных почв

1.7.1. Методы и способы удаления солей из почвы

Мелиорация солончаков и солончаковых почв сводится к их рассолению и созданию оптимальных условий водно-солевого баланса. Для рассоления или уменьшения засоленности применяют следующие *методы*:

1. *Биологический* – заключается в понижении уровня грунтовых вод за счет усиленной транспирации и путем извлечения солей растениями, а также в улучшении ими физических свойств почвы.

2. *Механический* – рассоление достигается путем сгребания и удаления солей. Этот метод малоэффективен и применяется в комплексе с другими методами.

3. *Физико-химический метод* – предполагает рассоление путем изменения физических и химических свойств почв. Соли растворяются и удаляются из почвы с водой в результате промывки. Но соли в почве не являются механической примесью, поэтому их трудно полностью удалить из почвы. Прежде всего, их растворяют, а затем в виде раствора вытесняют из почвы.

В мелиоративной практике применяют следующие *способы удаления солей из почвы*.

1. *Механическое удаление солей*. Этот способ заключается в сгребании солевой корки и удалении солей за пределы мелиорируемого участка. Для этого используются специальные тракторные скрепки. Применяется способ на солончаках и сильнозасоленных почвах при подготовке участка к промывке, так как это способствует сокращению расхода промывных вод на рассоление и ускоряет процесс отмывки.

2. *Запашка солей*. Этот способ заключается в глубоком перепахивании поля. В результате соли, находящиеся в поверхностном слое, перемешиваются с более нижними слоями и равномерно распределяются в пахотном горизонте. Этот способ применим при наличии солей небольшой концентрации лишь в поверхностном горизонте и отсутствии их в нижележащих слоях. Концентрация солей в пахотном слое после запашки не должна превышать допустимую для растений, а гумусовый горизонт должен быть достаточно мощным.

3. *Поверхностная промывка*. Этот способ применяют для удаления солей из корнеобитаемых горизонтов тяжелых почв с низкой водопроницаемостью, высокой влагоемкостью, высоким содержанием солей в поверхностном слое и низким содержанием в нижних горизонтах. При этом, удаление солей из верхних горизон-

тов происходит путем декантации, т.е. путем систематического растворения солей в промывных водах и их сброса. Повторная декантация новыми порциями воды осуществляется за один прием 2–3 раза (т.е. вода стоит некоторое время, происходит растворение солей, затем вода с растворившимися солями удаляется с поля, и так 2–3 раза). Для поверхностной промывки расходуется большое количество воды – 20 000–30 000 м³/га. Иногда поверхностную промывку сочетают с разведением рыбы на орошаемом массиве или с рисосеянием. В этих случаях участок заливается водой на длительное время. Поверхностная промывка сочетается с некоторым вмыванием солей.

4. *Вмывание солей.* При этом способе соли вмываются в нижние горизонты почвы, не доходя до грунтовых вод. Этот способ заключается в том, что поле заливается водой, которая растворяет соли и вмывает их на глубину промачивания. Но в дальнейшем происходит испарение воды, и соли вновь подтягиваются к поверхности. Метод вмывания применяют на слабозасоленных почвах с достаточно глубоким залеганием грунтовых вод. Вмывание солей применяют при такой концентрации солей, которую выдерживают взрослые растения, но соли угнетающе действуют на молодые проростки. В этом случае вмывание является в то же время предпосевным или предпосадочным поливом.

5. *Биологическая мелиорация солончаков.* Заключается в том, что на мелиорируемой территории дают возможность развиваться растениям-галофитам. Галофиты способны поглощать до 20–50% солей от веса собственной сухой массы. Наземная масса этих растений скашивается и удаляется с участка, а вместе с ней удаляются и те соли, которые растения извлекли из почвы.

Кроме прямого выноса солей из верхнего слоя почвы, произрастающие растения благоприятно сказываются и в других отношениях. В частности они выполняют следующие функции:

- затеняют почву и уменьшают испарение с ее поверхности;
- перехватывают корнями влагу, что способствует уменьшению притока солей к поверхности;
- корневые остатки обогащают почву органическим веществом и улучшают её структуру.

Способ биологической мелиорации оказывается более эффективным при использовании его на слабозасоленных почвах, где возделывают ценные луговые травы: пырей, донник, люцерна, полевицу, солончаковатый ячмень.

1.7.2. Сквозная промывка почв

Промывка – один из способов коренного улучшения почв путем пропускания пресной воды через верхние засоленные слои для растворения и выноса из них избытка вредных водорастворимых солей. Промывка засоленных почв в большинстве случаев требует дренажа для отвода растворов солей и для опреснения и понижения уровня грунтовых вод.

Перед промывкой необходимо проводить следующие мероприятия:

- 1) тщательную планировку поверхности;
- 2) глубокую уравнительную вспашку, разрушающую трещины и ходы землероев;
- 3) прикатывание выровненного поля для обеспечения равномерности промывки.

Такая подготовка сокращает расход воды.

Сквозной промывкой называется промывка водорастворимых солей из всей толщи горизонтов почвенного профиля, вынос солей в грунтовый поток и их удаление в условиях естественного или искусственного дренажа за пределы орошаемого массива. При этом способе происходит опреснение не только почвенной толщи, почвообразующих и подстилающих пород, но и поверхностных слоев грунтовых вод.

Таким образом, при сквозной промывке исключается реставрация засоления, т.е. происходит коренная мелиорация.

Промывные воды, поступающие на поле, строго нормируются. *Промывной нормой* называется количество воды, которое подается для промывки солей в течение промывного периода. Промывки проводят осенью или зимой в условиях наименьшего испарения.

Процесс удаления солей при промывке происходит в две фазы. *В первой фазе* происходит растворение солей в промывной воде, в

результате чего получается неоднородный раствор: концентрация выше в той части раствора, которая находится близко к поверхности кристаллов солей. Выравнивание концентраций происходит за счет диффузии и протекает очень медленно. Но увеличивать время контакта воды и почвы не имеет смысла, т.к. основная часть солей растворяется в первые моменты контакта, затем количество растворяющихся солей нарастает медленно.

Во второй фазе раствор солей вытесняется новой порцией промывной воды – соли удаляются из почвы. Вновь поступившая промывная вода начинает растворять следующую порцию солей. Во второй фазе удаляется только свободная вода, часть влаги находится в связанном состоянии и в движении не принимает участия. Связанная вода не способна растворять соли.

После удаления свободных солей промывная вода затрагивает поглощающий комплекс, в слоях адсорбированной воды протекают обменные реакции (см. § 1.7.3).

Таким образом, *промывная норма состоит из двух частей*:

– первая идет на заполнение всей порозности почвы. Эта часть промывной нормы равна разности между общей порозностью почвы и предполивной влажностью (минус объем заземленного воздуха). Эта часть промывной нормы предназначена для растворения солей;

– вторая часть промывной нормы равна разности между водовместимостью (общая порозность минус объем заземленного воздуха) и ППВ (предельной полевой влагоемкостью). Она вытесняет солевой раствор из почвы и почвообразующих пород и создает пресную подушку в поверхностных слоях грунтовых вод.

Для расчета количества промывной воды существует множество формул, предложенных разными авторами. Ниже приводятся некоторые из них.

Л.П. Розов предложил формулу:

$$M = П - m + n \times П,$$

где M – промывная норма, $m^3/га$; $П$ – предельная полевая влагоемкость (ППВ); m – запас влаги перед промывкой; n – коэффициент, зависящий от степени засоления почв (обычно равен 1 или более).

Если почва насыщена влагой до ППВ, то одна дополнительная порция воды ($n=1$) может удалить 60–90% солей, как показал Л.П. Розов.

В.А. Ковда предложил формулу, учитывающую физические свойства почв, глубину и минерализацию гр. вод:

$$M = n_1 \times n_2 \times n_3 \times 400 \times S \pm 100,$$

где M – норма промывки (мм); S – среднее содержание солей в слое почвы 0–2 м (%); n_1, n_2, n_3 – коэффициенты, отражающие зависимость норм промывки от свойств почв и грунтовых вод (табл. 8).

Т а б л и ц а 8

Величины коэффициентов n_1, n_2, n_3 для расчета нормы промывки (по В.А. Ковде, 1947)

Гранулометрический состав	n_1	Глубина уровня грунтовых вод, м	n_2	Минерализация грунтовых вод	n_3
Песок	0,5	Более 7–10	1,0	Средняя и малая	1,0
Суглинок	1,2	5	1,5	Сильная	2,0
Глина	2,0	1,5-2,0	3,0	Рассолы	3,0

В.Р. Волобуев предложил следующую формулу для расчета норм промывки засоленных почв:

$$M = 10\,000 \times L \times \lg S_n / S_0,$$

где M – промывная норма ($\text{м}^3/\text{га}$); L – показатель солеотдачи, определяемый по данным опытно-производственных промывок (существует таблица этих показателей, составленная В.Р. Волобуевым (1975)); S_n – содержание солей в промывном слое почвогрунта до начала промывки (% от веса почвы); S_0 – допустимое содержание солей (% от веса почвы).

Промывка орошаемых почв считается завершённой, если допустимое содержание солей (S_0) в почвогрунтовой толще не превышает следующих величин (% от веса сухой почвы):

- при хлоридном засолении – 0,2;
- при сульфатно-хлоридном – 0,3;

- при хлоридно-сульфатном – 0,4;
- при сульфатно-кальциевом – 1,0.

Практически нормы промывки достигают несколько тысяч кубических метров воды на гектар. Так, по И.С. Рабочеву, промывные нормы должны иметь следующие величины:

Почвы	Среднезасоленные		Сильнозасоленные	
	Норма промывки, м ³ /га	Количество промывок	Норма промывки, м ³ /га	Количество промывок
Легкие и средние суглинки	2500–3000	2	3000–3500	2–3
Тяжелые суглинки и глины	3000–3500	2–3	4000–5000	3

Большое внимание необходимо уделять содержанию бора в почве. Его вредное влияние проявляется в воде при концентрациях, равных 0,5–5,0 частей на миллион. По исследованиям американских ученых, для отмывки бора из почвы требуется в 3 раза больше воды, чем для других вредных солей.

1.7.3. Химизм промывки

Легкорастворимые соли нельзя рассматривать как механическую примесь к почве. При удалении солей изменяется солевой режим, коллоидно-химические, водные свойства почвы, что отражается на её микробиологической активности. Почва приобретает новые свойства.

Задачей промывки является улучшение свойств почвы, но одновременно могут происходить и нежелательные изменения, например осолонцевание, образование соды, ухудшение физических свойств. При промывке может происходить диспергация почвенных коллоидов.

В солончаках почвенные коллоиды находятся в скоагулированном состоянии благодаря высокой концентрации электролитов в почвенном растворе. С удалением солей происходит пептизация

(переход из геля в золь) почвенных коллоидов и ухудшение микроструктуры.

Что происходит с почвенным раствором, его химическим составом, а также с почвой при промывке? При промывке сначала удаляются более подвижные хлориды, а затем – сульфаты. Общая щелочность при промывках остается приблизительно на одном и том же уровне. Это объясняется тем, что обычно промываемые почвы карбонаты и по мере отмывания бикарбонатов щелочных земель растворяются новые их порции.

Бикарбонат натрия (сода) изменяется по-разному в зависимости от того, содержится ли в ППК натрий или нет:

– если в ППК отсутствует натрий, то содержание соды при промывках уменьшается.

– если же в почве присутствует поглощенный натрий, то вначале содержание соды при промывках будет возрастать.

Это связано с тем, что в солончаках при высокой концентрации солей в почвенном растворе коллоидная часть находится в скоагулированном состоянии, обменные реакции затруднены, поглощенный натрий – в неактивном состоянии. По мере отмывки солей происходит пептизация ППК, активизируются обменные реакции, поглощенный натрий поступает в почвенный раствор, образуя соду.

Таким образом, при промывке возникает другая почва – содержащая поглощенный натрий и продуцирующая соду, т.е. солонец. Этот процесс называется *осолонцеванием почв при промывках*. Опасность этого явления оценивается по соотношению ионов натрия и кальция в водном растворе:

– если соотношение $(Na+K):(Ca+Mg) > 4$, то опасность осолонцевания весьма значительна;

– при соотношении, равном 1–4, она невелика;

– при соотношении < 1 , опасность осолонцевания отсутствует полностью.

Если промывку продолжать длительное время, то содержание соды в почвенном растворе достигнет максимума, а затем начнет падать. Уменьшение содержания соды свидетельствует об израсходовании запасов поглощенного натрия, о вытеснении его ионом

водорода, т.е. о переходе солонца в солодь (в соответствии со схемой К.К. Гедройца). Прибавление гипса ускоряет процесс удаления натрия из поглощающего комплекса.

1.7.4. Условия и техника промывки засоленных почв

Промывка почв с целью рассоления требует соблюдения ряда *условий*:

1. Промывку проводят в осенне-зимний период при низком стоянии грунтовых вод и наименьшем испарении воды с поверхности почвы. Ранние весенние промывки не рекомендуются, т.к. они могут задержать обработку почвы и посев.

2. Промывку засоленных почв начинают с центральных частей более повышенных междренных площадей. При сильном засолении промывку начинают с наиболее засоленных и обычно наиболее пониженных площадей. Таким образом, степень засоления определяет очередность промывок.

3. В первую очередь промывают почвы тяжелого гран. состава (поздней осенью, в начале зимы). Почвы более легкого состава промывают позднее (зимой).

4. Как правило, промывки проводят в течение нескольких лет:
– легкие средnezасоленные почвы промывают в течение 1–2 лет, а сильнозасоленные – 2–3 лет,
– тяжелые сильнозасоленные почвы промывают 4–5 лет и более.

На промываемых сильнозасоленных почвах в первый год после промывки культивируют устойчивую культуру (ячмень). После уборки урожая поверхность поля планируют (выравнивают) для проведения последующих промывок в осенне-зимний период. На хорошо промытых землях выращивают люцерну. Если плотный остаток водной вытяжки более 0,4–0,6%, то люцерну сеять нельзя, в этом случае высевают культуры-освоители: суданку, сорго, чумизу, сахарную свеклу, донник белый, райграс и др. После культур-освоителей выращивают люцерну, а затем хлопчатник (в хлопково-люцерновом севообороте).

Техника промывки:

1. На поле, предназначенном для промывки, производят солевую съемку и составляют карту засоления почв до глубины 1 м в масштабе 1:10000. На основании карты засоления дифференцируются нормы промывок и определяется очередность промывок отдельных частей территории.

2. Поле разбивается на чеки размером 0,005–0,25 га. Чеки обносят валиками высотой 30–40 см (ширина у основания валика 60–80 см). Чем хуже рельеф, чем больше уклон и больше водопроницаемость почвы, тем меньше размер чек.

3. Перед промывкой участок глубоко перепахивают, производят подпочвенное рыхление с целью увеличения водопроницаемости.

4. После вспашки дают полю подсохнуть на солнце, в результате чего достигается дегидратация и коагуляция почвенных коллоидов и улучшение водопроницаемости.

5. На чек подается вода: первая порция – с расчетом доведения влажности почвы до общей влагоемкости (ППВ). В таком состоянии чек оставляют на 2–5 суток для более полного растворения солей. После этого добавляют новую порцию промывной воды для вытеснения раствора солей. Вытеснение проводят несколько раз, пока содержание солей не достигнет предельно допустимых концентраций. Перерывы между подачей воды делают меньше на легких почвах и больше на тяжелых. Перерывы должны быть меньше в начале промывки и больше в конце:

- перерывы на легких почвах – 1–2 суток;
- на средних почвах – 2–3 суток;
- на тяжелых почвах – 3–5 суток.

В первую очередь заливают наиболее засоленные участки, при повторной подаче воды наряду с сильнозасоленными заливаются и менее засоленные участки, последними заливами охватывается весь массив.

6. После окончания промывок валики разравниваются.

К окончанию промывок грунтовые воды должны находиться не выше 0,5 м от поверхности почвы, а к началу полевых работ – не выше 1,5–2,0 м.

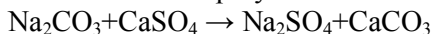
1.7.5. Мелиорация почв содового засоления

Почвы содового засоления являются наиболее сложным объектом мелиорации, что объясняется двумя причинами:

1) наибольшей токсичностью раствора карбоната натрия по сравнению с другими солями;

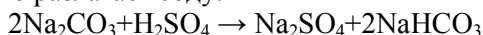
2) отрицательными физическими свойствами почв: высокой пептизацией и дезагрегированием горизонтов почвенного профиля, снижением их порозности, водопроницаемости, уплотнением, повышенной пластичностью, набухаемостью, влагоемкостью.

Для мелиорации почв содового засоления длительное время использовали *метод гипсования*. В результате обменной реакции:



в почве образуется сульфат натрия и известь. Однако мелиорация с помощью гипса даже на фоне промывок и дренажа протекает очень медленно, а дозы гипса должны быть весьма значительными (от 15–20 до 60–90 т/га).

Более эффективным для мелиорации почв содового засоления оказалось использование серной кислоты и серосодержащих продуктов (железного купороса, серы), т.е. *метод кислотования*. Этот метод применяется для освоения карбонатных щелочных почв содового засоления с использованием 1–2%-ной серной кислоты, которая активно разлагает соду:



Промывку почв серной кислотой проводят на фоне дренажа, в результате чего легкорастворимые сульфат и бикарбонат натрия быстро отводятся с промывными водами за пределы орошаемой территории.

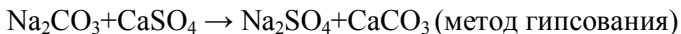
Мелиорация содовых почв этим методом осуществляется значительно быстрее, чем природным гипсом.

Так как почвы содового засоления содержат карбонат кальция, то при обработке серной кислотой образуется гипс:

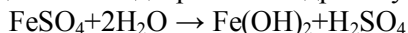


Новообразованный гипс отличается от природного высокой дисперсностью и активностью. Гипс вступает в реакцию с содой и

способствует образованию сульфата натрия, который выносится промывными водами через дренажную сеть за пределы орошаемого поля:

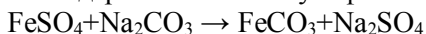


После промывки валики на поле разравнивают, а в почву вносят железный купорос FeSO_4 . Железо способствует улучшению физических свойств почв, а часть образующейся из купороса серной кислоты продолжает мелиорировать отмытую от соды щелочную почву. Железный купорос – это соль сильной кислоты и слабого основания и в воде легко подвергается гидролизу:



При этом возникает гидроксид двухвалентного железа и серная кислота. Гидроксид железа пропитывает почвенный мелкозем и способствует восстановлению и созданию структуры, а серная кислота нейтрализует соду.

Железный купорос действует и непосредственно на соду, приводя к образованию сидерита железа и сульфата натрия:



Таким образом, кислование и внесение в почву железного купороса оказывает более эффективное мелиорирующее действие на карбонатные почвы содового засоления, чем гипсование.

1.8. Задачи и методы мелиорации солонцов и солонцовых почв

Основные задачи мелиорации солонцовых почв заключаются в следующем:

1. Устранение или понижение содержания поглощенного натрия, что достигается внесением кальциевых солей (гипс) или серы в карбонатных почвах (химическая мелиорация).

2. Понижение солевых горизонтов, которые располагаются в корнеобитаемой зоне и в условиях орошения могут распространиться до поверхности. Это достигается промывками в комплексе с химическими мелиорациями. Простая промывка без химической мелиорации приводит к замещению в ППК натрия на водород и

образованию почв, ненасыщенных основаниями. Одна промывка не эффективна, т.к., во-первых, требуется очень много воды, которую пропустить через маловодопроницаемый солонец практически невозможно; во-вторых, ППК при насыщении водородом легко разрушается, а почва ухудшается. Длительное промывание солонцовых почв приводит к их осолодеванию.

3. Улучшение физических свойств. Для этого проводится физическая мелиорация в комплексе с биологической: посев культур с мощной корневой системой, механическое рыхление и углубление пахотного слоя с вовлечением в него части иллювиального горизонта и т.д.

Ниже приводятся основные *методы мелиорации солонцовых почв*.

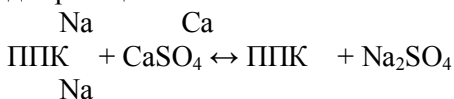
Гипсование. Расчет дозы гипса проводят, исходя из содержания поглощенного натрия и емкости поглощения почв, по формуле, предложенной К.К. Гедройцем:

$$M = 0,086 \times (Na - 0,05T) \times H_n \times OM,$$

где M – мелиоративная доза гипса (т/га $CaSO_4 \cdot 2H_2O$); T – емкость поглощения (мг-экв/100 г почвы); $0,05 \times T$ – при расчетах норм гипса допускают, что до 5% натрия от емкости поглощения может оставаться в почве, т.к. такое количество натрия не отражается на ее свойствах; Na – содержание поглощенного натрия (мг-экв/100 г почвы); $0,086$ – коэффициент пересчета при определении количества гипса (в тоннах), необходимого для вытеснения поглощенного натрия из одной тонны почвы; H_n – мощность пахотного слоя (см); OM – объемная масса солонцового горизонта (плотность сложения, г/см³).

Дозы гипса меняются в диапазоне от 2–3 до 20–25 т/га: максимальные для черноземных, луговых солонцов, минимальные – для солонцов сухостепных и полупустынных.

При гипсовании идет реакция:

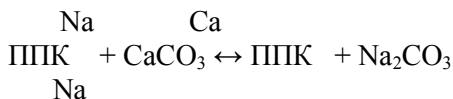


Серноокислый натрий хорошо растворим. Гипсование лучше протекает в условиях орошения. В богарных условиях необходимы мероприятия по выносу сульфата натрия из почвы (снегозадержание, аккумуляция поверхностного стока и др.). При недостатке влаги гипс сохраняется в почве в виде инертного балласта. Влага необходима и для протекания реакции вытеснения натрия из ППК, так как обменные реакции идут в жидкой фазе.

В условиях орошения мелиорация солонцов происходит в течение 2–3 лет, в богарных условиях – более длительное время.

Эффективность гипсования возрастает с уменьшением толщины помола гипса, т.к. в этом случае больше контакт между почвой и частицами гипса и выше его растворимость.

Известкование. При известковании солонцов реакция идет по схеме:



Продуктом реакции является сода, поэтому этот метод неприменим на содовых солонцах, но может быть использован на осолодевающих солонцах, где ППК частично насыщен ионами водорода.

Известь дешевле, чем гипс, но она подщелачивает реакцию почвы, трудно растворима в воде и действует медленнее, чем гипс. Увеличить растворимость извести можно путем внесения органических удобрений, например навоза, т.к. при его разложении выделяется углекислый газ, а увеличение углекислоты в почвенном растворе сопровождается повышением растворимости карбонатов.

Кислование. Как известно, вещества особенно активны в момент их возникновения, в дальнейшем по мере старения их активность снижается. Отсюда возникла идея использовать серную кислоту для получения гипса в самой почве. Этот метод был предложен Зигмондом (Венгрия). В почву вносят серную кислоту (1–2%-ную), она взаимодействует с карбонатами, и образуется гипс:



Этот метод подробно рассматривался как способ мелиорации почв содового засоления (см. § 1.4.5). Эта технология эффективна

и для солонцов. Кроме серной кислоты используют железный купорос, серу и другие серосодержащие соединения, которые при окислении образуют серную кислоту.

Кислование осуществимо только на орошаемых почвах. Способ этот более эффективен, чем гипсование и известкование.

Землевание – заключается в искусственном создании мощного плодородного пахотного горизонта на поверхности солонца. Метод был предложен Н.В. Орловским. Сущность метода заключается в следующем: на поверхность почвы наносится слой черноземной почвы общей мощностью 6–9 см в несколько приемов (за один прием 1–1,5 см). И.Н. Антипов-Каратаев рекомендовал наносить на поверхность солонца слой мощностью 15–20 см за 1 прием.

Скреперами срезают тонкий (1–2 см) слой поверхностного горизонта окружающей солонец плодородной несолонцовой почвы, которая затем располагается кучками на мелиорируемом участке и разравнивается грейдером.

После разравнивания нанесенной земли производят безотвальную вспашку, чтобы не перемешать нанесенный плодородный слой с подстилающей солонцовой почвой.

Землевание дает эффект уже в течение первого года, особенно если сочетается с внесением удобрений и посевом сидератов.

Термический пар. Этот способ мелиорации применяют в сухостепной и полупустынной зонах. Его действие основано на улучшении физических свойств солонцового горизонта под действием солнечной радиации.

При вспашке солонцовый горизонт выворачивают на поверхность, где он подвергается действию высоких температур в континентальных условиях, в результате чего происходит дегидратация и коагуляция почвенных коллоидов. При этом улучшаются физические свойства солонцового горизонта. Термический пар применим только при малом количестве осадков, высоких и резко колеблющихся температурах. Этот способ непригоден для мелиорации луговых солонцов и солонцов черноземной зоны.

Глубокое мелиоративное рыхление. Этот способ позволяет улучшить эффект гипсования. После внесения гипса почвы под-

вергают глубокому безотвальному рыхлению. При этом происходит механическое разрушение плотного солонцового горизонта, более полное взаимодействие мелиоранта (гипса) с минеральной массой почвы.

Этот прием способствует накоплению влаги в почве и более активному промыванию профиля солонца. Глубокое рыхление лучше осуществлять на орошаемых почвах на фоне дренажа.

Самомелиорация солонцов (плантажная вспашка). Этот способ основан на том, что в сухостепной и полупустынной зонах гипсовый и карбонатный горизонты залегают близко от дневной поверхности. С помощью плантажной вспашки на глубину 50-55 см гипсовый горизонт, залегающий на глубине 35-50 см, перемешивают с солонцовым. Таким образом, осуществляется гипсование за счет естественных ресурсов.

Впервые этот способ был предложен В.А. Ковдой и А.Ф. Большаковым для мелиорации солонцов Прикаспийской низменности.

После плантажной вспашки производят обработку почв тяжелыми дисковыми боронами для разрушения глыб, выполняют мероприятия по накоплению влаги в почве путем устройства продуваемых лесных полос, посева высокостебельных культур для создания кулис. Мелиорация солонцов при плантажной вспашке происходит через 4-5 лет.

Многоярусная вспашка. Этот метод был предложен И.Н. Антиповым-Каратаевым: с помощью плугов специальной конструкции производят замену местами солонцового и гипсового (карбонатного) горизонтов, то есть гипсовый горизонт поднимается к поверхности, а солонцовый с неблагоприятными свойствами опускается вниз. Гумусовый же горизонт оборачивается и остается на поверхности, он подвергается рыхлению трехярусным плугом.

Многоярусную вспашку лучше сочетать с комплексом мероприятий по повышению плодородия.

Биологическая мелиорация солонцов. Улучшению свойств солонцовых почв может способствовать посадка и посев растений, устойчивых к неблагоприятным условиям. Такими растениями в зоне каштановых почв являются тамарикс, лох, скумпия, акация

желтая, клены татарский и ясенелистный. Своей корневой системой они благоприятно влияют на физические и химические свойства почвы, аккумулируют снег, что улучшает водный режим и способствует промывке солей. Повышается водопроницаемость почв, влагоемкость, солонцовый горизонт разрушается. После выполнения своей задачи – улучшение свойств почвы – мелиоративные посадки удаляются, и поле используется для сельскохозяйственных растений.

В условиях черноземной зоны солеустойчивыми породами являются ясень пушистый, вяз мелколистный, тополь черный. Полосы не должны аккумулировать излишний поверхностный сток, поэтому их создают продуваемой конструкции.

Электромелиорация. Этот способ следует рассматривать как поисковый. Сущность его заключается в следующем: при наложении постоянного электрического тока в почве возникают и усиливаются явления электроосмоса и электролиза, увеличивается растворимость солей, усиливается и упорядочивается миграция ионов к электродам соответственно их зарядам, ускоряется процесс расчленения межэлектродного пространства (Вадюнина, 1979).

Установлено, что вынос солей водой при промывке на фоне поля, наложенного постоянным электротоком, увеличивается на 35-50% по сравнению с обычной промывкой.

Ток не влияет на вынос наиболее активного мигранта – хлора, но вызывает резкое ускорение выноса наименее растворимых бикарбонатов и особенно карбонатов. Поэтому способ электромелиорации может быть очень эффективным при промывке почв содового засоления. При этом сокращаются нормы воды для промывки и сроки рассоления.

Ток усиливает выход из ППК ионов натрия и его замещение ионами щелочноземельных катионов (Ca, Mg).

Электромелиорация сопровождается увеличением водопроницаемости почв, т.к. происходит агрегация массы мелкозема, улучшается порозность и плотность сложения.

Способ электромелиорации засоленных почв применения в производстве пока не получил.

Раздел 2. МЕТОДЫ ИЗУЧЕНИЯ ЗАСОЛЕННЫХ ПОЧВ

К засоленным относят почвы, содержащие легкорастворимые соли в количествах, угнетающих рост и развитие растений-негалофитов. Легкорастворимыми считаются соли, растворимость которых превышает 10 г в 100 г воды при комнатной (20°C) температуре (Глинка, 1960). Таковыми являются карбонаты и гидрокарбонаты щелочей, хлориды и сульфаты щелочей и магния, хлориды кальция, нитраты и нитриты щелочных и щелочноземельных металлов.

Основным методом изучения химического состава засоленных почв с целью разработки проекта мелиоративных мероприятий является анализ водной вытяжки, результаты которого позволяют оценить общее содержание легкорастворимых солей в почвах и установить тип засоления.

2.1. Метод водной вытяжки

В России для определения степени и химизма засоления почв используют метод водной вытяжки, основанный на извлечении легкорастворимых солей 5-кратным по отношению к массе почвы объемом воды.

При полном анализе водной вытяжки определяют:

- плотный остаток;
- pH;
- щелочность нормальных карбонатов и бикарбонатов (или, в зависимости от pH, различные виды кислотности);
- анионы Cl^- , SO_4^{2-} , HSiO_3^- (в вытяжке с pH 8–10), H_2PO_4^- (в вытяжке с pH 5-6), HPO_4^{2-} (в вытяжке с pH 7–8);
- катионы Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ , Fe^{2+} , Fe^{3+} , Al^{3+} ;
- борат-, нитрат-, нитрит-ионы и органическое вещество, а также ионы водорастворимых микроэлементов.

Чаще в водной вытяжке определяют плотный остаток, щелочность нормальных карбонатов и бикарбонатов, Cl^- , SO_4^{2-} , Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+ .

Установлено, что все легкорастворимые соли переходят в водную вытяжку при 3-минутном взбалтывании почвы с водой при соотношении почвы к воде 1:5. Воду добавляют к навеске почвы, суспензию взбалтывают и фильтруют. Фильтрат и называют водной вытяжкой.

2.1.1. Качественные испытания засоленности почв

Прежде чем приступить к приготовлению водной вытяжки, рекомендует Е.В. Аринушкина (1970), следует сделать качественные пробы на присутствие в почве ионов Cl^- и SO_4^{2-} , что позволит отобрать для анализа образцы действительно засоленных почв.

Качественные испытания проводят следующим образом: 5 г почвы помещают в чистый стаканчик и приливают 25 мл дистиллированной воды, затем перемешивают стеклянной палочкой 3 минуты, после чего фильтруют в другой чистый стаканчик через беззольный фильтр. Полученный фильтрат испытывают на содержание Cl^- и SO_4^{2-} .

Проба на Cl^- : 5 мл фильтрата помещают в пробирку, подкисляют азотной кислотой (не содержащей HCl), что необходимо для разрушения бикарбонатов, которые дают осадок с Ag^+ . После этого прибавляют несколько капель раствора AgNO_3 и перемешивают путем взбалтывания. Появление осадка свидетельствует о присутствии Cl^- . По приблизительному количеству осадка устанавливают объем водной вытяжки для определения иона Cl^- , исходя из ниже следующего:

Величина и вид осадка	Объем вытяжки для определения Cl^- , мл
Большой хлопьевидный осадок	5
Сильная муть	10
Слабая муть	20–25
Опалесценция	50 и более

В сильнозасоленных вытяжках (при хлоридном засолении), когда приходится брать малые объемы вытяжек для титрования (5–10 мл), взятую пробу следует разбавить водой до объема 25–50 мл и больше.

Проба на SO_4^{2-} : В чистую пробирку берут 5 мл того же фильтрата, подкисляют двумя каплями 10%-ного раствора HCl (не содержащей H_2SO_4) для разрушения карбонатов и бикарбонатов бария, прибавляют 2–3 капли 5%-ного раствора $BaCl_2$ и перемешивают взбалтыванием. Выпавший осадок $BaSO_4$ свидетельствует о присутствии SO_4^{2-} .

2.1.2. Приготовление водной вытяжки

Для получения водной вытяжки рекомендуется использовать дистиллированную воду, не содержащую CO_2 (ее получают 30-минутным кипячением), так как от концентрации диоксида углерода в воде или от парциального давления CO_2 в ее газовой фазе зависит растворимость труднорастворимых карбонатов. Увеличение растворимости $CaCO_3$ приводит к увеличению концентрации карбонатных ионов и кальция, которые определяют в составе водных вытяжек. Однако в последние годы для приготовления водных вытяжек используют дистиллированную воду, из которой предварительно CO_2 не удаляют (ГОСТ 26423–85, Руководство по лабораторным методам..., 1990).

Рекомендуется получать и анализировать водные вытяжки в помещениях, в воздухе которых не содержится хлористого водорода и аммиака, поглощение почвами которых может повлиять на результаты анализа.

Часто получение водных вытяжек сопряжено с определенными трудностями. При анализе почв, обогащенных легкорастворимыми солями, фильтрование водных суспензий идет быстро, водные вытяжки получаются прозрачными, так как соли коагулируют почвенные коллоиды. При малом содержании солей и, особенно, при щелочной реакции вытяжки фильтрование идет медленно, филь-

трат опалесцирует и часто бывает мутным (в этом случае происходит пептизация коллоидов).

Навеску воздушно-сухой почвы (50 или 100 г на технических весах), пропущенной через сито с отверстиями диаметром 1 мм, помещают в сухую колбу емкостью 500 мл. Обычно при анализе воздушно-сухих проб методом водной вытяжки (1:5) корректировку на содержание гигроскопической влаги не проводят. В колбу с навеской почвы приливают 250 или 500 мл (5-кратное количество) дистиллированной воды, лишенной CO_2 . Колбу закрывают пробкой и взбалтывают 3 минуты.

С целью получения прозрачных вытяжек суспензию переносят на фильтр сразу же после взбалтывания для того, чтобы почва забила поры фильтра и препятствовала прохождению коллоидных частиц. Фильтр (лучше складчатый) помещают в воронку диаметром 15–20 см так, чтобы он лежал на 0,5–1 см ниже края воронки. Нельзя допускать, чтобы фильтр был выше воронки, так как в этом случае по краю фильтра образуются «выцветы» солей, и концентрация их в фильтрате снижается. Желательно на фильтр перенести как можно больше водной суспензии. Первую порцию фильтрата (примерно 10 см) собирают в химический стаканчик и выбрасывают, чтобы компоненты фильтра не влияли на состав вытяжки. Последующие порции перефильтровывают до тех пор, пока вытяжка не станет прозрачной. Прозрачный фильтрат собирают в коническую колбу вместимостью 250–500 мл. В случае медленного фильтрования воронку накрывают часовым стеклом, а в горло колбы вставляют ватный тампон.

При анализе водных вытяжек рекомендуется проводить контрольный опыт, для чего 250 мл дистиллированной воды без CO_2 проводят через все операции анализа, включая фильтрование. Результаты анализа контрольного раствора вычитают из результатов каждого из определений.

Водные вытяжки анализируют сразу же после их получения, так как со временем может измениться рН, концентрация карбонатных ионов и кальция в результате поглощения вытяжкой CO_2 из атмосферного воздуха или перехода CO_2 из водной вытяжки в

атмосферу. Анализ фильтрата начинают с определения рН, щелочности и содержания хлорид-ионов.

2.1.3. Обесцвечивание водной вытяжки

Верхние горизонты большинства почв дают водные вытяжки, окрашенные органическими веществами. Наиболее интенсивное окрашивание наблюдается у солонцовых почв. Для определения состава водных вытяжек, особенно с применением колориметрических методов, важным условием является их прозрачность и бесцветность.

Универсальным способом обесцвечивания является способ обесцвечивания углем. На 500 мл вытяжки прибавляют 3–5 г «черного угля» и периодически в течение 20 минут встряхивают, затем отфильтровывают. В случае сохранения окрашивания, обработку углем повторяют до полного обесцвечивания.

Имеются и другие способы обесцвечивания, не имеющие универсального характера и пригодные для определения того или другого вещества. К ним относятся следующие:

1. Метод Шмука (обесцвечивание квасцами).

К 100 мл отфильтрованной вытяжки прибавляют 10 мл 7%-ного раствора квасцов (чаще используются алюмокалиевые квасцы). Затем прибавляют 6–7 капель 20%-ного раствора аммиака. Образующийся при этом осадок нацело извлекает красящие вещества из раствора, в результате чего вытяжка обесцвечивается. Если обесцвечивания не произошло, то добавляют еще несколько мл квасцов. Если бесцветный раствор сохраняет опалесценцию, то ее удаляют путем добавления или одной капли раствора квасцов или одной капли аммиака. При этом выпадает новый незначительный осадок, и раствор становится совершенно прозрачным и бесцветным. Полнота обесцвечивания достигается лишь при определенных соотношениях количества красящих веществ, квасцов и щелочи, которые каждый раз устанавливаются эмпирическим путем. Обесцвеченный раствор вместе с осадком алюминия (квасцы) переносят в мерную колбу на 200 мл и доводят водой до метки, по-

сле чего отфильтровывают нужное количество фильтрата для надлежащего в нем определения.

2. Обесцвечивание водной вытяжки гипсом.

К навеске почвы добавляют гипс из расчета 5 г на 100 г почвы, после чего заливают дистиллированной водой, взбалтывают и дают отстояться, после чего отфильтровывают.

3. Обесцвечивание водной вытяжки серноокислым цинком с КОН.

Берут 2 мл раствора серноокислого цинка (2,88 г в 100 мл воды) и 2 мл едкой щелочи (1 г КОН в 100 мл воды), приливают к 25 мл окрашенной водной вытяжки. Смесь встряхивают и оставляют несколько минут до окончания быстро идущего процесса коагуляции. Осадок отфильтровывают и промывают два раза водой. Бесцветный фильтрат идет на исследование.

2.1.4. Определение величины рН водной вытяжки

Как известно, по общепринятому международному методу почвенную суспензию для определения рН готовят при соотношении почвы к воде 1:2,5. Однако во многих случаях ограничиваются определением величины рН водной вытяжки при том соотношении, при котором готовят эту вытяжку. Определение проводят в фильтрате или, что более правильно, в суспензии до фильтрования вытяжки. Для этого в химический стаканчик помещают 10–20 мл суспензии и определяют рН с помощью рН-метра. Это определение следует выполнять в первую очередь, так как при настаивании водной вытяжки величина рН меняется. В зависимости от значения рН определяют щелочность или кислотность водной вытяжки.

2.1.5. Определение сухого остатка

Сухим, или плотным, остатком водной вытяжки называют массовую долю (%) высушенного при 105° остатка, полученного при выпаривании аликвоты водной вытяжки. Сухой остаток вытяжки

дает представление об общем содержании в почве растворимых в воде органических и минеральных соединений. Но это представление отражает истинное состояние лишь приблизительно, поскольку в процессе высушивания остатка гидрокарбонаты превращаются в карбонаты с выделением CO_2 и H_2O ; образующиеся при выпаривании водной вытяжки сульфаты кальция и магния удерживают кристаллизационную воду; хлориды магния превращаются в MgOHCl с выделением свободного хлора. Все эти процессы влияют на результаты определения сухого остатка. Тем не менее, по количеству сухого остатка определяют степень засоления почвы. Поскольку выпаривание занимает много времени, пробу на определение сухого остатка берут в первую очередь.

Ход определения. Аликвоту (25–50 мл) водной вытяжки помещают в предварительно высушенную при 105° в течение 3 часов и взвешенную на аналитических весах фарфоровую чашку диаметром 5–7 см и выпаривают на кипящей водяной бане. По окончании выпаривания чашку с остатком вытирают снаружи полотенцем и досушивают в сушильном шкафу при температуре 105° в течение 3 часов, после чего охлаждают в эксикаторе и взвешивают на аналитических весах. Если вес остатка не превышает 0,1 г, ограничиваются одним взвешиванием, если вес остатка больше 0,1 г, то остаток еще раз высушивают в течение 1–2 часов, охлаждают в эксикаторе и взвешивают. Рассчитывают величину сухого остатка в процентах по следующей формуле:

$$\text{Сухой остаток, \%} = (a - b) \times M,$$

где a – вес чашки с сухим остатком после высушивания, г; b – вес пустой чашки, г; M – множитель пересчета на 100 г почвы.

Форма записи результатов

Горизонт, глубина, см	Объем вытяжки, взятый для анализа, мл	Вес пустой чашки, г	Вес чашки с сухим остатком после высушивания, г	Сухой остаток, %

Множители пересчета на 100 г почвы представлены в табл. 9.

Т а б л и ц а 9

**Множитель пересчета объема вытяжки на 100 г почвы
(при соотношении 1:5)**

Анализируемый объем вытяжки, мл	Соответствующий вес почвы, г	Множитель пересчета на 100 г почвы
1	0,2	500
5	1	100
10	2	50
25	5	20
50	10	10
100	20	5
200	40	2,5

В некоторых случаях при анализе водных вытяжек определяют величину прокаленного остатка, которая дает представление об общем количестве водорастворимых солей и характеризует минерализацию водной вытяжки. Прокаленный остаток определяют путем прокаливания сухого остатка в муфельной печи при температуре 600° или путем озоления в нем органического вещества пероксидом водорода.

В прокаленном остатке определяют Ca^{2+} , Mg^{2+} , SO_4^{2-} , СГ в том случае, если водные вытяжки мутные или темноокрашенные.

**2.1.6. Определение щелочности от растворимых карбонатов
(CO_3^{2-})**

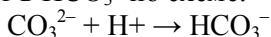
Щелочность водных вытяжек из почвы обуславливается содержанием в них карбонатов и бикарбонатов щелочных и щелочноземельных металлов и щелочных солей кремниевых и органических веществ. Все названные формы щелочных солей обычно не расчленяют, а выражают суммарную или общую щелочность в ионе HCO_3^- и из нее выделяют:

а) щелочность карбонатов щелочных металлов – CO_3^{2-} , представленную главным образом содой (Na_2CO_3);

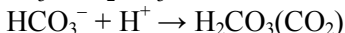
б) щелочность бикарбонатов щелочных металлов – ион HCO_3^- , представленную главным образом двууглекислым натрием NaHCO_3 .

Щелочность от растворимых карбонатов (щелочность от нормальных карбонатов, или частная щелочность) характерна для водных вытяжек из содовых солонцов и содовых солончаков, так как она обусловлена присутствием в почве Na_2CO_3 , а также щелочных солей кремневой и органических кислот. В карбонатных почвах эта щелочность обусловлена в какой-то мере и углекислым магнием.

Растворимые карбонаты создают щелочную реакцию вытяжки, в результате чего она окрашивается в розовый цвет при добавлении фенолфталеина. При воздействии сильной кислоты с анализируемым раствором, содержащим ионы CO_3^{2-} , карбонат-ион присоединяет H^+ и переходит в HCO_3^- по схеме:



Конечную точку титрования CO_3^{2-} до гидрокарбонат-иона устанавливают по индикатору фенолфталеину (происходит исчезновение розовой окраски). Дальнейшее прибавление кислоты приводит к переходу HCO_3^- в H_2CO_3 по схеме:



Конечную точку титрования HCO_3^- до $\text{H}_2\text{CO}_3(\text{CO}_2)$ устанавливают по индикатору метиловому оранжевому. Таким образом, по индикатору фенолфталеину оттитровывают лишь половину щелочности, обусловленной CO_3^{2-} . Титруя окрашенную фенолфталеином в розовый цвет вытяжку кислотой до обесцвечивания индикатора, определяют содержание в ней половины растворимых карбонатов. Образующиеся ионы HCO_3^- подкисляют раствор, вследствие чего рН снижается (становится меньше 8,2) и фенолфталеин обесцвечивается.

В системах, содержащих карбонаты, рН и соотношение карбонатных ионов зависит от парциального давления CO_2 . В связи с тем, что изменение рН и соотношения карбонатных ионов может происходить даже в процессе проведения анализа в результате поглощения CO_2 из атмосферного воздуха при фильтровании суспен-

зий, результаты определения CO_3^{2-} можно рассматривать лишь как условные. В последнее время при определении содержания CO_3^{2-} в почвенных растворах и водных вытяжках этот показатель не всегда используют в качестве диагностического.

Ход определения. 25–50 мл вытяжки помещают в коническую колбу, прибавляют 2 капли фенолфталеина. Окрашивание жидкости в розовый цвет означает присутствие нормальных карбонатов. Вытяжку титруют 0,02 н (или 0,01 н в зависимости от интенсивности окраски) раствором H_2SO_4 до исчезновения окраски (обесцвечивания индикатора).

В сильноокрашенных органическим веществом вытяжках карбонат-ион определяют потенциометрическим титрованием. После титрования CO_3^{2-} в этой же пробе определяют общую щелочность.

Расчет ведут по следующей формуле:

$$\text{CO}_3^{2-}, \text{ мг-экв/100 г почвы} = a \times N \times 2 \times M,$$

где a – количество мл серной кислоты, пошедшее на титрование; N – нормальность серной кислоты; 2 – при титровании по фенолфталеину карбонатная форма щелочности переводится в бикарбонатную, вследствие чего оттитровывается половина количества карбонатов щелочей, следовательно, на все количество нормальных карбонатов пойдет в 2 раза больше раствора серной кислоты; M – множитель пересчета объема вытяжки на 100 г почвы (см. табл. 9).

$$\text{CO}_3^{2-}, \% = \text{CO}_3^{2-}, \text{ мг-экв/100 г почвы} \times 0,030,$$

где 0,030 – молярная масса эквивалента карбонат-иона, г/ммоль.

Форма записи результатов

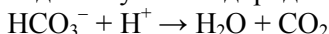
Горизонт, глубина, см	Объем вытяжки, взятый для анализа, мл	H_2SO_4		Содержание CO_3^{2-}	
		н.	объем, пошедший на титрование, мл	мг-экв/100 г почвы	%

2.1.7. Определение общей щелочности (HCO_3^-)

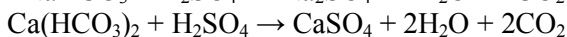
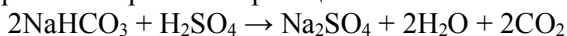
Общую щелочность определяют в водных вытяжках из всех почв. Она характеризует общее содержание компонентов, которые проявляют свойства оснований и переходят из твердых фаз почв в почвенные растворы и почвенные вытяжки. Общую щелочность определяют титрованием кислотой по индикатору метиловому оранжевому до перехода желтой окраски этого индикатора в оранжевую (золотистую), т.е. до рН 4,4. В этом случае оттитровываются все основания, присутствующие в аликвоте анализируемого раствора.

В практике лабораторных работ содержание иона CO_3^{2-} и общую щелочность определяют в одной аликвоте раствора. В анализируемый раствор после определения иона CO_3^{2-} добавляют индикатор метиловый оранжевый и продолжают титрование до перехода HCO_3^- в H_2CO_3 . В этом случае кислотой титруются гидрокарбонат-ионы, как те, которые образовались при титровании CO_3^{2-} по фенолфталеину, так и те, которые присутствовали в анализируемом растворе до начала титрования кислотой.

Ионы HCO_3^- взаимодействуют с водородом кислоты по схеме:



При титровании протекают реакции:



Приведенные уравнения показывают, что общая щелочность обусловлена присутствием в вытяжке двууглекислых солей щелочных и щелочноземельных металлов. По метиловому оранжевому бикарбонаты оттитровываются полностью, поэтому общая щелочность является суммарной величиной всех бикарбонатов вытяжки. В окрашенных вытяжках общую щелочность определяют методом потенциометрического титрования. Титруют до заданных значений рН или получают кривую потенциометрического титрования.

Ход определения. После титрования растворимых карбонатов, а если они отсутствуют, непосредственно после прибавления фенолфталеина, в ту же колбу прибавляют 2 капли раствора метило-

ранка и продолжают титровать той же кислотой (0,01 н или 0,02 н H₂SO₄) до изменения окраски индикатора. Титрование по метиловому оранжевому следует вести со «свидетелем», в качестве которого служит колбочка такого же объема и с таким же количеством вытяжки, в которую добавлен индикатор. Титрование считается законченным в тот момент, когда окраска титруемого раствора из желтой перейдет в оранжевую (золотистую).

Величину общей щелочности вычисляют по суммарному количеству кислоты, затраченной на титрование по фенолфталеину и метиловому оранжевому.

Расчет ведут по следующей формуле:

$$\text{HCO}_3^{2-}, \text{ мг·экв/100 г почвы} = a \times N \times M,$$

где *a* – суммарное количество мл серной кислоты, пошедшее на титрование по фенолфталеину и по метиловому оранжевому; *N* – нормальность серной кислоты; *M* – множитель пересчета объема вытяжки на 100 г почвы (см. табл. 9).

$$\text{HCO}_3^-, \% = \text{HCO}_3^{2-}, \text{ мг·экв/100 г почвы} \times 0,061,$$

где 0,061 – молярная масса эквивалента гидрокарбонат-иона, г/ммоль (граммовое значение мг·экв HCO₃⁻).

Форма записи результатов

Горизонт, глубина, см	Объем вытяжки, взятый для анализа, мл	H ₂ SO ₄		Содержание HCO ₃ ²⁻	
		н.	суммарный объем, пошедший на титрование по фенолфталеину и по метиловому оранжевому, мл	мг·экв/ 100 г почвы	%

2.1.8. Определение кислотности

Если определение величины рН водной вытяжки показало, что она кислая, в ней определяют разные виды кислотности. Кислотность водной вытяжки обусловлена содержанием в ней свободной углекислоты, органических кислот и ненасыщенных оснований. Эта кислотность, называемая часто титрованной, обычно очень

мала, она характерна для кислых почв и составляет её активную кислотность, имеющую большое значение для жизни растений (содержание в 100 г почвы 0,001–0,0001 г свободной кислоты неблагоприятно для произрастания большинства растений).

Определение общей кислотности

Общая кислотность вытяжки вызывается совместным присутствием свободной угольной кислоты, свободных органических кислот и ненасыщенных соединений. Для ее определения берут 50 мл вытяжки, прибавляют каплю фенолфталеина и титруют 0,01 н раствором NaOH до исчезающей розовой окраски. Результаты вычисляют в мг·экв/100 г почвы.

Общая кислотность, мг·экв/100 г почвы = $a \times N \times M$,
где a – количество мл щелочи, пошедшее на титрование; N – нормальность щелочи; M – множитель пересчета объема вытяжки на 100 г почвы (см. табл. 9).

Определение кислотности от органических кислот

Эта кислотность вызывается свободными нелетучими органическими кислотами, а также их ненасыщенными соединениями. Для ее определения берут 50–100 мл вытяжки, кипятят на электроплитке, пока не останется около $\frac{3}{4}$ первоначального объема. Прибавляют каплю фенолфталеина и титруют горячую жидкость 0,01 н раствором NaOH до исчезающей розовой окраски. Результаты вычисляют в мг·экв/100 г почвы. Расчет аналогичен расчету общей кислотности.

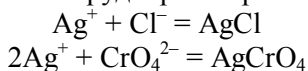
Определение кислотности от свободной CO₂

Кислотность от свободной CO₂ вычисляют по разности мг·экв/100 г почвы общей кислотности и кислотности от органических кислот. Для выражения содержания CO₂ в процентах необходимо содержание CO₂ в мг·экв/100 г почвы умножить на молярную массу эквивалента CO₂ (граммовое значение мг·экв CO₂), которая равна 0,022 г/ммоль:

$$\text{CO}_2, \% = \text{CO}_2, \text{ мг·экв/100 г почвы} \times 0,022$$

2.1.9. Определение хлорид-ионов

Прежде чем определять хлорид-ион в водной вытяжке, следует сделать качественную пробу на содержание Cl^- и в зависимости от результатов брать тот или другой объем вытяжки для количественного определения (см. п. 2.1.1 Качественные испытания засоленности почв). Наиболее распространенным методом определения хлорид-ионов является метод Мора, основанный на взаимодействии их с ионами серебра в присутствии хромат-ионов как индикатора и образовании труднорастворимого хлорида серебра:



Из растворов сначала выделяется белый осадок хлорида серебра. Раствор при этом имеет желтую окраску от CrO_4^{2-} . После осаждения всех Cl^- -ионов образуется красно-бурый осадок хромата серебра и раствор приобретает красноватый оттенок в точке эквивалентности. Определение хлорид-ионов по методу Мора рекомендуется проводить в нейтральной или близкой к нейтральной среде. Определению их мешают анионы, образующие с Ag^+ труднорастворимые соединения (CO_3^{2-} , PO_4^{3-} , S^{2-} , AsO_4^{3-} , $\text{Cr}_2\text{O}_4^{2-}$ и др.). В присутствии карбонат-ионов часть Ag^+ расходуется на образование Ag_2CO_3 , поэтому перед титрованием хлорид-ионов проводят определение щелочности, при котором карбонаты разрушаются кислотой. Таким образом, хлорид-ионы определяют в той же пробе, в которой проводилось определение щелочности. Хлорид-ионы в водных вытяжках определяют для установления степени хлоридного засоления почв.

Ход определения. К вытяжке, в которой оттитрована общая щелочность, прибавляют 1 мл 10%-ного раствора K_2CrO_4 (вытяжка становится желтой) и титруют 0,02 н раствором AgNO_3 до появления не исчезающей красно-бурой окраски.

При значительном количестве Cl^- происходит коагуляция, и выпавший осадок мешает титрованию. В этом случае за изменением окраски следят в осветленной части над осадком. Изменение окраски легче проследить при сравнении титруемого раствора со

«свидетелем». В качестве «свидетеля» берут колбу такого же объема и с таким же количеством вытяжки и хромовокислого калия.

Оттитрованные пробы сливают в склянку для последующей регенерации нитрата серебра.

Расчет количества хлорид-ионов ведут по формуле:

$$СГ, \text{ мг-экв/100 г почвы} = a \times N \times M,$$

где a – количество мл азотнокислого серебра, пошедшее на титрование; N – нормальность азотнокислого серебра (молярная концентрация эквивалентов $AgNO_3$, ммоль/мл); M – множитель пересчета объема вытяжки на 100 г почвы (см. табл. 9).

$$СГ, \% = СГ, \text{ мг-экв/100 г почвы} \times 0,035,$$

где 0,035 – молярная масса эквивалента Cl^- (граммовое значение мг-экв Cl^-), г/ммоль.

Форма записи результатов

Горизонт, глубина, см	Объем вытяжки, взятый для анализа, мл	$AgNO_3$		Содержание Cl^-	
		н.	объем, пошедший на титрование, мл	мг-экв/100 г почвы	%

2.1.10. Определение кальция и магния

Соединения кальция и магния, которые переходят из твердых фаз почв в почвенные растворы и водные вытяжки, представлены легкорастворимыми хлоридами, нитратами, нитритами и слабо-растворимыми солями – гипсом, кальцитом, доломитом и, возможно, магнезитом. Магний, кроме этого, присутствует в почвах в виде легкорастворимых сульфатов.

Концентрация магния в водных вытяжках из засоленных почв может в значительной степени превышать концентрацию кальция, потому что сульфаты магния легкорастворимы, а карбонат магния характеризуется более высоким произведением растворимости, чем кальцит, который при взаимодействии с карбонат-ионами образуется в первую очередь.

Количественное определение кальция и магния проводят инструментальными (электрометрическими и спектроскопическими) и классическими (гравиметрическими и титрометрическими) методами. Кальций и магний определяют эмиссионным пламеннофотометрическим и атомно-адсорбционным методами. Чаще для определения этих катионов применяют титрование раствором комплексона III (трилон Б), т.е. комплексометрический метод.

Комплексометрическое определение кальция и магния

В водную вытяжку переходят ионы металлов (Fe, Al, Mn, Cu и др.), которые мешают комплексометрическому определению кальция и магния. Поскольку количество их очень мало, влияние мешающих катионов устраняют, маскируя, а не отделяя их. Для этого используют сульфид Na, триэтаноламин, диэтилдитиокарбаминат натрия; для восстановления Mn (IV) в вытяжки добавляют солянокислый гидросиламин. Чтобы при подщелачивании не выпадал в осадок карбонат кальция, вытяжку подкисляют, переводя CO_3^{2-} и HCO_3^- в $\text{H}_2\text{CO}_3(\text{CO}_2)$, и кипятят для удаления CO_2 , так как в присутствии CO_3^{2-} и HCO_3^- получаются заниженные результаты определения кальция. Определение Ca^{2+} и Mg^{2+} может быть проведено последовательно в одной пробе вытяжки и титрованием двух проб, в одной из которых определяют Ca^{2+} , в другой – сумму Ca^{2+} и Mg^{2+} ; содержание Mg^{2+} вычисляют по разности. Чаще используют последний прием.

Ход определения. Прежде чем определить кальций, следует качественно испытать вытяжку на его содержание. Для этого берут в пробирку 5 мл водной вытяжки, нагревают до кипения, подкисляют несколькими каплями 10%-ного раствора CH_3COOH , после чего добавляют 3–4 капли 4%-ного раствора $(\text{NH}_4)_2\text{C}_2\text{O}_4$. Появление белого кристаллического осадка $\text{CaC}_2\text{O}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ показывает наличие кальция. При малом содержании его в вытяжке осадок выделяется из раствора после 10–15-минутного стояния. По величине осадка и скорости его выделения из раствора устанавливают объем вытяжки, необходимый для проведения определения кальций-иона.

Величина осадка и скорость его выделения	Объем вытяжки для определения Ca^{2+} , мл
Большой, выпадающий быстро	5
Средний, выпадающий быстро	10
Слабая муть, выпадающая медленно	25
Слабая муть, выпадающая при стоянии	50 и более

Определение Ca^{2+} и Mg^{2+} начинают с определения их суммы. Для этого берут аликвоту (5–50 мл) водной вытяжки, помещают в коническую колбу объемом 250 мл и доводят объем вытяжки до 100 мл дистиллированной водой. Для устранения влияния мешающих катионов добавляют немного сульфата натрия или солянокислого гидроксилamina. Затем нагревают до 80° (до появления первых пузырьков, оторвавшихся от дна колбы). После этого приливают 10 мл хлоридно-аммиачного буфера с рН 10, чтобы создать определенную среду, затем присыпают индикатор хромоген черный. Титруют трилоном Б 0,01 н или 0,05 н до перехода винно-красной окраски через фиолетовую в голубую (оттитрованный раствор оставляют для комплексонометрического определения в нем ионов SO_4^{2-}). Обязательно титрование холостой пробы для определения содержания Ca^{2+} и Mg^{2+} в воде и реактивах.

Параллельно с суммой ионов Ca^{2+} и Mg^{2+} в другой аликвоте водной вытяжки определяют Ca^{2+} . Вытяжку помещают в коническую колбу для титрования (на 250 мл), доводят объем до 100 мл дистиллированной водой, приливают 2,5 мл 0,5%-ного раствора Na_2CO_3 и 13 мл 10%-ного раствора NaOH или KOH , присыпают индикатор мурексид. Раствор титруют трилоном Б до перехода ярко-розовой окраски в фиолетовую (лиловую).

Расчет проводят по следующим формулам:

$$\text{Ca}^{2+}, \text{ мг-экв/100 г почвы} = a \times N \times M,$$

где a – количество мл трилона Б, пошедшее на титрование Ca^{2+} ;
 N – нормальность трилона Б; M – множитель пересчета объема вытяжки на 100 г почвы (см. табл. 9).

$$\text{Ca}^{2+}, \% = \text{Ca}^{2+}, \text{ мг-экв/100 г почвы} \times 0,040,$$

где 0,040 – молярная масса эквивалента Ca^{2+} , г/ммоль.

$$\text{Mg}^{2+}, \text{ мг-экв/100 г почвы} = (b-a) \times N \times M,$$

где b – количество мл трилона Б, пошедшее на титрование суммы Ca^{2+} и Mg^{2+} ; a – количество трилона Б, пошедшее на титрование Ca^{2+} ; N – нормальность трилона Б; M – множитель пересчета объема вытяжки на 100 г почвы (см. табл. 9).

$$\text{Mg}^{2+}, \% = \text{Mg}^{2+}, \text{ мг-экв/100 г почвы} \times 0,024,$$

где 0,024 – молярная масса эквивалента Mg^{2+} , г/ммоль.

Форма записи результатов

Горизонт, глубина, см	Объем вытяжки, взятый для анализа, мл	Раствор комплексона III		Содержание Ca^{2+}		Содержание Mg^{2+}	
		н.	объем, по- шедший на титрование, мл	мг- экв/100 г почвы	%	мг-экв/100 г почвы	%

2.1.11. Определение сульфат-ионов

Сульфаты, переходящие из твердых фаз засоленных почв в водные вытяжки, представлены главным образом легкорастворимыми сульфатами щелочей и магния и менее растворимыми сульфатом кальция – гипсом ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$).

Сульфат-ионы в составе водных вытяжек могут быть определены инструментальными электрометрическими и спектроскопическими методами, а также химическими – гравиметрическими и титриметрическими. Все методы определения сульфат-ионов, и инструментальные и химические, основаны на образовании труднорастворимых сульфатов, главным образом сульфатов бария и свинца.

Определение сульфат-ионов комплексометрическим методом

При выполнении анализа водных вытяжек сульфат-ионы определяют путем их осаждения определенным объемом титрованного

раствора хлорида бария с последующим титрованием избытка не прореагировавшего бария раствором трилона Б. Титрование происходит в присутствии ионов Mg^{2+} и индикатора хромогена черного или кислотного эриохрома темно-синего. Поскольку ионы Ba^{2+} с этими индикаторами образуют очень непрочные комплексные соединения, то титрование ведут в присутствии иона Mg^{2+} .

Этот метод дает хорошие результаты, если концентрация ионов SO_4^{2-} выше 1 мг·экв/100 г почвы. При меньших концентрациях содержание SO_4^{2-} повышают путем выпаривания.

Ход определения. Определение SO_4^{2-} проводят в той же пробе, в которой проводилось комплексометрическое определение катионов Ca^{2+} и Mg^{2+} . Пробу кипятят, подкисляют по каплям 10%-ным раствором HCl до перехода окраски из синей в винно-красную и приливают из бюретки 10 мл титрованного раствора 0,05 н $BaCl_2$. Затем колбе дают остыть, после чего приливают 10 мл титрованного 0,05 н раствора $MgCl_2$, 10 мл хлоридно-аммиачного буферного раствора с pH 10 и добавляют индикатор хромоген черный или эриохром темно-серый. Титруют 0,05 н раствором трилона Б до голубой окраски.

Параллельно с этим для расчетов необходимо определить количество миллилитров трилона Б той же нормальности, пошедшее на титрование следующих смесей:

1) 10 мл $BaCl_2$ (0,05 н) + 10 мл $MgCl_2$ (0,05 н) + 5 мл хлоридно-аммиачного буферного раствора с pH 10 + хромоген черный. Титруют 0,05 н раствором трилона Б до голубой окраски.

2) 10 мл 0,05 н раствора $MgCl_2$ + 90 мл дистиллированной воды + 5 мл хлоридно-аммиачного буферного раствора с pH 10 + хромоген черный. Титруют 0,05 н раствором трилона Б.

Получив количество миллилитров трилона, пошедшее на титрование смеси $BaCl_2 + MgCl_2$, и, вычтя из него количество миллилитров трилона Б, пошедшее на титрование $MgCl_2$, по разности находим количество мл трилона, отвечающее взятому для титрования объему $BaCl_2$ (в формуле расчета эта величина обозначена а).

Вычисление содержания SO_4^{2-} в исследуемой водной вытяжке производят по следующей формуле:

$$\text{SO}_4^{2-}, \text{ мг}\cdot\text{экв}/100 \text{ г почвы} = [a - (b - c)] \times N \times M,$$

где a – количество мл трилона Б, отвечающее взятому для титрования объему BaCl_2 ; b – количество мл трилона Б, пошедшее на титрование анализируемой водной вытяжки; c – количество мл трилона Б, пошедшее на титрование MgCl_2 (вторая смесь); N – нормальность трилона Б; M – множитель пересчета объема вытяжки на 100 г почвы (см. табл. 9).

$$\text{SO}_4^{2-}, \% = \text{SO}_4^{2-}, \text{ мг}\cdot\text{экв}/100 \text{ г почвы} : 20,82,$$

где 20,82 – коэффициент пересчета г-иона SO_4^{2-} в мг·экв.

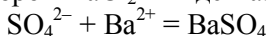
Форма записи результатов

Горизонт, глубина, см	Объем вытяжки, взятый для анали- за, мл	Раствор комплексона III			Содержание SO_4^{2-}	
		н.	Объем, пошедший на титро- вание, мл		мг- экв/100 г почвы	%
			объема BaCl_2	объема MgCl_2		

Определение сульфат-ионов

гравиметрическим (весовым) методом

Гравиметрический метод определения сульфат-ионов основан на их осаждении раствором BaCl_2 в виде BaSO_4 :



Для получения крупнокристаллического осадка осаждение ведут из горячего подкисленного раствора.

Ход определения. Аликвотную часть (5–50 мл) вытяжки помещают в термостойкий стакан, подкисляют соляной кислотой (10% HCl) до кислой реакции (по метиловому красному до розовой окраски). Нагревают до кипения. В опалесцирующих вытяжках при нагревании подкисленного раствора выпадает небольшой хлопьевидный осадок коллоидов, который отфильтровывают через маленький фильтр с синей лентой, промывают горячей дистиллированной водой, подкисленной HCl , и только после этого осаждают сульфат-ионы. Опалесцирующую вытяжку после подкисления

можно оставить стоять до следующего дня, после чего отфильтровать и промыть осадок.

В сильноокрашенных вытяжках из солонцов и солонцеватых почв ион SO_4^{2-} определяют в прокаленном остатке, так как присутствие органических веществ мешает определению сульфат-ионов.

В нагретом до кипения растворе проводят осаждение SO_4^{2-} следующим образом: прибавляют 3–5 капель 1%-ного раствора пикриновой кислоты для укрупнения осадка BaSO_4 ; после этого приливают при постоянном помешивании 5–10 мл нагретого до кипения 10%-ного раствора BaCl_2 (осторожно, яд!). Кипячение при помешивании продолжают 2–3 минуты, затем закрывают стеклом и оставляют стоять в теплом месте (на песчаной или водяной бане) на 4 часа для старения или рекристаллизации осадка.

После этого вытяжку испытывают на полноту осаждения. Раствор фильтруют через плотный (синяя лента) беззольный фильтр, предварительно промытый 2–3 раза кипящей дистиллированной водой (подкисленной соляной кислотой) до исчезновения в промывных водах реакции на барий (проба проводится серной 10%-ной кислотой: появление белой мути свидетельствует о наличии Ba).

Осадок подсушивают на воздухе и помещают в предварительно взвешенный на аналитических весах фарфоровый тигель, озольют и прокаливают в муфеле при температуре 800–900° в течение 40–45 минут. После прокаливания тигель с осадком охлаждают в эксикаторе и взвешивают на аналитических весах. Содержание SO_4^{2-} в вытяжке вычисляют по формуле:

$$\text{SO}_4^{2-}, \% = (a - b) \times 0,411 \times M,$$

где a – вес тигля с осадком, г; b – вес пустого тигля, г; 0,411 – коэффициент пересчета BaSO_4 на SO_4^{2-} ; M – множитель пересчета объема вытяжки на 100 г почвы (см. табл. 9).

$$\begin{aligned} \text{SO}_4^{2-}, \text{ мг}\cdot\text{экв}/100 \text{ г почвы} &= (\text{SO}_4^{2-}, \% \times 1000): 48,03 = \\ &= \text{SO}_4^{2-}, \% \times 20,82, \end{aligned}$$

где 48,03 – эквивалентный вес сульфат-иона; 20,82 – пересчет грамм-иона SO_4^{2-} в мг·экв SO_4^{2-} .

Форма записи результатов

Горизонт, глубина, см	Объем вы- тяжки, взя- тый для анализа, мл	Вес пустого тигля, г	Вес тигля с осадком, г	Содержание SO_4^{2-}	
				мг-экв/100 г почвы	мг-экв/100 г почвы

2.1.12. Определение Cl , SO_4^{2-} , Ca^{2+} , Mg^{2+} в темноокрашенных и мутных водных вытяжках

Хлориды, сульфаты, кальций и магний в темноокрашенных и мутных вытяжках определяют в остатке после прокаливания, что позволяет освободиться от окрашивающих органических веществ. Последующее фильтрование дает возможность отделить легкорастворимые соли от взвешенных частиц, загрязняющих прокаленный остаток и обуславливающих мутность водных вытяжек.

Определенное количество водной вытяжки (в зависимости от содержания определяемых ионов) помещают в фарфоровую чашку, выпаривают досуха на водяной бане и прокаливают сухой остаток в муфельной печи при температуре 600° в течение 10–15 минут. Если осадок не побелел, чашку охлаждают и смачивают содержимое её несколькими каплями дистиллированной воды, после чего остаток подсушивают на водяной бане и снова ставят в муфельную печь на 10–15 минут при температуре 600° . В том случае, когда обработка охлажденного остатка дистиллированной водой не способствует полному сжиганию органических веществ при повторном прокаливании, остаток растворяют в воде, отфильтровывают частицы угля через маленький беззольный фильтр, выпаривают фильтрат в этой же чашке на водяной бане досуха, озолотят в ней фильтр с углем и повторяют прокаливание.

Следует иметь в виду, что сжигать водорастворимые органические вещества в некоторых случаях очень трудно. Поэтому для определения прокаленного остатка в случае темно-окрашенной вытяжки (особенно черной вытяжки из солонцов) лучше брать небольшой объем этой вытяжки.

После полного сгорания органического вещества прокаленный остаток смачивают несколькими каплями HCl (уд. вес 1,19) для того, чтобы обезводить кремневую кислоту (при анализе водной вытяжки из солонцов). Затем содержимое чашки подсушивают на песчаной бане и еще раз повторяют обработку сухого остатка HCl (уд. вес 1,19), после чего сразу же приливают 2–3 мл дистиллированной воды и отфильтровывают выделившуюся SiO₂ через маленький беззольный фильтр, тщательно промывая при этом осадок дистиллированной водой.

Если нужно знать содержание кремневой кислоты, перешедшей в водную вытяжку, фильтр с осадком сжигают и взвешивают. Фильтрат и промывные воды собирают в химический стаканчик емкостью 100 мл и проводят определение анионов и катионов.

Определение Cl⁻ проводят титрованием AgNO₃ по Мору (см. § 2.1.9).

Определение SO₄²⁻. В фильтрате и промывных водах осаждают полуторные оксиды аммиаком. Осадок полуторных оксидов отфильтровывают через рыхлый беззольный фильтр, собирая фильтрат и промывные воды в мерную колбу емкостью 100 мл. Если нужно знать содержание полуторных оксидов, то фильтр с осадком сжигают и взвешивают. Для определения SO₄²⁻ берут из колбы 25–50 мл раствора и определяют содержание сульфат-ионов весовым или комплексонометрическим методом (см. § 2.1.11).

Определение Ca²⁺ и Mg²⁺ проводят без выделения полуторных оксидов в присутствии триэтаноламина комплексонометрическим методом (см. § 2.1.10).

2.1.13. Определение Na⁺ и K⁺

Прямое определение ионов щелочных металлов химическими методами занимает много времени и требует дорогих и дефицитных реактивов и платиновой посуды. В настоящее время натрий и калий в водных вытяжках и почвенных растворах определяют методами атомной спектроскопии – эмиссионной фотометрии пламени и пламенным атомно-абсорбционным методом. В недоста-

точно оборудованных лабораториях до сих пор определяют натрий и калий расчетным способом. При этом основываются на том, что анализируемые растворы электронейтральны, и сумма миллимолей эквивалентов анионов равна сумме миллимолей эквивалентов катионов. Определив экспериментально анионы и кальций и магний, вычисляют сумму натрия и калия путем вычитания из суммы миллимолей эквивалентов анионов сумму миллимолей эквивалентов кальция и магния. Поскольку содержание легкорастворимых солей калия в засоленных почвах незначительно, эту величину принято выражать содержанием иона натрия.

$$\text{Na}^+, \text{ мг·экв/100г} = \sum \text{анионов, мг·экв/100г} - \sum \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}, \text{ мг·экв/100 г}$$

$$\text{Na}^+, \% = \text{Na}^+, \text{ мг·экв/100 г почвы} \times 0,023,$$

где 0,023 – молярная масса эквивалента Na^+ , г/ммоль.

При расчете содержания иона Na^+ по разности на эту величину падают все ошибки аналитического определения анионов и катионов, поэтому указанную величину нельзя считать точной.

2.1.14. Определение водорастворимых органических веществ

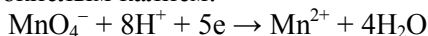
Количество органических веществ в водной вытяжке характеризует «подвижность» гумуса, которую изучают при исследовании солонцов, солонцеватых, дерново-подзолистых и болотных почв, а также при исследовании динамики почвенных процессов.

О содержании водорастворимых органических веществ судят по окисляемости водных вытяжек. Различают перманганатную окисляемость (по методу Кубеля–Тиманна) и бихроматную окисляемость (по методу Тюрина). Перманганатная окисляемость составляет примерно 50% от истинной окисляемости, т.е. от полного окисления органического углерода до CO_2 . Бихроматная окисляемость соответствует лишь 75% общего содержания углерода органических веществ водной вытяжки. Это связано с различной степенью окисленности природных органических соединений, окисление которых перманганатом и хромовой кислотой происходит не полностью. Тем не менее, оба метода позволяют проводить сравнительное изучение содержания водорастворимых органиче-

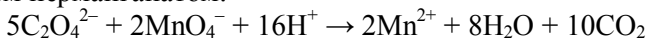
ских веществ почвы, особенно, если эти методы применять сопряженно: перманганатная окисляемость дает представление о содержании в почве наиболее легкоокисляемых веществ, бихроматная — о содержании более трудноокисляемых. Определение окисляемости органических веществ проводят в 2 повторностях.

Определение перманганатной окисляемости

Метод основан на окислении органических веществ в кислой среде марганцовокислым калием:



Избыток перманганата восстанавливают щавелевой кислотой, после чего остаток щавелевой кислоты учитывают обратным титрованием перманганатом:



Данный метод применим при небольшом содержании хлоридов (не больше 30 мг Cl⁻ в 100 мл вытяжки). Если хлоридов много, они взаимодействуют с перманганатом, искажая результаты содержания водорастворимых органических веществ.

Ход определения. 25–50 мл вытяжки помещают в коническую колбу (колбы должны быть обработаны хромовой смесью, а затем перманганатом при кипячении в кислой среде) емкостью 250 мл и разбавляют дистиллированной водой до объема 100 мл. Прибавляют 10 мл 25%-ного раствора H₂SO₄ и титруют 0,05 н раствором KMnO₄ до слабо-розовой окраски, исчезающей в течение 1 минуты. Записывают количество KMnO₄, затраченное на это титрование. Затем из бюретки приливают к анализируемому раствору точно 10 мл 0,05 н раствора KMnO₄. В раствор бросают несколько стеклянных капилляров, запаянных с одного конца, чтобы кипение было равномерное. Прикрывают колбу маленькими воронками, ставят на горячую электроплитку с закрытой спиралью и доводят до кипения.

Кипятят пробу точно 10 минут (по песочным часам). Кипение должно быть спокойным, а раствор должен оставаться окрашенным. Если раствор обесцветится или приобретет желтоватую окраску, определение следует повторить с меньшим количеством

вытяжки. После кипячения приливают бюреткой ровно 10 мл 0,05 н раствора $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$, перемешивая прилитую щавелевую кислоту взбалтыванием колбы с раствором, после чего сразу же титруют горячий обесцвеченный раствор вытяжки 0,05 н раствором KMnO_4 по каплям из бюретки до слабо-розовой окраски, исчезающей в течение 1 минуты.

Для установления величины саморазложения пергамента при кипячении в кислой среде проводят *контрольный (или холостой) опыт*: к 100 мл дистиллированной воды приливают все необходимые реактивы и проводят окисление, как описано выше, заканчивая титрованием до слабо-розовой окраски, исчезающей в течение 1 минуты. Результаты контрольного опыта вычитают из общего количества KMnO_4 , затраченного на окисление органических веществ водной вытяжки.

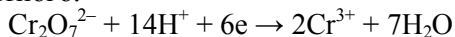
Содержание водорастворимых органических веществ вычисляют в процентном содержании углерода по формуле:

$$C, \% = [(a + a_1 - d) \times n_1 - v \times n_2] \times 0,003 \times M,$$

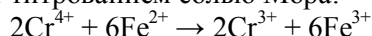
где a – количество мл KMnO_4 , пошедшее на титрование до кипячения; a_1 – количество мл KMnO_4 , пошедшее на титрование после кипячения; d – показания контрольного опыта; n_1 – нормальность раствора KMnO_4 ; n_2 – нормальность раствора $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$; v – количество мл $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$, израсходованное для обесцвечивания KMnO_4 ; 0,003 – величина мг-экв углерода; M – множитель пересчета взятого объема вытяжки на 100 г почвы (см. табл. 9).

Определение бихроматной окисляемости

Метод основан на окислении органических веществ хромовой кислотой, вследствие чего шестивалентный хром восстанавливается до трехвалентного:



Избыток хромовой кислоты, оставшейся в растворе после окисления, определяют титрованием солью Мора:



Ход определения. Аликвоту (10–25 мл) водной вытяжки помещают в коническую колбу для определения углерода (на 100 мл),

упаривают досуха на водяной бане и медленно приливают из бюретки 10 мл 0,2 н раствора $K_2Cr_2O_7$. Колбы ставят в нагретый сушильный шкаф и выдерживают 20 минут при температуре 140–160°. После охлаждения внутренние стенки колб обмывают небольшим количеством дистиллированной воды. Добавляют 6–8 капель фенилантраниловой кислоты и оттитровывают 0,1 н раствором соли Мора (до бутылочно-зеленой окраски).

Необходимо провести холостое определение и уточнить нормальность соли Мора в день титрования (со временем нормальность соли Мора уменьшается).

Холостое определение. В коническую колбу (на 100 мл) медленно из бюретки наливают 10 мл 0,2 н раствора $K_2Cr_2O_7$. Колбу ставят в нагретый шкаф и выдерживают 20 минут при температуре 140–160° вместе с определяемыми пробами. По истечении времени вынимают из шкафа и после охлаждения титруют солью Мора по фенилантраниловой кислоте до зеленого цвета.

Уточнение нормальности соли Мора. В коническую колбу на 250 мл приливают 1 мл концентрированной H_2SO_4 , добавляют 10 мл соли Мора (точно из бюретки) и 50 мл дистиллированной воды. Титруют на холоде 0,1 н (или 0,05 н) $KMnO_4$ до слабо-розовой окраски, исчезающей в течение 1 минуты. Расчет нормальности соли Мора (N_1) ведут по формуле:

$$N_1 = (N_2 \times V_2) : V_1,$$

где N_2 – нормальность $KMnO_4$; V_1 – объем соли Мора, мл; V_2 – объем $KMnO_4$, мл.

Содержание водорастворимого органического вещества рассчитывают по формуле:

$$C, \% = (a - b) \times N \times 0,003 \times M \times 1,3,$$

где a – количество мл соли Мора, пошедшее на титрование холостой пробы; b – количество мл соли Мора, пошедшее на титрование анализируемой вытяжки; N – нормальность соли Мора; 0,003 – граммовое значение мг-экв углерода; M – множитель пересчета объема вытяжки на 100 г почвы (см. табл. 9); 1,3 – коэффициент, введенный Тюриным.

Форма записи результатов

Горизонт, глубина, см	Объем вытяжки, взятый для анализа, мл	Соль Мора			С, %
		н.	Объем, пошедший на титрование, мл		
			холостая проба	анализируемая вытяжка	

2.1.15. Определение железа

Содержание водорастворимого железа обычно определяют в кислых почвах. Аликвоту (20–40 мл) водной вытяжки помещают в мерную колбу на 50 мл, добавляют несколько кристаллов аскорбиновой кислоты для перевода трехвалентного железа в двухвалентное, затем приливают 1 мл 10%-ного раствора фтористого натрия, 1 мл 10%-ного раствора борной кислоты, 2 мл буферного раствора с рН 4,75. Смесь в колбе должна иметь желтую окраску. Затем приливают 1 мл раствора α, α -дипиридила и доводят водой до метки. Колбы оставляют стоять 30 минут, затем колориметрируют.

Расчет проводят по формуле:

$$\text{FeO, \%} = (a \times M) : 1000,$$

где a – показания по графику; M – множитель пересчета объема вытяжки на 100 г почвы.

$$\text{FeO, мг-экв/100 г почвы} = \text{FeO, \%} \times 35,8,$$

где 35,8 – коэффициент пересчета грамм-иона FeO в мг-экв FeO.

2.2. Проверка точности результатов анализа водных вытяжек

Результаты анализа водных вытяжек можно оценить путем сопоставления можно оценить путем сопоставления величины сухого, или плотного, остатка с суммарным процентным содержанием анионов и катионов.

При суммировании процентов анионов и катионов берут половину найденного количества HCO_3^- , поскольку в процессе выпари-

вания при получении сухого остатка половина углекислоты бикарбонатов теряется по уравнению:



Предположим, что содержание анионов и катионов в процентах равно $\text{HCO}_3^- - 0,036$; $\text{Cl}^- - 0,891$; $\text{SO}_4^{2-} - 0,518$; $\text{Ca}^{2+} - 0,163$; $\text{Mg}^{2+} - 0,018$; $\text{Na}^+ - 0,621$. Поскольку при суммировании величину HCO_3^- берем в половинном количестве, получаем сумму солей – 2,229%.

Сухой остаток данной вытяжки равен 2,303%, т.е. превышает сумму ионов на 0,074%. Допустимое превышение находится в пределах 3–5%, поэтому указанное сопоставление говорит о достаточной точности выполненного анализа.

Но такой способ проверки недостаточно надежен, т.к. сумма ионов может быть больше или меньше величины сухого остатка, а величина сухого остатка всегда дает правильное представление о содержании солей в вытяжках. В засоленных почвах, где растворимых органических веществ мало, сумма ионов часто равна величине плотного остатка. Если растворимые в воде соли кристаллизуются с большим количеством гидратной воды, трудно отдаваемой при высушивании, вес остатка будет значительно выше, чем сумма ионов. В этом случае сумму солей сравнивают с величиной прокаленного остатка. Различия в величинах сухого остатка и суммы ионов могут быть обусловлены превращением в процессе высушивания гидрокарбонатов в карбонаты с выделением H_2O и CO_2 , хлоридов магния в MgOHCl с выделением свободного хлора. Особенно большое расхождение будет в темноокрашенных вытяжках за счет органических веществ, перешедших в вытяжку. В этом случае сумму солей следует сравнивать с величиной прокаленного остатка. При точно выполненном анализе водной вытяжки расхождение между величиной сухого остатка и суммой солей не должно превышать 5%.

Более надежным способом контроля точности выполнения анализа является сопоставление в составе водных вытяжек суммы миллимолей эквивалентов анионов и катионов. В.Д. Муха и др. (2013), при сравнении анионной и катионной части солей водной вытяжки расхождение не должно превышать 7%. Относительную

ошибку анализа водной вытяжки, когда определены главнейшие анионы (HCO_3^- ; Cl^- , SO_4^{2-}) и катионы (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+), авторы предлагают рассчитывать по формуле:

$$\Delta = \frac{\sum K - \sum A}{\sum K + \sum A}$$

где Δ – относительная ошибка анализа; $\sum A$ – сумма анионов, мг-экв/100 г почвы; $\sum K$ – сумма катионов, мг-экв/100 г почвы.

Поскольку растворы электронейтральны, количество миллимолей эквивалентов катионов должно соответствовать суммарному количеству миллимолей эквивалентов анионов. Однако и этот способ не всегда оказывается надежным, т.к. в водную вытяжку могут переходить соединения, не всегда в ней определяемые, например катионы Fe^{3+} , Al^{3+} , Mn^{2+} в кислых вытяжках, SiO_3^- в щелочных вытяжках, NO_3^- в солончаках нитратного засоления.

Результаты анализа водных вытяжек можно проверить сопоставлением результатов прямого определения натрия и калия пламенно-фотометрическим методом с косвенным определением натрия расчетным путем. Если прямое и косвенное определение натрия дадут близкие результаты, значит, все химические анализы выполнены правильно.

2.3. Использование и интерпретация результатов анализа водной вытяжки почв

Используя метод водной вытяжки, следует иметь в виду, что водную вытяжку нельзя отождествлять с почвенным раствором, так как первая показывает общее содержание легкорастворимых солей в почве, которое не равно концентрации солей в почвенном растворе. Поэтому результаты анализа водной вытяжки не позволяют оценить минерализованность почвенных растворов. Поскольку гидрофизические свойства разных почв неодинаковы, то возможны случаи, когда более высокой массовой доле солей в

почвах не будет соответствовать более высокая концентрация солей в почвенных растворах.

Результаты анализа водной вытяжки должны дать ответы на следующие вопросы:

1. Какова величина общего содержания легкорастворимых солей в почве и какова степень засоления данной почвы?

2. Каков качественный и количественный состав этих солей?

3. Присутствуют ли среди солей токсичные соли и какова их концентрация?

4. Какие типы засоления из установленных свойственны исследуемым почвам?

5. На каких стадиях засоления (рассоления) находятся исследуемые почвы?

Подходить к интерпретации результатов анализа следует с большой осторожностью. Действие воды на почву при получении водной вытяжки сводится не только к растворению солей. При добавлении воды к почве происходят процессы, влияющие на результаты анализа водной вытяжки, которые необходимо принимать во внимание при их чтении. Л.А. Воробьева (1998) указывает на следующие процессы, сопутствующие растворению солей при добавлении воды к почве:

1. Нарушение ионообменного равновесия между составом обменных катионов почвенного поглощающего комплекса и составом жидкой фазы почвы в силу того, что при получении водной вытяжки твердая фаза почвы взаимодействует с жидкой фазой суспензии, свойства которой отличаются от свойств жидкой фазы реальной почвы, в соответствии с составом которой находится катионный состав ППК. При этом нарушении возможна замена обменного натрия на кальций (и магний) жидкой фазы суспензии.

2. При добавлении воды к почве может происходить усиление гидролиза ППК, содержащего обменный натрий, по схеме:



В результате этого происходит увеличение значений pH.

3. При добавлении воды к почве могут растворяться не только легкорастворимые соли, но и слаборастворимые, что в некоторых

случаях может оказать заметное влияние на оценку засоления почв и результаты определения легкорастворимых солей.

В качестве примера можно привести гипс, растворимость которого невелика. Количество извлекаемого из почвы гипса зависит от разведения: оно тем больше, чем шире отношение почва – вода. Таким образом, количество извлекаемого из почвы гипса методом водной вытяжки может превысить то его количество, которое в природных условиях находится в почвенном растворе. В силу этого результаты анализа водной вытяжки в гипсоносных почвах будут завышенными за счет растворения гипса.

4. При получении водной вытяжки происходит разбавление адсорбированного почвой диоксида углерода: чем больше добавлено к почве воды, тем меньше концентрация CO_2 в жидкой фазе суспензии, т.е. ниже парциальное давление диоксида углерода в газовой фазе. А как известно, от уровня парциального давления CO_2 зависит растворимость труднорастворимых карбонатов, общая и карбонатная щелочность, а также величина рН.

При интерпретации результатов анализа водных вытяжек учитывают некоторые из вышеперечисленных процессов, сопутствующих растворению легкорастворимых солей. Так, в классификациях засоленных почв, основанных на содержании токсичных легкорастворимых солей, учитывается дополнительный по сравнению с почвенным раствором переход в водные вытяжки гипса. Разработаны классификации по степени засоления почв с учетом гранулометрического состава, а, следовательно, и их водоудерживающей способности. В соответствии с такой классификацией, например, при сульфатном типе засоления к очень сильнозасоленным относят супесчаные почвы при содержании солей, превышающем 0,76%, а глинистые – при содержании солей выше 1%.

Большинство же процессов, сопутствующих растворению солей при получении водных вытяжек, при интерпретации результатов анализов и в классификациях почв по химизму и степени засоления, как правило, не учитывается.

2.3.1. Общий запас водорастворимых солей

Для разработки агромелиоративных мероприятий на засоленных почвах большое значение имеет величина общего запаса водорастворимых солей в отдельных горизонтах почвы. Для вычисления запаса солей необходимо знать плотность сложения почвы, мощность горизонта или слоя, а также процентное содержание в нем плотного остатка. Запас солей вычисляют для верхнего и других слоев почвы на заданную глубину или для всего почвенного профиля, для чего сначала вычисляют запас солей в каждом слое, а затем суммируют полученные данные.

Запас солей вычисляют в килограммах на кубический метр по формуле:

$$\text{Запас солей, кг/м}^3 = (\mathbf{p} \times \mathbf{h} \times \mathbf{O}) : 10,$$

где p – плотность сложения почвы, г/см^3 ; h – мощность слоя, см; O – содержание плотного остатка, %.

2.3.2. Вычисление эквивалент-процентов ионов

Для оценки относительного содержания иона в составе вытяжки и сравнения вытяжек по этому признаку вычисляют эквивалент-проценты ионов. Вычисление эквивалент-процентов производят по формуле:

$$\mathbf{n, \%} = (\mathbf{n} \times 100) : \mathbf{c},$$

где $n, \%$ – эквивалент-процент иона; n – содержание иона в $\text{мг}\cdot\text{экв}/100$ г почвы; c – сумма анионов и катионов в $\text{мг}\cdot\text{экв}/100$ г почвы.

2.3.3. Степень и химизм засоления почв

Результаты исследования водной вытяжки используют, прежде всего, для установления степени засоленности почв. По степени засоления почвы подразделяют на слабо-, средне-, сильно- и очень сильнозасоленные. Классификации засоления почв по степени засоления разработаны как на основе общего содержания солей, пе-

реходящих в водную вытяжку, так и на основе содержания токсичных солей.

Различают следующие степени засоления почв (по общему содержанию солей, т.е. по величине плотного остатка) (по Зайдельману Ф.Р., 1987):

Степень засоления	Содержание солей, %
Незасоленные	Менее 0,3
Слабозасоленные	0,3–0,5
Среднезасоленные	0,5–1,0
Сильнозасоленные	1,0–2,0
Очень сильнозасоленные (в том числе солончаки)	Более 2,0

Результаты анализа водной вытяжки дают возможность установить характер, химизм или тип засоления. Качественная характеристика засоления дается в первую очередь по составу анионов. Различают хлоридный, сульфатно-хлоридный, сульфатный, хлоридно-сульфатный и бикарбонатно-сульфатный типы засоления. Тип засоления получает соответствующее название по горизонту максимального соленакопления. Тип засоления позволяет косвенно судить о направленности процессов засоления–рассоления. Для этого используют соотношение $\text{Cl}^-:\text{SO}_4^{2-}$. При передвижении солей и засолении почв и грунтов происходят закономерные изменения химического состава почвенного раствора и солевого профиля почв. В почвенных растворах всегда присутствуют хлориды и сульфаты. Ионы хлора более подвижны, соединения его более растворимы, нежели сульфаты. Поэтому при движении почвенных растворов хлориды опережают в своем движении сульфаты. Соотношение хлоридов и сульфатов в почве и грунтовых водах используется для суждения о направлении процесса засоления. Если отношение хлоридов к сульфатам в поверхностном слое почвы выше, чем в грунтовых водах, то это свидетельствует о *прогрессирующем засолении*. Если отношение хлоридов к сульфатам в поверхностном слое почвы ниже, чем в грунтовой воде (т.е. имеет место накопление сульфатов в почве), то это свидетельствует об оста-

точном или перемежающемся засолении (например, при пульсирующем водном режиме).

При определении типа засоления почв по анионному и катионному составу руководствуются их соотношениями в водной вытяжке в соответствии с параметрами, приведенными в табл. 10, 11. В наименование типа засоления следует включать анионы, содержание которых превышает 20% общей суммы анионов (ммоль на 100 г почвы); преобладающий анион в наименовании ставится на последнее место.

Содержание аниона CO_3^{2-} в расчет не включается, т.к. входит в величину общей щелочности. Если в водной вытяжке при значительном преобладании анионов SO_4^{2-} и Cl^- хотя бы в одном горизонте присутствует менее 20% суммы ммоль (-) анионов CO_3^{2-} , но более 0,03 ммоль (-) на 100 г почвы, засоление определяется по соотношению преобладающих ионов с добавлением к названию «с участием соды» (табл. 12).

Т а б л и ц а 10

**Типы засоления по анионному и катионному составу солей
(Классификация и диагностика почв СССР, 1977)**

Тип засоления	Отношение анионов, мг/экв			Отношение катионов и анионов, мг/экв
	$\text{Cl}^-:\text{SO}_4^{2-}$	$\text{HCO}_3^-:\text{Cl}^-$	$\text{HCO}_3^-:\text{SO}_4^{2-}$	
Хлоридное	> 2	–	–	–
Сульфатно-хлоридное	1–2	–	–	–
Хлоридно-сульфатное	0,2–1,0	–	–	–
Сульфатное	< 0,2	–	–	HCO_3^- более $\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$
Содово-хлоридное	> 1	< 1	> 1	–
Содово-сульфатное	< 1	> 1	< 1	–
Хлоридно-содовое	> 1	> 1	> 1	–
Сульфатно-содовое	< 1	> 1	> 1	–
Сульфатно- и хлоридно-гидрокарбонатное (щелочно-земельное)	–	> 1	> 1	$\text{Na}^+ < \text{Ca}^{2+}$, $\text{Na}^+ < \text{Mg}^{2+}$, $\text{HCO}_3^- > \text{Na}^+$

Тип засоления по катионному составу солей (мг/экв)
(Аринушкина, 1970)

Тип засоления	$\frac{Na+K}{Ca+Mg}$	$\frac{Ca+Mg}{Na+K}$	$\frac{Mg}{Ca}$
Натриевый	> 2	< 0,5	–
Магниево-натриевый	1–2	0,5–1	> 1
Кальциево-натриевый	1–2	0,5–1	< 1
Кальциево-магниевый	< 1	> 1	> 1
Магниево-кальциевый	< 1	> 1	< 1
Магниевый	< 2	–	–

То же следует делать в отношении ионов HCO_3^- , если количество их превышает 1,0 ммоль (–) на 100 г почвы, а HCO_3^- больше $Ca+Mg$ ммоль (+). Если повышенное содержание HCO_3^{2-} обусловлено $Mg(HCO_3)_2$, тип засоления определяется как гидрокарбонатный.

Е.В. Посохов (1969) предлагает использовать коэффициент содопроявления K_c , или коэффициент содовости.

$$K_c = \frac{HCO_3}{Ca + Mg}$$

где HCO_3 – содержание ионов HCO_3^- (мг-экв/100 г почвы); Ca^{2+} – содержание иона Ca^{2+} (мг-экв/100 г почвы); Mg^{2+} – содержание иона Mg^{2+} (мг-экв/100 г почвы).

Если величина коэффициента содопроявления превышает 1, можно считать, что в почве присутствует сода (Посохов, 1969). Немаловажным является вопрос о степени интенсивности содопроявления. А.В. Новикова (2009) рекомендует определять интенсивность содопроявления по величине коэффициента K_c учётом значений величин HCO_3 и $NaHCO_3$. в связи с чем, выделяет такие группы почв по интенсивности содопроявления:

- а) содопроявление отсутствует, K_c меньше единицы;
- б) содопроявление слабое – $K_c = 1,1-2$;
- в) содопроявление среднее – $K_c = 2-4$;
- г) содопроявление сильное – K_c более 4.

Степень засоления почв с учетом типа засоления определяется согласно параметрам, представленным в табл. 13. При оценке степени засоления может оказаться, что по одному показателю (например, по содержанию Cl^-) почва относится к средnezасоленной, а по плотному остатку к слабозасоленной и т.п. Определять степень засоления почвы в этих случаях следует по показателю, главному для данного типа засоления.

Наиболее сложно установить степень засоления почв хлоридно-сульфатного и сульфатного типов в связи с варьированием в этих почвах содержания гипса. Присутствие гипса сказывается как на общей сумме солей, так и на концентрации SO_4^{2-} -ионов. В таблице 13 в строке «сумма солей» приводятся сначала минимальные величины для этих характеристик, соответствующие наименьшему возможному содержанию гипса, перешедшего в водную вытяжку, а в скобках – максимальные величины.

Учитывая трудность установления степени засоления для указанных типов химизма почв, ее определяют по содержанию токсичных SO_4^{2-} -ионов и Cl^- , а также по сумме токсичных солей, расчет которых приведен ниже.

2.3.4. Расчет токсичных солей

В настоящее время экологическое действие солей принято оценивать по содержанию токсичных ионов. К токсичным относят ионы, способные образовывать токсичные соли. Главным диагностическим показателем засоленных почв является наличие хотя бы в одном горизонте почвенного профиля до глубины 2 м легкорастворимых солей в количествах, превышающих принятый порог токсичности для слабо- и среднесолестойких культур.

Группировка почв по химизму засоления (соотношение анионов, ммоль(-)/100 г почвы, метод водной вытяжки 1:5)* (Панкова, Воробьева, 2006)

Засоление нейтральное ($\text{Ш}_{\text{общ}} \leq \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$, pH < 8,5)		Засоление щелочное ($\text{Ш}_{\text{общ}} > \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$, pH > 8,5)		Засоление карбонатно-щелочное мелкое $\text{Ш}_{\text{общ}} \leq \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$, pH < 8,5	
$\text{Ш}_{\text{общ}} < 20\%$ от \sum анионов		$\text{Ш}_{\text{общ}} > 20\%$ от \sum анионов		$\text{Ш}_{\text{общ}} > 20\%$ от \sum анионов	
Химизм засоления					
Хлоридный	$\text{Cl}/\text{SO}_4 \text{ токс} > 2$	Содовый	$\text{Ш}_{\text{общ}} > \text{Cl}^-$ > SO_4^{2-}	Хлоридный и сульфатно-хлоридный с участием соды	Сульфатно-хлоридно-карбонатный
Сульфатно-хлоридный	$\text{Cl}/\text{SO}_4 \text{ токс} = 1-2$	Хлоридно-содовый	$\text{Ш}_{\text{общ}} > \text{Cl}^-$, $\text{SO}_4^{2-} < 20\%$ от \sum анионов	Хлоридный и сульфатно-хлоридный с участием соды	Сульфатно-хлоридно-карбонатный
Хлоридно-сульфатный	$\text{Cl}/\text{SO}_4 \text{ токс} = 0,5-1$	Сульфатно-содовый	$\text{Ш}_{\text{общ}} > \text{SO}_4^{2-}$, $\text{Cl}^- < 20\%$ от \sum анионов	Сульфатный и хлоридно-сульфатный с участием соды	
Сульфатный	$\text{Cl}/\text{SO}_4 \text{ токс} < 0,5$	Содово-хлоридный	$\text{Ш}_{\text{общ}} < \text{Cl}^-$, $\text{SO}_4^{2-} < 20\%$ от \sum анионов	Сульфатный и хлоридно-сульфатный с участием соды	
		Содово-сульфатный	$\text{Ш}_{\text{общ}} < \text{SO}_4^{2-}$, $\text{Cl}^- < 20\%$ от \sum анионов		

* В том случае, если содержания Ca^{2+} и SO_4^{2-} превышают 8–15 ммоль экв/100 г почвы, в названии химизма засоления отмечаются присутствие гипса.

Таблица 13

**Классификация почв по степени засоления в зависимости от химизма солей
(сумма солей – в %; содержание солей – в %/мгэкв)
(Классификация и диагностика почв СССР, 1977)**

Тип засоления	Степень засоления			
	Слабая	Средняя	Сильная	Очень сильная
Хлоридный и сульфатно-хлоридный (Cl:SO ₄ >1)				
Сумма солей*	0,1–0,2	0,2–0,4	0,4–0,8	>0,8
Cl ⁻	<u>0,01–0,03</u> 0,3–0,9	<u>0,03–0,1</u> 0,9–2,8	<u>0,1–0,23</u> 2,8–6,5	<u>>0,23</u> >6,5
Хлоридно-сульфатный (Cl:SO ₄ = 1–0,2)				
Сумма солей (в том числе токсичных)*	<u>0,2–0,4(0,6)</u> 0,1–0,25	<u>0,4(0,6)–0,6(0,9)</u> 0,25–0,5	<u>0,6(0,9)–0,9(1,4)</u> 0,5–0,9	<u>>1,4(1,7)</u> >0,9
Cl ⁻	<u>0,01–0,03</u> 0,3–0,8	<u>0,03–0,1</u> 0,8–2,7	<u>0,1–0,23</u> 2,7–6,4	<u>>0,28</u> >6,4
SO ₄ ²⁻ (токсичное)	<u>0,5–0,13</u> 1,0–2,7	<u>0,13–0,28</u> 2,7–5,8	<u>0,28–0,38</u> 5,8–8,0	<u>>0,38</u> >8,0
Сульфатный (Cl:SO ₄ <0,2)				
Сумма солей (в том числе токсичных)	<u>0,3(1)–0,4(1,2)</u> 0,15–0,3	<u>0,4(1,2)–0,8(1,5)</u> 0,3–0,6	<u>0,8(1,5)–1,4(2)</u> 0,6–1,4	<u>>1,4(2)</u> >1,4
Cl ⁻	<u><0,02</u> <0,6	<u>0,02–0,06</u> 0,6–1,6	<u>0,06–0,12</u> 1,6–3,5	<u>>0,12</u> >3,5
SO ₄ ²⁻ (токсичное)	<u>0,08–0,17</u> 1,7–3,5	<u>0,17–0,34</u> 3,5–7,0	<u>0,34–0,86</u> 7,0–18,0	<u>>0,86</u> >18
Хлоридно-содовый и содово-хлоридный (Cl:SO ₄ >1; HCO ₃ :Cl>1; HCO ₃ >Ca+Mg; Na>Mg; Na>Ca)				
Сумма солей	0,1–0,2	0,2–0,3	0,3–0,5	>0,5
Cl ⁻	<u>0,01–0,02</u> 0,3–0,7	<u><0,07</u> 0,7–2	<u><0,1</u> 2–3	<u>>0,1</u> >3
CO ₃ ²⁻	<u>0,001–0,002</u> 0,03–0,07	<u>0,002–0,006</u> 0,07–0,2	<u>0,006–0,01</u> 0,2–0,4	<u>>0,01</u> >0,4
HCO ₃ ⁻	<u><0,08</u> <1,4	<u>0,08–0,12</u> 1,4–2	<u>0,12–0,18</u> 2–3	<u>>0,18</u> >3
Сульфатно-содовый и содово-сульфатный (Cl:SO ₄ <1; HCO ₃ :SO ₄ >1; HCO ₃ >Ca+Mg; Na>Mg; Na>Ca)				
Сумма солей	0,15–0,25	0,25–0,4	0,4–0,6	>0,6
SO ₄ ²⁻	<u>0,04–0,07</u> 0,8–1,4	<u>0,07–0,1</u> 1,4–2	<u>0,1–0,19</u> 2–4	<u>>0,19</u> >4

Тип засоления	Степень засоления			
	Слабая	Средняя	Сильная	Очень сильная
CO_3^{2-}	$\frac{0,001-0,002}{0,03-0,08}$	$\frac{0,002-0,009}{0,08-0,3}$	$\frac{0,009-0,015}{0,3-0,5}$	$\frac{>0,015}{>0,5}$
HCO_3^-	$\frac{<0,08}{<1,4}$	$\frac{0,08-0,15}{1,4-2,5}$	$\frac{0,15-0,21}{2,5-3,5}$	$\frac{>0,21}{>3,5}$
Сульфатно-хлоридно-гидрокарбонатный ($\text{HCO}_3 > \text{Cl}$; $\text{HCO}_3 > \text{SO}_4$; $\text{Na} < \text{Ca}$; $\text{Na} < \text{Mg}$; $\text{HCO}_3 > \text{Na}$)				
Сумма солей	0,2–0,4	0,4–0,5	Не встречаются	
SO_4^{2-}	$\frac{<0,1}{<2}$	$\frac{0,1-0,12}{2-2,4}$		
Cl^-	$\frac{<0,03}{<1}$	$\frac{0,03-0,07}{1-2}$		
HCO_3^-	$\frac{<0,12}{<2}$	$\frac{0,12-0,15}{2-2,4}$		

* При отсутствии анализов полных водных вытяжек вместо суммы солей можно использовать величину плотного остатка.

В различных засоленных почвах может присутствовать одно и то же количество солей, но в зависимости от состава этих солей почвы могут обладать разной степенью засоленности, что обусловлено неравноценной токсичностью для растений различных легкорастворимых солей. Чтобы перейти к установлению степени засоленности с учетом токсичности солей, необходимо остановиться на понятии «порога токсичности» и на методике расчета токсичных и нетоксичных солей по данным анализа водной вытяжки.

Порогом токсичности называется то предельное количество солей в почве, выше которого начинается угнетение роста и развития растений. Величина его в первую очередь зависит от состава солей, а затем от гранулометрического состава почвы, ее увлажненности, климатических условий, вида растений и др. По данным анализов водной вытяжки пороги токсичности по отдельным ионам составляют (по: Мякиной Н.Б., Аринушкиной Е.В., 1979):

- по Cl^- – 0,3 мг·экв/100 г почвы;
- по SO_4 , связанному с Na и Mg – 1,7 мг·экв/100 г почвы;

- по HCO_3^- , связанному с Na и Mg – 1,0–0,8 мг·экв/100 г почвы;
- по HCO_3^- (общему) – 1,4 мг·экв/100 г почвы.

По сумме солей пороги токсичности составляют для почв:

хлоридного и сульфатно-хлоридного засоления – 0,1%;

сульфатно-натриевого засоления – 0,15%;

сульфатного засоления с участием гипса – до 1,0%

щелочного ряда (содовых) – 0,1%.

Метод расчета токсичных и нетоксичных солей основан на связывании ионов в определенной последовательности в гипотетичные соли, начиная с менее растворимых к более растворимым. В первую очередь связываются катионы и анионы карбонатов в таком порядке: Na_2CO_3 , MgCO_3 , $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$, $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$, NaHCO_3 . Далее – с анионами SO_4^{2-} в последовательности: CaSO_4 , Na_2SO_4 , MgSO_4 . В последнюю очередь с Cl^- : NaCl , MgCl_2 , CaCl_2 .

Ионы CO_3^{2-} очень токсичны, если они связаны с Na^+ и Mg^{2+} .

Ионы HCO_3^- могут быть обусловлены присутствием в водной вытяжке как токсичных солей – NaHCO_3 , $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$, так и нетоксичных – $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$. В первую очередь выявляется возможное содержание $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$, для чего количество HCO_3^- связывают с эквивалентным ему количеством Ca^{2+} . Если количество HCO_3^- после этого связывания остается еще свободным, его сначала связывают с Mg^{2+} , а потом с Na^+ .

Ион SO_4^{2-} нетоксичен, когда он входит в состав гипса, и токсичен, когда связан с Mg^{2+} (MgSO_4) или с Na^+ (Na_2SO_4). В первую очередь связывают SO_4^{2-} с Ca^{2+} , остаточным после соединения его с HCO_3^- . Если ион SO_4^{2-} после этого еще остался, соединяют его сначала с Na^+ , а затем (если количество SO_4^{2-} не все связалось) с Mg^{2+} .

Ионы Cl^- токсичны. Связывание их производится в последовательности такого ряда солей: NaCl , MgCl_2 , CaCl_2 , т.е. начиная с менее растворимых солей.

Выявив, таким образом, гипотетичные токсичные и нетоксичные соли, рассчитывают массовую долю токсичных солей (в процентах) от общего содержания солей в водной вытяжке.

Токсичными солями являются сода, все соли Na, хлориды, сульфаты магния, $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$. *Нетоксичные соли* – $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$, CaCO_3 , CaSO_4 , MgCO_3 .

При расчете содержания токсичных солей принимают, что ионы Cl^- , Na^+ , Mg^{2+} переходят из твердых фаз почв в водные вытяжки главным образом вследствие растворения легкорастворимых, или токсичных, солей.

Тогда как HCO_3^- , SO_4^{2-} и Ca^{2+} поступают в водные вытяжки в результате растворения как токсичных солей, например NaHCO_3 , Na_2SO_4 , MgSO_4 , так и солей малорастворимых, таких, как гипс и кальцит, которые к токсичным не относят.

Содержание токсичных ионов ориентировочно (Ca^{2+} отнесен к токсичным солям) рассчитывают по уравнениям:

$$\text{HCO}_3^-_{\text{токс.}} = \text{HCO}_3^- - \text{Ca}^{2+}, \text{ если } \text{HCO}_3^- > \text{Ca}^{2+};$$

$$\text{SO}_4^{2-}_{\text{токс.}} = \text{SO}_4^{2-} - (\text{Ca}^{2+} - \text{HCO}_3^-), \text{ если } \text{HCO}_3^- < \text{Ca}^{2+};$$

$$\text{Ca}^{2+}_{\text{токс.}} = \text{Ca}^{2+} - \text{SO}_4^{2-} - \text{HCO}_3^-,$$

где HCO_3^- , SO_4^{2-} , Ca^{2+} – общее количество эквивалентов ионов, которое было определено методом водной вытяжки, мг·экв/100 г почвы; $\text{HCO}_3^-_{\text{токс.}}$, $\text{SO}_4^{2-}_{\text{токс.}}$, $\text{Ca}^{2+}_{\text{токс.}}$ – количество мг·экв ионов, которое перешло из твердой фазы почвы в водную вытяжку вследствие растворения токсичных солей, мг·экв/100 г почвы.

При вычислении массовой доли (%) токсичных солей сначала рассчитывают содержание миллимолей эквивалентов токсичных ионов HCO_3^- ($\text{Ш}_{\text{токс.}}$), SO_4^{2-} ($\text{Ш}_{\text{токс.}}$). Затем вычисляют и суммируют массовые доли (%) всех токсичных ионов (HCO_3^- ($\text{Ш}_{\text{токс.}}$), SO_4^{2-} ($\text{Ш}_{\text{токс.}}$), Cl^- , Mg^{2+} , Na^+ , K^+). Этот показатель называют суммой токсичных солей и обозначают символами $S_{\text{токс}}$ или $\sum_{\text{токс.}}$.

Расчет токсичных ионов производят только в том случае, когда содержание Ca^{2+} в водной вытяжке более 2 мг·экв/100 г почвы.

Значения порогов токсичности для среднесолестойких культур почв разного типа засоления и их классификация по степени засоления приведены в табл. 14.

Для приблизительной оценки суммы токсичных солей предложено эмпирическое уравнение:

$$\text{Сумма токсичных солей, \%} = (\text{Na}^+ + \text{Mg}^{2+}) : 15,$$

где Na^+ и Mg^{2+} – содержание мг·экв/100 г почвы натрия и магния, которое было определено методом водной вытяжки.

Разработана классификация почв по степени засоления с учетом «суммарного эффекта» токсичных ионов. «Суммарный эффект» можно посчитать разными способами:

$$\langle \text{Эффект} \rangle = \text{СГ, мг·экв} + (\text{SO}_4^{2-}, \text{мг·экв} : 5)$$

«Суммарный эффект» принято выражать в эквивалентах хлора. При этом действие 1 мг·экв СГ по токсичности приравнивают к действию 0,1 мг·экв CO_3^{2-} ; 3 мг·экв HCO_3^- ; 6 мг·экв SO_4^{2-} , т.е.:

$$1\text{СГ} = 0,1\text{CO}_3^{2-} = 3\text{HCO}_3^- = 6\text{SO}_4^{2-}$$

(анионы, связанные с натрием и магнием)

Таким образом, «эффект» можно посчитать не через SO_4^{2-} , а через CO_3^{2-} , HCO_3^- :

$$\langle \text{Эффект} \rangle = \text{СГ, мг·экв} + (\text{CO}_3^{2-}, \text{мг·экв} : 0,1)$$

$$\langle \text{Эффект} \rangle = \text{СГ, мг·экв} + (\text{HCO}_3^-, \text{мг·экв} : 3)$$

Классификация почв по степени засоления с учетом «суммарного эффекта» токсичных ионов имеет следующий вид:

Степень засоления	«Суммарный эффект» токсичных ионов (CO_3^{2-} , HCO_3^- , СГ, SO_4^{2-}), мг·экв
Незасоленные	< 0,3
Слабозасоленные	0,3–1,0
Среднезасоленные	1,0–3,0
Сильнозасоленные	3,0–7,0
Очень сильнозасоленные	> 7,0

Для хлоридно-сульфатного и сульфатного типов химизма почв степень засоления, согласно «Классификации и диагностики почв СССР» (1977) определяют по содержанию токсичных SO_4^{2-} -ионов и СГ, а также по сумме токсичных солей. SO_4^{2-} -ионы могут быть обусловлены, как говорилось выше, присутствием как токсичных (Na_2SO_4 , MgSO_4), так и нетоксичных (CaSO_4) солей. Для расчета содержания токсичных (связанных с Na^+ и Mg^{2+}) ионов SO_4^{2-} из общего содержания мг·экв SO_4^{2-} в водной вытяжке вычитают количество мг·экв кальция, уменьшенное на величину мг·экв HCO_3^- бикарбоната кальция.

Классификация почв по содержанию токсичных солей в зависимости от химизма засоления,
% в водной вытяжке при соотношении почва–вода 1:5 (Панкова, Мазиков, 1985)

	Химизм засоления (соотношение ионов), мг-экв					
	Нейтральное			Щелочное		
	Хлоридный, сульфатно-хлоридный	Хлоридно-сульфатный	Сульфатный	Хлоридно-содовый, хлоридный	Сульфатно-содовый, дово-сульфатный	Сульфатно-хлоридно-гидрокарбонатный
Степень засоления почв	Cl:SO ₄ > 1 pH < 8,5	Cl:SO ₄ = 1-2 pH < 8,5	Cl:SO ₄ < 0,2 pH < 8,5	Cl:SO ₄ > 1 pH > 8,5 HCO ₃ > Ca+Mg HCO ₃ > Cl HCO ₃ < SO ₄	Cl:SO ₄ < 1 pH > 8,5 HCO ₃ > Ca+Mg HCO ₃ > Cl HCO ₃ > SO ₄	— pH ≤ 8,5 HCO ₃ ≤ Ca+Mg HCO ₃ > Cl HCO ₃ > SO ₄
Порог токсичности (незасоленные почвы)	< 0,05	< 0,1	< 0,15	< 0,1	< 0,15	< 0,15
Слабозасоленные	0,05–0,12	0,1–0,25	0,15–0,3	0,1–0,15	0,15–0,25	0,15–0,3
Среднезасоленные	0,12–0,35	0,25–0,5	0,3–0,6	0,15–0,3	0,25–0,4	0,3–0,5
Сильнозасоленные	0,35–0,7	0,5–1,0	0,6–1,5	0,3–0,5	0,4–0,6	Не встречаются
Высокий уровень засоления (солончаки)	> 0,7	> 1,0	> 1,5	> 0,5	> 0,6	Не встречаются

$$\text{SO}_4^{2-} (\text{токс. солей}) = \text{SO}_4^{2-} (\text{водной вытяжки}) - [\text{Ca}^{2+} (\text{водной вытяжки}) - \text{HCO}_3^- (\text{связанный с Ca}^{2+})]$$

$$\text{SO}_4^{2-} (\text{токс. солей}) = \text{SO}_4^{2-} (\text{водной вытяжки}) - [\text{Ca}^{2+} (\text{водной вытяжки}) + \text{HCO}_3^- (\text{водной вытяжки})]$$

Чтобы получить сумму токсичных солей, содержание Ca^{2+} в мг·экв умножают на коэффициент 0,006, а содержание токсичных солей SO_4^{2-} -ионов в мг·экв на коэффициент 0,07 и полученные произведения складывают.

2.4. Способы представления результатов анализа водных вытяжек

2.4.1. Таблицы и солевые профили

Результаты анализа водных вытяжек представляют в виде таблицы и так называемых солевых профилей, отражающих соотношение ионов в составе солей и их распределение по почвенному профилю.

Таблицы результатов анализа водных вытяжек из почв могут иметь следующий вид (табл. 15).

Таблица 15

Результаты анализа водных вытяжек из лугово-полупустынного корково-столчатого солонца (по Л.А. Воробьевой, 1998)

Глубина, см	Ммоль(экв)/100 г почвы							%	
	HCO_3^-	Cl^-	SO_4^{2-}	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^+	K^+	Сумма солей	Сумма токсич. солей
0–4	0,59	след	след	0,10	0,09	0,30	0,08	0,05	0,04
6–10	0,72	–/–	–/–	0,10	0,16	0,40	0,07	0,06	0,05
15–21	1,86	1,87	–/–	след	0,34	3,20	0,19	0,26	0,26
30–40	0,33	6,62	11,30	4,28	1,82	12,0	0,19	1,19	0,89
53–58	0,24	7,19	5,28	1,38	1,30	9,90	0,13	0,80	0,70
65–75	0,11	10,70	22,10	15,3	4,42	13,0	0,29	2,12	1,08
125–130	0,27	10,80	3,34	0,90	1,18	12,0	0,29	0,88	0,82

Данные анализа водной вытяжки (для анионов и катионов) можно представлять в виде дроби: %/мг·экв на сухую почву:

Глубина, см	Сух. остаток, %	Щелочность		Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺
		CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻					
0-5	0,08	нет	$\frac{0,43}{0,70}$	$\frac{0,001}{0,03}$	$\frac{0,010}{0,21}$	$\frac{0,005}{0,25}$	$\frac{0,003}{0,25}$	$\frac{0,008}{0,35}$

Для построения солевых профилей на оси ординат показывают глубину почвенного профиля и анализируемых проб в сантиметрах. Справа и слева от оси ординат на оси абсцисс показывают количество анионов и катионов (соответственно) в мг·экв/100 г почвы. Как правило, при построении кривых распределения ионов в рамках солевого профиля на оси абсцисс за нуль принимают кривую распределения предшествующего иона. Это позволяет получать симметричное относительно оси ординат изображение солевого профиля (рис. 1).

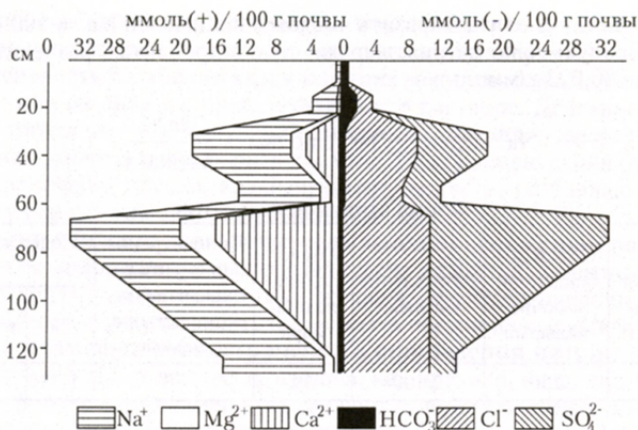


Рис. 1. Солевой профиль лугово-полупустынного корково-столбчатого солонца (по Л.А. Воробьевой)

2.4.2. Типы распределения солей по профилю почв

По типу солевых профилей, по характеру распределения солей устанавливают стадию засоления, на которой находится та или иная почва. Можно выделить следующие типы солевых профилей.

1. *Солончаковый профиль* (рис. 2) – максимум водорастворимых солей приурочен к верхней части профиля при значительном количестве по всему профилю. Это свидетельствует о стадии прогрессивного засоления, почва – мощный солончак.

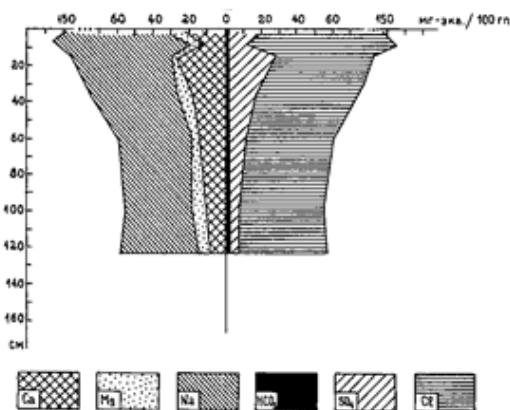


Рис. 2. Солевой профиль солончака хлоридного Туранской равнины (по Е.И. Панковой и др., 1996)

2. *Призмовидный солевой профиль* (рис. 3) – соли распределяются по всему профилю почвы относительно равномерно.

3. *Пирамидальный солевой профиль* (рис. 4) – содержание солей нарастает с глубиной при значительном количестве по всему профилю и наличии одного солевого максимума, приуроченного к нижним горизонтам. Это может свидетельствовать о начавшемся интенсивном развитии дренированности, опускании грунтовых вод и, как следствие всех этих процессов, о последовательном удалении различных солей, о их выносе в грунтовые воды.

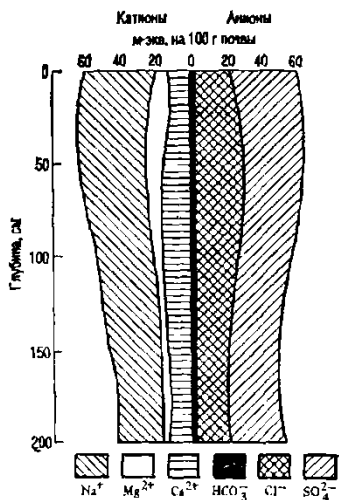


Рис. 3. Солевой профиль солончака пустынно-степной зоны (по Кауричеву, 1989)

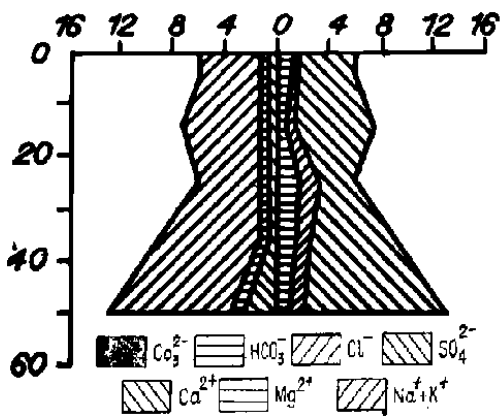


Рис. 4. Солевой профиль обрабатываемого среднестолбчатого солонца, содержащего гипс (по Курачеву, Рябовой, 1981)

4. *Солевой профиль с несколькими соевыми максимумами* (рис. 5) при значительном количестве солей по всему профилю свидетельствует о том, что длительные периоды засоления при формировании почвы сменялись периодами рассоления.

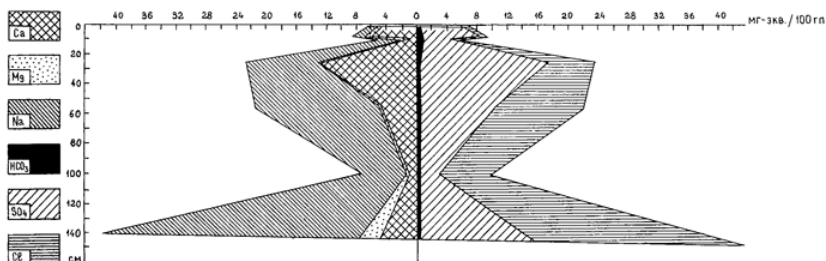


Рис. 5. Солевой профиль серо-бурой пустынной солончаковой гипсоносной почвы (по Е.И. Панковой и др., 1996)

Такая перемежаемость засоления и рассоления может свидетельствовать о том, что на данной территории опускание базиса эрозии, начало рассоления и дренирования района и последующее снижение уровня грунтовых вод перемежалось с его поднятием. Процесс рассоления замедлялся или шел вспять, большие количества солей задерживались на той глубине, на которой их заставал данный процесс.

5. *Солевой профиль с максимумом солей на некоторой незначительной глубине* (рис. 6) свидетельствует о сезонной миграции солей или о начавшемся рассолении.

6. *Солевой профиль с резко выраженным максимумом солей в верхнем горизонте при невысоком содержании солей в остальной толще почвенного профиля* (рис. 7) свидетельствует о первоначальной стадии засоления. Почва является солончаком маломощным.

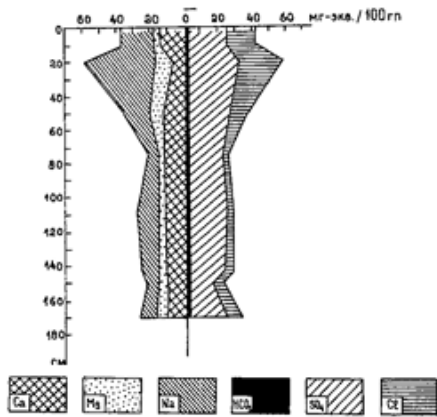


Рис. 6. Солевой профиль солончака сульфатно-хлоридного Туранской равнины (по Е.И. Панковой и др., 1996)

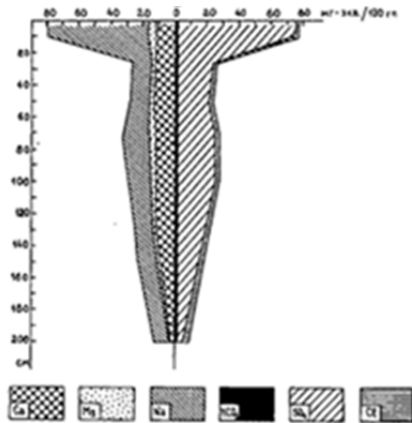


Рис. 7. Солевой профиль солончака сульфатного Туранской равнины (по Е.И. Панковой и др., 1996)

7. Солевой профиль с максимальным содержанием солей на некоторой глубине на фоне расслоения верхних горизонтов (рис. 8) свидетельствует о формировании иллювиального по отношению к солям горизонта (например, в солонцах).

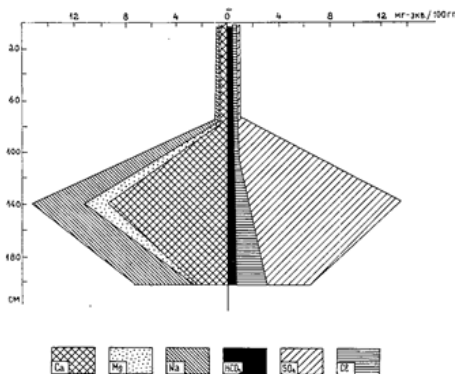


Рис. 8. Солевой профиль серозема светлого солончаковатого (по Е.И. Панковой и др., 1996)

8. Солевой профиль с постепенным увеличением содержания солей с глубиной при общем незначительном их количестве (рис. 9) характерен для зональных солончаковатых почв (например, каштановых).

Таким образом, характер солевого профиля дает представление о динамике процессов засоления в почвах и помогает установить стадии засоления при их формировании:

1. В верхнем горизонте имеется резко выраженный максимум солей, глубже содержание солей невысокое — это солончак мало-мощный, почва находится на первоначальной стадии засоления.

2. Соли аккумулируются в значительном количестве по всему профилю при максимуме солей в верхней его части — солончак мощный, почва находится на стадии прогрессивного засоления.

3. Соли находятся в значительном количестве по всему профилю при наличии нескольких солевых максимумов — значит, при

формировании почвы длительные периоды засоления сменялись периодами рассоления.

4. Соли находятся в значительном количестве по всему профилю при наличии одного солевого максимума, приуроченного к нижним горизонтам – это свидетельствует о том, что почва находится в стадии рассоления.

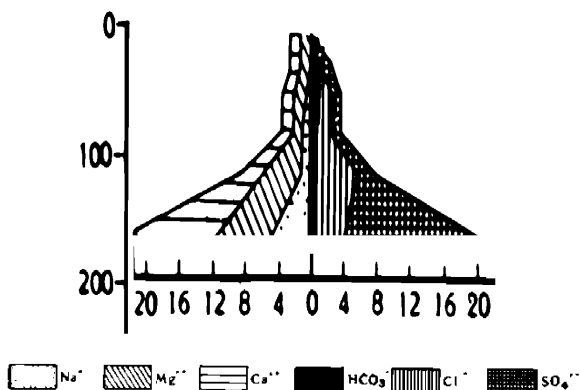


Рис. 9. Солевой профиль светло-каштановой солонцеватой тяжелосуглинистой почвы (по Вадюниной, 1970)

2.5. Оценка засоления почв методами электрического сопротивления

В настоящее время основными способами оценки засоления почв являются анализы почвенных растворов, фильтратов из насыщенных водой почвенных паст и водных вытяжек (1:5) (Засоленные почвы, 2006). Перечисленные методы обладают как достоинствами, так и недостатками и позволяют оценить разные аспекты засоления почв. Критерии оценки засоления почв разработаны применительно к каждому из методов. К засоленным относятся почвы, если содержание в них солей превышает пороги токсичности, которые соответствуют (Поздняков и др., 2012):

1) концентрации солей в почвенном растворе – 3–5 г/л (Ковда, 1968);

2) сумма токсичных солей, полученных методом водных вытяжек – 0,05–0,015% (Базилевич, Панкова, 1972; Классификация..., 1977);

3) удельной электропроводности фильтратов из насыщенных водой почвенных паст – 2–4 мСм/см (Почвы аридной..., 1968; Soil survey..., 1979).

В России зависимость удельного электрического сопротивления (ρ) от засоления (c) почв в лабораторных условиях изучалось К.К. Гедройцем в начале XX в. Позже А.Ф. Вадюниной (1937, 1970) изучалась зависимость электропроводности (χ) почв от концентрации раствора, увлажнения и плотности. Была установлена высокая корреляционная связь между электропроводностью почвы и плотным остатком водной вытяжки (коэффициент корреляции равнялся 0,96–0,97).

Согласно А.И. Позднякову с соавторами (2012), водная вытяжка не может дать полную информацию об ионной концентрации в почвах, с которой имеет дело растение: водная вытяжка показывает более высокое удельное электрическое сопротивление, чем влагонасыщенная почва естественного сложения или почвенная паста, и как следствие, меньшую концентрацию ионов. Растения испытывают угнетающее воздействие легкорастворимых солей и поглощают элементы питания непосредственно в почве, поэтому, считают авторы, устранять почву из системы измерения, что происходит при всех экстракциях легкорастворимых солей, не является правильным. В связи с этим целесообразно разрабатывать методы измерения засоления с учетом этого факта.

В практику почвенных исследований стали внедряться модифицированные геофизические методы определения сопротивления и специально разработанные портативные приборы «LandMapper ERM-02» для измерения электрического сопротивления в почвах в полевых условиях.

Почвенные горизонты, характеризующиеся сопротивлением выше, чем 20 Ом, являются незасоленными или слабозасоленными

с общим содержанием солей менее 0,3%. Сопротивление 10–20 Ом соответствует засоленности от 0,3 до 0,5%, а сопротивление менее 3 Ом – более 1%.

С целью устранения влияния на показатели сопротивления таких факторов, как увлажнение, температура, неоднородность почвенного образца, измерения проводятся в лабораторных условиях в почвенных пастах. Для оценки засоления готовят пасту до состояния текучести. Почву измельчают до состояния небольших агрегатов и, не пропуская через сито, помещают в удобную лабораторную посуду и замешивают, постепенно добавляя дистиллированную воду. Пасту доводят до состояния нижнего предела текучести (верхнего предела пластичности). В полевых условиях для приготовления почвенной пасты, при отсутствии дистиллированной воды, можно использовать чистую дождевую воду или кипяченую мягкую воду.

Коллективом исследователей (Поздняков и др., 2012) были обследованы почвы в аридной зоне. Ими рекомендуется обследовать почвы при высокой влажности (выше 1,5 МГ), что устраняет ее влияние на сопротивление и вычленяет влияние других факторов, в первую очередь, засоление. На основании полученных данных при изучении бурых полупустынных и каштановых почв А.И. Поздняковым с соавторами (2012) предложена примерная оценка засоления почв по электрическому сопротивлению (r , Ом·м) при влажности >5%:

$r \geq 10$ – почвы незасоленные;

$r = 10-5$ – почвы средnezасоленные;

$r < 3$ – почвы сильнозасоленные, солончаки.

Эта группировка хорошо соотносится с имеющейся классификацией, предложенной А.Ф. Вадюниной (1979) для почв содового-сульфатного засоления по водной вытяжке (табл. 16).

Таким образом, информацию о степени засоления почв можно довольно быстро получить по электросопротивлению, измерить которое существенно проще, чем определить плотный остаток в водной вытяжке, в связи, с чем этот метод должен использоваться

при мелиорации засоленных почв и проведении солевой съемки мелиорируемых территорий.

Т а б л и ц а 16

**Классификация для почв содово-сульфатного засоления
(по Вадюниной, 1979)**

Степень засоления	Плотный остаток, %	Сопротивление, Ом
Незасоленные	< 0,25	> 10
Слабозасоленные	0,25–0,50	10–6
Среднезасоленные	0,50–1,00	6–4
Сильнозасоленные	1,00–2,00	4–2,5
Солончаки	> 2,00	< 2,5

2.6. Извлечение легкорастворимых солей методом насыщенных водой почвенных паст

Для получения фильтратов из насыщенных водой почвенных паст используют пластиковые контейнеры, плотно закрывающиеся крышками (Methods..., 1982), или другие емкости, например, фарфоровые чашки, которые при проведении анализа помещают в полиэтиленовые пакеты, чтобы предотвратить испарение влаги (Руководство..., 1990). При проведении исследований методом насыщения водой почвенных паст определяют содержание в них влаги. С этой целью взвешивают контейнеры с почвой до и после добавления дистиллированной воды или при приготовлении пасты воду добавляют из бюретки и фиксируют объем воды. В обоих случаях при расчете влажности пасты необходимо учитывать воду, содержащуюся в навеске исходной анализируемой почвы. Можно определять содержание воды в пасте из отдельной ее навески. Определив концентрацию компонента в фильтрате из насыщенной водой пасты и зная массу почвы и массовую долю (%) воды в пасте, можно, если это необходимо, вычислить массовую долю (%) солей или отдельных ионов, перешедших из твердых фаз почвы в фильтрат из пасты.

*Методика получения фильтратов из насыщенных водой
почвенных паст*

От 200 до 400 г почвы, пропущенной сквозь сито с отверстиями диаметром 2 мм, помещают в пластиковый контейнер или другую емкость и добавляют дистиллированную воду при перемешивании шпателем.

Время от времени для консолидации смеси почвы и воды постукивают сосудом о стол. Воду добавляют до тех пор, пока смесь почвы и воды не будет удовлетворять следующему ряду требований: 1) поверхность насыщенной водой почвенной пасты должна блестеть; 2) паста должна слегка течь, если наклонять сосуд, в котором пасту готовят; 3) паста должна слегка скользить по шпателю, за исключением почв с высоким содержанием глины. Приготовленную пасту выдерживают 4 часа или оставляют ее на ночь, и снова проверяют правильность ее приготовления по перечисленным тестам. На поверхности пасты не должно быть свободной воды, в противном случае к пасте добавляют немного сухой почвы. Паста не должна заметно затвердеть или потерять блеск, в этом случае к ней добавляют воду.

Лучшие результаты получают, если первоначально к почве добавляют воду в небольшом количестве и при минимальном перемешивании. М. Jackson (1962) рекомендует 1/2-2/3 необходимого количества воды вносить по стенке сосуда, в котором готовят пасту, и выдерживать ее не более 6 ч, чтобы избежать влияния биологических процессов. Сухие торфяные почвы предварительно пропитывают водой в течение ночи, а затем готовят из них пасты.

Приготовленную пасту переносят в воронку Бюхнера с предварительно вложенным в нее фильтром и получают фильтрат отсасыванием под вакуумом. Отсасывание прекращают, когда через пасту пройдет воздух. Полученный фильтрат перемешивают и на каждые 25 мл фильтрата добавляют 1 каплю 0,1%-ного раствора гексаметафосфата натрия (NaPO_3)₆.

*Кондуктометрическое определение удельной
электропроводности фильтратов из насыщенных водой
почвенных паст*

Сущность метода заключается в измерении удельной электропроводности фильтратов из насыщенных водой почвенных паст, что позволяет приблизительно оценить концентрацию в них солей, поскольку электропроводность функционально связана с концентрацией растворенных электролитов и зависит от общего числа зарядов. Следует учитывать, что для разных по составу солей отмечаются достаточно большие различия в зависимостях между удельной электропроводностью и концентрацией, достигающие в отдельных случаях 30-50%. Поэтому при необходимости перевода значений удельной электропроводности в суммарную концентрацию солей рекомендуется учитывать состав солей путем построения эмпирических зависимостей и корректировать полученные данные. (Руководство..., 1990).

При работе с кондуктометром анализируемый раствор помещают в измерительную ячейку и определяют удельную электропроводность, согласно инструкции к прибору.

Для анализа применяют кондуктометры с диапазоном измерений 0,01–50 мСм/см и погрешностью измерений не более 5%. Если прибор не имеет автоматического температурного компенсатора, определяют температуру анализируемых растворов и по таблицам приводят ее к величине электрической проводимости при 25°C.

**2.7. Определение обменных оснований и гипса
в засоленных почвах**

***2.7.1. Определение обменных оснований по методу Пфеффера
в модификации В.А. Молодцова и В.П. Игнатовой***

Метод применяют для анализа засоленных почв, емкость катионного обмена которых не превышает 30 ммоль(+)/100 г почвы. Карбонаты и гипс не влияют на результаты определения обменных Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ (Руководство..., 1990).

При проведении анализа к навеске почвы добавляют дистиллированную воду до влажности 20–40% в зависимости от гранулометрического состава почвы, переводя легкорастворимые соли из твердой фазы почвы в жидкую. Затем жидкую фазу, содержащую легкорастворимые соли, вытесняют 70%-ным этиловым спиртом. После того, как будут удалены легкорастворимые соли, проводят вытеснение обменных оснований, обрабатывая навеску почвы 0,1М раствором NH_4Cl в 70%-ном этиловом спирте. Затем в полученном растворе определяют концентрацию кальция, магния, натрия, калия.

Карбонаты и гипс имеют низкую растворимость в водноэтанольной среде и реально завышают результаты определения обменного кальция на 0,3 ммоль(+)/100 г почвы.

По данным Н.Б. Хитрова (Руководство..., 1990), результаты, получаемые рассматриваемым методом, хорошо воспроизводимы, если содержание определяемого катиона превышает 4 ммоль(+)/100 г почвы, коэффициент варьирования результатов его определения составляет около 5%, среднее квадратическое отклонение – около 0,2 ммоль(+)/100 г почвы.

Ход определения содержания обменных оснований по методу Пфеффера в модификации В.А. Молодцова и В.П. Игнатовой (Руководство..., 1990).

Навеску почвы, пропущенную сквозь сито с отверстиями диаметром 1–2 мм, массой 5,0 г помещают в центрифужную пробирку вместимостью 50–100 мл.

Удаление легкорастворимых солей проводят следующим образом. Почву увлажняют дистиллированной водой, добавляя ее по каплям до полного смачивания навески, но с таким расчетом, чтобы на поверхности почвы не появилась свободная вода. Чтобы в нижней части пробирки не оставалось не смоченных водой участков, пробирку лучше держать в наклонном положении, а почву стараться распределить по всей длине пробирки, и лишь по мере смачивания дать пасте сползти на дно пробирки. Влажность почвы в зависимости от гранулометрического состава будет соответствовать 20–40%. Пробирку закрывают пробкой и оставляют на ночь.

Затем в пробирку приливают 10 мл 70%-ного (по объему) этилового спирта, и содержащее перемешивают стеклянной палочкой. Палочку помещают на часовое стекло, а суспензию центрифугируют 10 мин при 2000 об./мин. Отмывание легкорастворимых солей спиртом повторяют несколько раз до полного удаления хлорид и сульфат-ионов. Для слабозасоленных почв достаточно трех последовательных обработок почвы спиртом, для очень сильнозасоленных почв требуется 6-кратная обработка. Качественную пробу на СГ проводят с AgNO_3 , на SO_4^{2-} – с BaCl_2 (см. § 2.1.1).

Если в процессе отмывания солей происходит пептизация коллоидов и помутнение раствора, то увеличивают время центрифугирования до 20–25 мин и его скорость до 6000–7000 об/мин. С целью предотвращения пептизации коллоидов рекомендуется прекращать отмывание солей, когда качественные пробы еще показывают крайне незначительные количества хлорид- и сульфат-ионов.

Вытеснение обменных оснований проводят следующим образом. После удаления солей из ППК вытесняют обменные катионы реагентом Пфедффера. К почве, находящейся в центрифужной пробирке, приливают 25 мл 0,1 М NH_4Cl в 70%-ном этиловом спирте, тщательно перемешивают содержимое стеклянной палочкой и оставляют на 1 час. Затем суспензию центрифугируют (5 мин, 2000 об/мин). Центрифугат сливают в фарфоровую чашку и выпаривают на водяной бане. Операцию повторяют еще 3 раза при 30-минутном настаивании почвы с раствором, каждый раз сливая центрифугат в ту же чашку и выпаривая до суха. Чашку снаружи осушают фильтровальной бумагой и помещают в муфельную печь и выдерживают при температуре 350–400°C до прекращения дымления. В чашку с прокаленным остатком добавляют 2–3 капли концентрированной HCl и около 10 мл горячей дистиллированной воды. Затем добавляют еще 20–80 мл горячей дистиллированной воды, и содержимое чашки фильтруют по стеклянной палочке в мерную колбу вместимостью 200 мл. Чашку и фильтр промывают горячей дистиллированной водой, количественно перенося содержащиеся в чашке соли в фильтрат. Объем жидкости в колбе доводят дистиллиро-

ванной водой до метки и тщательно перемешивают, многократно переворачивая колбу вверх дном.

В полученном растворе любыми подходящими для этой цели методами определяют концентрацию кальция, магния, натрия и калия и вычисляют содержание каждого из обменных оснований.

Реактивы:

1. 70%-ный этиловый спирт (этанол). К 730 мл 96%-ного этанола приливают 270 мл дистиллированной воды и перемешивают.

2. Реагент Пфедффера – 0,1М NH_4Cl в 70%-ном этаноле с рН 7. NH_4Cl (5,35 г) растворяют в 270 мл дистиллированной воды и к полученному раствору приливают 730 мл 96%-ного этанола. Значение рН раствора доводят до 7, добавляя по каплям концентрированный аммиак по индикатору бромтимоловому синему, при рН 7 окраска раствора становится зеленой.

2.7.2. Определение содержания гипса

Наличие гипсоносных горизонтов характерно для каштановых, бурых полупустынных и особенно солонцовых почв, которые нуждаются в химической мелиорации. С целью определения способа мелиорации солонцовых почв и солонцов, а также в подтверждение морфологического описания соответствующих почв необходимо количественное определение гипса и глубины залегания гипсоносных горизонтов.

Наличие гипса выделяют качественной пробой на сульфат-ион. Для это к 2 г почвы приливают 10 мл 0,2 н. раствора HCl и, взболтав 2–3 мин, отфильтровывают. К фильтрату в пробирке добавляют по каплям 5%-ный раствор BaCl_2 и взбалтывают. Появление белого осадка свидетельствует о наличии сульфат-ионов.

Сущность метода заключается в извлечении сульфатной части гипса раствором соляной кислоты ($\text{CaSO}_4 + 2\text{HCl} = \text{CaCl}_2 + \text{H}_2\text{SO}_4$), осаждении сульфат-иона хлористым барием, озолении осадка сернокислого бария и определении количества SO_4 .

Методика определения. На аналитических весах отвешивают 1–5 г (в зависимости от содержания гипса: если почва содержит

более 10% гипса, масса навески должна составлять 0,2–1,0 г) воздушно-сухой почвы, предварительно просеянной через сито с диаметром отверстий 0,25 мм. Навеску помещают в химический стакан, приливают к ней 100 мл 0,2 н. раствора соляной кислоты. Стакан с почвенной суспензией тщательно перемешивают круговыми движениями и оставляют на сутки. После этого почву отфильтровывают методом декантации, приливая небольшими порциями в стакан раствор 0,2 н. HCl. Декантируют многократно, до отрицательной реакции на сульфат-ион (см. п. 2.1.1). Первую пробу на SO_4^{2-} выполняют после получения не менее 300 мл фильтрата.

Для осаждения SO_4^{2-} хлористым барием собирают весь полученный фильтрат в стакан и выпаривают до объема 150–200 мл. Избыток соляной кислоты в фильтрате нейтрализуют 10%-ным раствором аммиака. Затем фильтрат подкисляют 10%-ной HCl до отчетливого появления розовой окраски по метилрот и добавляют еще 1 мл соляной кислоты для создания кислой реакции. Нагревают до кипения и осторожно из пипетки, при постоянном размешивании, по каплям, добавляют 10 мл 10%-ного раствора BaCl_2 . Стакан с образовавшимся осадком накрывают часовым стеклом и переносят в теплое место на 2–3 ч.

На следующий день осадок отфильтровывают через плотный фильтр («синяя лента»), промывают горячей дистиллированной водой, подкисленной несколькими каплями 10%-ной HCl до исчезновения реакции на барий (проба с 10%-ной H_2SO_4). Если при промывании осадок BaSO_4 проходит через фильтр, фильтрат перефильтровывают. Далее фильтр с осадком, подсушив на воронке, помещают во взвешенный фарфоровый тигель, обугливают на горелке при постоянной тяге и ставят в горячую муфельную печь для озоления при температуре не выше 600–700°C (при температуре выше 800°C осадок разлагается) в течение 20–25 мин. После этого тигель с осадком вынимают из печи, охлаждают в эксикаторе и взвешивают на аналитических весах. Массу прокаленного осадка BaSO_4 определяют по разности между массой тигля с осадком и массой пустого тигля.

Количество SO_4^{2-} вычисляют по формуле:

$$\text{SO}_4^{2-} = \frac{a \times 0,4114 \times 100 \times K_{\Gamma}}{c}$$

где SO_4^{2-} – количество SO_4^{2-} , %; a – масса SO_4^{2-} во взятой навеске, г; c – навеска почвы, взятая для анализа воздушно-сухой почвы, г; K_{Γ} – коэффициент гигроскопичности почвы (для пересчета на сухую почву); 0,4114 – коэффициент пересчета на ион SO_4^{2-} ; 100 – коэффициент пересчета на 100 г почвы.

Для достоверного расчета содержания гипса в почве необходимо из полученного количества SO_4^{2-} вычесть его количество, содержащееся в водной вытяжке. При необходимости выражения содержания гипса в $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ полученное количество SO_4^{2-} умножают на коэффициент 1,792.

Реактивы:

0,2 н. раствор HCl;

10%-ный раствор HCl;

10%-ный раствор BaCl_2 ;

10%-ный раствор аммиака;

индикатор – метилрот.

Раздел 3. ОХРАНА ТРУДА

3.1. Общие требования охраны труда при работе с химическими веществами

К работе с химическими веществами допускаются работники и студенты, ознакомленные с инструкциями по охране труда, прошедшие инструктаж на рабочем месте с записью в журнале регистрации инструктажа на рабочем месте (контрольном листе), не имеющие медицинских противопоказаний.

Необходимо соблюдать правила внутреннего распорядка, принятые в ТГУ. Работники и студенты кафедры должны иметь представление об опасных и вредных производственных факторах, действующих на работающих. Все работы должны проводиться только на исправном оборудовании, при наличии приточно-вытяжной вентиляции.

Работа в химических лабораториях разрешается только при наличии:

- спецодежды (халат, фартук);
- средств индивидуальной защиты;
- аптечки (с набором медикаментов для оказания первой медицинской помощи);
- индивидуальных противогазов, обеспечивающих защиту в аварийных ситуациях;
- средств пожаротушения (огнетушитель, песок, кошма или одеяла).

Запрещается носить спецодежду вне аудитории или уходить в ней домой.

Все реактивы в лаборатории должны храниться в таре с надписью, указывающей ее содержимое. Запрещается хранение реактивов без наименования (этикеток).

Исполнитель должен строго соблюдать правила пожарной, электрической и химической безопасности и выполнять только ту работу, которая ему поручена.

В лабораториях запрещается выполнение работ, не связанных с плановыми научно-исследовательскими, учебными и производственными целями и не предусмотренных соответствующей инструкцией.

Перед пуском в работу новых приборов и установок необходимо тщательно проверить их исправность.

Запрещается применение оборудования, приборов и химической посуды не по назначению.

В целях предотвращения отравлений в помещении для практических занятий, запрещается хранить и принимать пищу.

При выполнении работ важно соблюдать правила личной гигиены, поддерживать чистоту и порядок на рабочем месте.

Работники и студенты кафедры должны уметь оказывать первую доврачебную помощь. В случае травмирования (табл. 17) необходимо оказать первую помощь, вызвать «Скорую помощь» (тел.03 и сот. 030) и немедленно уведомить администрацию.

Т а б л и ц а 17

**Первая помощь при несчастных случаях в химических лабораториях
(Аринушкина, 1970)**

Возможные несчастные случаи	Первая помощь
Порезы стеклом	Удалить осколки стекла, вытереть рану чистой марлей или ватой, присыпать порошком белого стрептоцида и завязать
Ранения с сильным кровотечением	Остановить кровь перевязкой выше места ранения (толстостенной каучуковой трубкой или резиновым ремнем), забинтовать пострадавшего и отправить в медицинский пункт
Ожог раскаленными предметами	Смазать обожженное место насыщенным раствором $KMnO_4$ или 5%-м линиментом синтомицина
Ожог водяным паром или кипящей водой	Помощь та же, что и при ожоге раскаленными предметами
Ожоги концентрированными кислотами	Тщательно смыть кислоту водой, после чего смазать обожженное место слабым раствором (5–10%) двууглекислой соды $NaHCO_3$ или присыпать порошком этой соды (можно применить порошок $CaCO_3$)

Ожог плавиковой (фтористоводородной) кислотой	Погрузить обожженное место на 10–15 мин в 3%-й раствор NH_4OH или 10%-й раствор или же промыть обильным количеством воды и наложить компресс с пастой, приготовленной из суспензии MgO
Ожог глаз концентрированными кислотами	Тщательно промыть глаза 2%-м раствором NaHCO_3 или буры $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$
Ожог глаз щелочами	После тщательного промывания глаз водой промыть их слабой кислотой (2%-м раствором борной или уксусной кислоты)
Отравление газами	Немедленно вывести отравленного на чистый воздух; если нужно, сделать искусственное дыхание и дать кислород; при отравлении бромом и хлором, а также йодом, осторожно вдыхать пары аммиака из 10%-го раствора NH_4OH ; хорошо проветрить помещение
Отравление кислотами (HCl , H_2SO_4 , HNO_3 , CH_3COOH)	Принимать внутрь суспензию магнезии, молоко, муку с водой
Отравление щелочами (NaOH , KOH , Na_2CO_3 , K_2CO_3)	Принимать внутрь 5%-ю уксусную кислоту, лимонную кислоту или сок лимона

За несоблюдение требований, содержащихся в инструкциях, исполнитель несет ответственность в дисциплинарном порядке.

Требования охраны труда перед началом работы.

За 30 минут до начала работы должна быть включена приточно-вытяжная вентиляция.

Проводить работы при неисправной или не включенной вентиляции запрещается.

Перед началом работы рабочие места и вытяжные шкафы должны быть освобождены от химреактивов, приборов, не использующихся при проведении данной работы.

При работе с огнеопасными веществами обшлага рукавов у халата должны прилегать плотно, предохраняя от опасных ожогов.

Перед пуском в работу приборов необходимо предварительно убедиться в их исправности. Заземление электрооборудования и приборов должно быть исправным.

Электронагревательные приборы должны устанавливаться на жаропрочном основании.

Требования охраны труда во время работы.

Запрещается работать на неисправном оборудовании.

Все операции с химическими веществами проводить только в вытяжных шкафах. Во время работы створку вытяжного шкафа держать опущенной, оставляя лишь небольшой просвет для притока воздуха.

При работе с кислотами и щелочами необходимо соблюдать следующие требования:

– работы с концентрированными кислотами и щелочами без защитных приспособлений (очки, перчатки) запрещаются;

– кислоты должны храниться в лаборатории в толстостенной посуде емкостью не более 2 л и в вытяжном шкафу в поддонах; склянки с дымящейся азотной кислотой следует хранить в специальных металлических ящиках из нержавеющей стали;

– разлив концентрированных кислот производить только при включенной вентиляции в вытяжном шкафу; при этом дверцы шкафов должны быть максимально закрыты;

– для приготовления растворов серной, азотной и других кислот необходимо приливать кислоту в воду тонкой струйкой при непрерывном перемешивании; приливать воду в кислоту запрещается;

– осторожного обращения требуют и концентрированные растворы щелочей – едкого натрия и калия, аммиака; растворять твердые щелочи следует путем медленного прибавления их небольшими кусочками к воде при непрерывном перемешивании; кусочки щелочи нужно брать только щипцами;

– при проливе крепкой кислоты или щелочи, других едких веществ, необходимо пролитый продукт нейтрализовать и засыпать песком; мокрый песок удалить и остатки смыть водой.

Определять химические вещества следует только по запаху с осторожностью, не вдыхая полной грудью, а направляя к себе пары движением руки. Не пробовать химические вещества на вкус!

Нельзя оставлять химические вещества в посуде без надписи. Беря вещество, внимательно прочитайте его название.

Химическую посуду необходимо мыть сразу же после использования.

Запрещается набирать растворы в пипетки ртом, для этой цели следует применять резиновую грушу или другие приспособления для отбора проб.

При работе с легковоспламеняющимися (спирт, эфир, бензол) и горючими веществами требуется соблюдать осторожность:

– легко воспламеняющиеся (ЛВ) и горючие вещества должны храниться в толстостенной стеклянной посуде с притертой крышкой в металлических ящиках в пределах дневной потребности; на рабочих столах – в количестве, необходимом непосредственно для работы;

– все работы с легко воспламеняющимися жидкостями (ЛВЖ) и горючими жидкостями (ГЖ) должны проводиться в вытяжном шкафу при работающей вентиляции, выключенных электронагревательных приборах; включение последних может производиться лишь для выполнения необходимых технологических операций;

– сосуды, в которых проводились работы с ЛВЖ и ГЖ, после окончания работы (эксперимента) должны быть немедленно освобождены от оставшейся жидкости и промыты;

– запрещается выливать ЛВЖ и ГЖ в канализацию; отработанные жидкости следует собирать в соответствии с характером вещества отдельно в специальную герметично закрывающуюся посуду с этикеткой «Слив...»;

– не допускать попадания жидкостей на электроприборы и розетки.

Правила работы со спиртовкой:

Перед зажиганием спиртовки нужно удостовериться, что корпус ее исправен, фитиль выпущен на нужную высоту и распушен, а горловина и держатель фитиля сухие. Проследить, чтобы не было зазора между горловиной и держателем фитиля.

Зажженную спиртовку нельзя переносить с места на место; нельзя зажигать одну спиртовку от другой.

Гасить спиртовку нужно, накрывая пламя фитиля колпачком. Задувать пламя воспрещается.

При нагревании жидкости в пробирке или колбе последние следует держать специальным держателем так, чтобы отверстие было направлено в сторону от себя и соседей по работе.

Перенося сосуды с горячей жидкостью, нужно держать их двумя руками – одной за дно, а другой – за горловину, используя для этого полотенце (во избежание ожога кистей и пальцев рук).

Соблюдать особую осторожность при работе с ртутными термометрами.

3.2. Требования пожарной безопасности во время работы в лаборатории

В рабочее время каждый работник должен:

- постоянно содержать в чистоте и порядке свое рабочее место;
- проходы, выходы не загромождать различными предметами и оборудованием;
- строго соблюдать на рабочем месте нормы хранения химических реактивов, хранить их в специальной таре в строго отведенных местах;
- не подключать самовольно электроприборы, исправлять электросеть и предохранители;
- не пользоваться электронагревательными приборами с открытыми спиралями в личных целях;
- не оставлять включенными без присмотра электрические приборы и освещение;
- не вешать плакаты, одежду и другие предметы на электрические розетки, выключатели и другие электроприборы;
- операции, сопровождающиеся выделением вредных и горючих паров, производятся только в вытяжных шкафах; проводить такие операции при неисправной вентиляции запрещается;
- столы, на которых устанавливаются нагревательные приборы, должны быть покрыты несгораемыми материалами;
- перед пуском муфельной печи, сушильных шкафов, электроплиток, необходимо тщательно проверить исправность этих приборов; пуск аппаратов может быть допущен после устранения всех дефектов.

Порядок действий при пожаре

Каждый сотрудник при обнаружении пожара или явных признаков не контролируемого горения обязан немедленно оповестить об обнаружении пожара всех сотрудников и студентов, заведующего кафедрой, а также сотрудников охраны, включить ручной сигнализатор пожарной сигнализации.

Немедленно сообщить о пожаре по телефону 01 (сотовый 010) в пожарную охрану и назвать адрес, место возникновения пожара, свою фамилию, ответить на возможные вопросы диспетчера пожарной охраны.

Принять возможные меры по эвакуации людей, денежных и других материальных ценностей.

До прибытия пожарной охраны принимать посильные меры по тушению пожара с помощью имеющихся первичных средств пожаротушения, строго следуя следующим принципам:

- в случае загорания одежды на человеке немедленно повалить его на пол, закатать в войлок, асбест, брезент, пальто; ни в коем случае не давать ему бежать, так как это усилит горение;

- в случае вспышки разлитого бензина, керосина или масла надо гасить пламя песком, землей, золой и(или) пенным огнетушителем;

- огнетушители используются в соответствии с инструкцией и схемой, которые указаны на огнетушителе.

- вызвать скорую помощь по телефону 03 (сотовый 030) в случае получения травмы людей или их нахождения в очаге пожара.

Оказывать содействие пожарной охране при тушении пожара.

В случае невозможности локализовать очаг пожара покинуть помещение в соответствии с планом эвакуации.

Использование первичных средств пожаротушения

В случае использования внутреннего противопожарного крана необходимо открыть крышку шкафа, размотать пожарный рукав и проложить его к месту пожара без загибов, оторвать вентиль крана, кнопкой в шкафу пожарного шкафа включить пожарный насос.

При использовании углекислотных огнетушителей (ОУ – 2, ОУ – 3, ОУ – 5) необходимо направить раструб в очаг пожара, вы-

дернуть чеку, прижать рычаг пускового устройства к рукоятке, при работе к раструбу прикасаться не допускается (температура раструба достигает минус 80 градусов), огнетушитель не переворачивать и держать горизонтально.

При использовании порошковых огнетушителей (ОП – 3, ОПУ – 5, ОПУ – 8, ОП – 8) необходимо выдернуть предохранительную чеку, прижать рычаг пускового устройства к рукоятке, направить кран–распылитель в очаг пожара, тушить пламя с расстояния не более 3 метров.

Перед использованием огнетушителя ознакомиться с инструкцией, наклеенной на корпус огнетушителя.

Требования охраны труда при аварийных ситуациях

В случае возникновения пожара необходимо:

- сообщить об этом в пожарную часть по телефону 01 (сот. 010), по возможности принять меры по максимальному обеспечению безопасности людей, принять меры по тушению пожара и сохранности оборудования. Пламя гасить, в зависимости от его происхождения, песком, огнетушителем, асбестовым одеялом.

- при загорании электроустановок они должны быть немедленно отключены.

- запрещается применять воду для тушения горящих приборов и оборудования, находящихся под напряжением до 1000 В. Для тушения электроустановок под напряжением предназначены углекислотный и порошковый огнетушители.

- при несчастных случаях следует оценить состояние пострадавшего и при необходимости вызвать «Скорую помощь» (03, сот. 030). До прибытия врача оказывать первую доврачебную помощь.

- при случайных проливах ЛВЖ немедленно выключить все источники открытого огня, электронагревательные приборы в лаборатории и в соседних (прилегающих) помещениях. Место пролива жидкости следует засыпать песком, загрязненный песок собрать неметаллической лопаткой или совком. Применение стальных совков или лопаток не допускается.

3.3. Требования охраны труда с электрооборудованием во время работы

Все работы проводить в соответствии с настоящей инструкцией.

При случайном попадании чего-либо внутрь электроприбора немедленно остановить работу (выключить прибор).

Запрещается оставлять без надзора включенные электроприборы.

Запрещается включать прибор в сеть с напряжением, не соответствующим указанному на приборе.

При работе с электроплиткой:

а) перед включением электроплитки в сеть проверьте соответствие напряжения сети напряжению, указанному в маркировке на электроплитку;

б) перед включением электроплитки в сеть убедитесь в исправности шнура, вилки и розетки;

в) не допускайте резкой смены температуры горячей электроконфорки, не допускайте попадания влаги внутрь электроплитки;

г) при включенных электроконфорках корпус электроплитки может сильно нагреваться; во избежание получения ожога не прикасайтесь к корпусу электроплитки, а также до полного остывания к электроконфоркам;

д) запрещается:

– оставлять без надзора включенную в сеть электроплитку;

– использовать электроплитку для обогрева помещения во избежание пожара;

– держать вблизи включенной электроплитки легковоспламеняющиеся вещества, а также пользоваться аэрозолями;

– прикасаться одновременно к включенной электроплитке и устройствам, имеющим естественное заземление (газовые плиты, радиаторы отопления, водопроводные краны и др.);

– проверять нагрев электроконфорки прикосновением руки;

– ставить на электроконфорку посуду массой, превышающей 10 кг;

е) помните: после окончания работы электроплитку необходимо отключить от электросети.

При работе с муфельной печью:

а) печь муфельная 11М-14М предназначена для проведения термической обработки материалов;

б) муфельная печь должна быть установлена на ровной горизонтальной поверхности, расстояние от стенок печи до другого оборудования, стен должно быть не менее 200 мм;

в) при работе с регулятором температуры в целях надежной работы регулятора и безопасности обслуживающего персонала необходимо соблюдать общие правила техники безопасности:

– все подключения к регулятору производить при обесточенных внешних цепях;

– наладочные работы, осмотры и ремонт производить только после отключения регулятора от сети; запрещается работать с регулятором при снятом кожухе;

– в случае возникновения аварийных условий и режимов работы регуляторы отключить от цепи питания.

При работе с электрическим аквадистиллятором АЭ – 10 МО:

а) лица, не усвоившие принципы действия аквадистиллятора, порядка работы на нем и правил эксплуатации, к работе с ним не допускаются;

б) запрещается:

– оставлять включенный в электросеть аквадистиллятор без присмотра;

– устранять неисправности и производить ремонт аквадистиллятора, включенного в электросеть;

– открывать панели аквадистиллятора во время работы;

– устанавливать прокладку в месте присоединения переливной трубы меньшего диаметра, чем у самой трубы;

в) открывать электроблок разрешается только специалисту – электрику, ответственному за обслуживание электрической части аквадистиллятора.

При работе с сушильным шкафом:

а) к работе с сушильным шкафом допускаются лица, изучившие руководство по эксплуатации и прошедшие соответствующую

подготовку; лица, не прошедшие инструктаж по безопасному обслуживанию сушильного шкафа, к работе не допускаются;

б) проверка, наладка и ремонт сушильного шкафа должны производиться специалистами, изучившими настоящее руководство и имеющими группу допуска по электробезопасности;

в) сушильный шкаф предназначен для эксплуатации в помещениях с искусственно регулируемыми климатическими условиями в диапазоне температур окружающего воздуха от +10°C до +35°C; относительной влажности воздуха 80% при температуре +25°C; атмосферном давлении 630–800 мм рт. ст.;

г) запрещается:

– проводить ремонтные работы при включенном сушильном шкафе;

– производить загрузку, выгрузку и задавать другой режим во время работы сушильного шкафа;

– помещать в стерилизационную камеру легковоспламеняющиеся материалы, а также емкости с жидкостью, способные к интенсивному испарению;

– использовать в режимах, не предусмотренных настоящим руководством.

Меры безопасности:

а) источником опасности в сушильном шкафу является напряжение питающей электрической сети 220 В, а также нагретые бьюксы при извлечении их из камеры при аварийных ситуациях;

б) при работе сушильного шкафа необходимо соблюдать правила техники безопасности при эксплуатации электроустановок напряжением до 1000 В;

в) при обнаружении во время работы какой-либо неисправности необходимо отключить сушильный шкаф от сети и вызвать обслуживающий персонал.

При работе с колориметром фотоэлектрическим концентрационным КФК-2:

а) работа на колориметре должна производиться в чистом помещении, свободном от пыли, паров кислот и щелочей;

б) вблизи колориметра не должны располагаться громоздкие изделия, создающие неудобства в работе оператора;

в) все регулировочные работы, связанные с проникновением за постоянные ограждения к токоведущим частям колориметра, смена ламп, замена неисправных деталей должны производиться после отсоединения колориметра от электросети;

г) при эксплуатации колориметр должен быть надежно заземлен.

Требования охраны труда по окончании работы.

По окончании работы каждый работающий обязан проверить и привести в порядок свое рабочее место, приборы и аппараты.

Отработанные органические химические вещества слить в бутыл с соответствующей надписью.

Повесить в отведённом месте халат, тщательно вымыть руки.

Уходя, предупредить, остающихся работать сотрудников о включенных приборах, которые должны работать (термостат, холодильник). В случае если остается включенным сушильный шкаф, сообщить время, когда его нужно выключить.

Осмотреть помещения, проверить следующее: окна и форточки закрыты, отсутствуют неисправности автоматических устройств систем обнаружения и тушения пожара, двери закрыты на замок. Выявленные нарушения должны быть устранены.

Уходящий с работы последним обязан выключить электрические приборы, кроме тех которые должны работать, закрыть лабораторию и ключ сдать вахтеру, о чем произвести четкую запись в журнале.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Изложенный в настоящем учебном пособии материал дает представление о современных гидротехнических, агромелиоративных, химических, биологических способах мелиорации засоленных почв, позволяющих оптимизировать их свойства и режимы. Следует подчеркнуть, что основным объектом любых мелиораций в области земледелия и лесного хозяйства является почва, что определяет необходимость полного изучения химических, физико-химических и биологических почвенных свойств, чтобы выбрать наиболее целесообразные и оптимальные мероприятия. Если мелиоративные приемы не адекватны свойствам и режимам почв, то они будут неэффективными и, возможно, неблагоприятными и даже опасными для природной среды, поскольку могут привести к нарушению экологического равновесия в экосистеме. В связи с этим, перед разработкой мелиоративного проекта, направленного на улучшение почв в том или ином хозяйстве, необходимо провести комплексное обследование почв и почвенного покрова данной территории, проанализировать факторы почвообразования, включая климатические особенности, рельеф, характер почвообразующих пород, химизм и глубину их залегания, условия дренажа и др. Особое внимание следует уделять тем свойствам и параметрам почв, которые предполагается изменить в ходе мелиоративных приемов.

Мелиорация может существенно трансформировать тренд почвообразовательного процесса, вызвать новые, не характерные для того или иного типа почв процессы (например, осолонцевание и осолодение засоленных почв при промывке их от легкорастворимых солей), что в итоге может привести к потере естественного плодородия, разрушению и гибели почв, выводу их сельскохозяйственного производства.

Таким образом, выбор комплекса мелиоративных мероприятий должен быть основан на тщательном анализе генезиса и свойств

почв и почвообразующих пород, природной обстановки их формирования. Кроме этого, при мелиорации засоленных почв необходимо изучить существующий опыт мелиораций для соответствующих почв и современные подходы к решению подобных задач. Только при этих условиях возможна разработка адекватного свойствам и режимам почв состава мелиоративных мероприятий с высокой эффективностью.

ГЛОССАРИЙ

Автоморфные почвы – почвы, формирующиеся на ровных поверхностях и склонах в условиях свободного стока поверхностных вод при глубоком уровне грунтовых вод (глубже 6 м), не оказывающих влияния на почвообразовательные процессы.

Актуальная кислотность – кислотность почвенного раствора, обусловленная наличием водородных ионов (протонов). Измеряется величиной рН водной вытяжки.

Актуальная щелочность – обусловлена наличием в почвенном растворе гидролитически щелочных солей (Na_2CO_3 , NaHCO_3 , $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$), при диссоциации которых образуется в значительных количествах гидроксильный ион.

Аллохтонные воды – см. Грунтовые воды.

Вертикальный дренаж – сложное сооружение, состоящее из водозабора (системы глубоких скважин, оборудованных фильтрами) и наземного комплекса (энергетического хозяйства, средств автоматики и связи и др.). Обеспечивает понижение уровня грунтовых вод путем их механической откачки из скважин.

Влагоемкость – способность почвы поглощать и удерживать определенное количество воды.

Водный баланс почв – количественная характеристика водного режима, определяемая количеством влаги, поступившей в почву за определенный период, и величиной расхода ее за тот же период.

Водный режим почв – совокупность всех явлений, связанных с поступлением влаги в почву, ее передвижением, расходом и изменением состояния.

Вторичное засоление почв – накопление легкорастворимых солей в почве, возникающее в результате искусственного изменения водного режима, например, при неправильном орошении.

Гальмиролиз – выветривание (разрушение) минералов под действием солевых растворов.

Гигроскопическая вода (МГ) – вода, поглощенная почвой из парообразного состояния.

Гигроскопичность почв – свойство почв сорбировать парообразную воду.

Гидроморфные почвы – почвы, приуроченные к депрессиям рельефа и формирующиеся в условиях длительного застоя поверхностных вод или при залегании грунтовых вод на глубине менее 3 метров (в этом случае капиллярная кайма может достигать поверхности почвы), что приводит к развитию восстановительных процессов.

Гипсоносные почвы – почвы, содержащие гипс в количестве более 2%.

Горизонтальный дренаж – совокупность горизонтальных дрен и коллекторов с гидротехническими сооружениями, предназначенными для дренирования орошаемой территории.

Грунтовые воды (аллохтонные воды) – первый от поверхности Земли постоянный водоносный горизонт, залегающий на водопорном слое.

Засоление – процесс накопления в почвенном профиле водорастворимых солей из минерализованных грунтовых вод при выпотном водном режиме.

Засоленные почвы – почвы, содержащие легкорастворимые соли в количестве, угнетающем рост и развитие растений-негаллофитов.

Капиллярная влагоемкость (КВ) – это наибольшее количество капиллярно-подпертой воды, которое может удерживаться в слое почвы, находящемся в пределах капиллярной каймы.

Коагуляция коллоидов – процесс перехода коллоидов из состояния золя (коллоидного раствора) в состояние геля (коллоидного осадка). В результате улучшается структура и физические свойства почвы.

Коллекторно-дренажная сеть – специальный комплекс гидротехнических сооружений, состоящий из дрен, коллекторов и насосных станций, обеспечивающих сбор и отвод с орошаемых массивов избыточных грунтовых вод.

Критический уровень грунтовых вод (по Б.Б. Полынову) – глубина залегания грунтовых вод, при которой начинается засоление поверхностных корнеобитаемых горизонтов почвы, происходит соленакопление, приводящее к гибели растений. Колеблется в интервале от 1,5 м в почвах легкого гранулометрического состава до 3,5 м в почвах тяжелого гранулометрического состава.

Максимальная молекулярная влагоемкость (ММВ) – почвенно-гидрологическая константа, характеризующая верхний предел содержания в почвах рыхлосвязанной (пленочной) воды, т.е. воды, удерживаемой силами молекулярного притяжения на поверхности почвенных частиц.

Мелиорация – система мероприятий по улучшению свойств и режимов почв в благоприятном производственном и экологическом направлениях.

Наименьшая влагоемкость (НВ) – почвенно-гидрологическая константа, показывающая наибольшее количество капиллярно-подвешенной влаги, которое может удерживать почва после стекания избытка влаги при глубоком залегании грунтовых вод. Термину «наименьшая влагоемкость» соответствуют термины «полевая влагоемкость», «общая влагоемкость» (ОВ) и «предельная полевая влагоемкость» (ППВ).

Общая влагоемкость (ОВ) – см. Наименьшая влагоемкость.

Огление – сложный биохимический процесс метаморфического преобразования минеральной почвенной массы в условиях анаэробно-биозиса в результате постепенного или длительного периодического переувлажнения почвы, приводящего к интенсивному развитию восстановительных процессов, иногда сменяемых окислительными; процесс характеризуется восстановлением элементов с переменной валентностью, разрушением первичных минералов, синтезом специфических вторичных минералов, имеющих в своей кристаллической решетке ионы с низкой валентностью, незначительным выносом оснований и иногда аккумуляцией соединений железа, серы, фосфора, кремния.

Осолodение – процесс разрушения минеральной части почвы под воздействием щелочных растворов (щелочной гидролиз гли-

нистых минералов) с накоплением остаточного аморфного кремнезема и выносом из элювиального (осолоделого) горизонта аморфных продуктов разрушения.

Осолонцевание – внедрение натрия в почвенный поглощающий комплекс и, как следствие, резкое повышение дисперсности органической и минеральной частей почвы, снижение устойчивости коллоидов по отношению к воде и возникновение щелочной реакции почвы.

Пептизация коллоидов – процесс перехода коллоидов из состояния геля (коллоидного осадка) в состояние золя (коллоидного раствора), сопровождаемый увеличением дисперсности коллоидов. В результате разрушается ценная комковатая структура, ухудшаются физические свойства почвы.

Первичное засоление почв – естественное накопление в почве легкорастворимых солей вследствие испарения грунтовых вод, солености материнских пород или в результате воздействия золотых, биогенных и других факторов.

Полевая влагоемкость – см. Наименьшая влагоемкость.

Полная влагоемкость (ПВ) (полная водовместимость) – почвенно-гидрологическая константа, характеризующая наибольшее количество влаги, которое может содержаться в почве при условии заполнения ею всех пор, за исключением пор с заземленным воздухом. Численно соответствует порозности (скважности) почвы.

Полная водовместимость – см. Полная влагоемкость.

Полугидроморфные почвы – почвы, формирующиеся на пониженных элементах рельефа, в нижних частях склонов при кратковременном застое поверхностных вод или залегании грунтовых вод на глубине 3–6 м (капиллярная кайма может достигать корней растений), в связи с чем развитие их сопровождается повышенным увлажнением и появлением признаков восстановительных процессов.

Пористость почвы – суммарный объем всех пор между частицами твердой фазы почвы. Выражается в процентах от общего объема почвы.

Почвенный поглощающий комплекс (ППК) – совокупность минеральных, органических и органоминеральных коллоидов (частиц

размером менее 0,0001 мм), нерастворимых в воде, обладающих физико-химической поглотительной способностью, т.е. способных поглощать и обменивать поглощенные ионы.

Предельная полевая влагоемкость (ППВ) – см. Наименьшая влагоемкость.

Приходные статьи солевого баланса – это поступление легкорастворимых солей с грунтовыми водами, поливными водами, атмосферными осадками, с продуктами минерализации растительных и животных организмов, с поверхностным стоком, удобрениями.

Промывка почв – один из способов коренного улучшения почв путем пропускания пресной воды через верхние засоленные слои для растворения и выноса из них избытка вредных водорастворимых солей.

Рассоление – процесс освобождения почвенного профиля или почвообразующей породы от водорастворимых солей путем растворения и выноса их в грунтовые воды при смене гидрологического режима почвы.

Расходные статьи солевого баланса – это отток легкорастворимых солей в грунтовые воды, вынос солей с промывными и поливными водами, вынос солей с урожаем, удаление солей поверхностным стоком, выдувание солей ветром.

Реакция почвенного раствора – соотношение концентраций в почвенном растворе ионов H^+ и OH^- , выражается величиной рН.

Сквозная промывка почв – промывка водорастворимых солей из всей толщи горизонтов почвенного профиля, вынос солей в грунтовый поток и их удаление в условиях естественного или искусственного дренажа за пределы орошаемого массива.

Солевой баланс почв – количественная характеристика солевого режима, определяемая количеством водорастворимых солей, поступивших в почву за определенный период, и величиной расхода их за тот же период.

Солевой режим почв – совокупность всех явлений, связанных с поступлением водорастворимых солей в почву, их передвижением, расходом и изменением состояния.

Солонцеватые почвы – почвы, имеющие некоторые признаки солонцов (щелочную реакцию, глыбистую или призмовидную структуру, высокую плотность и слитость почвенной массы в горизонте В), но содержащие обменный натрий в меньшем количестве, чем солонцы.

Солонцы – почвы, содержащие в иллювиальном горизонте В обменный натрий в количестве более 15-20% от ЕКО.

Солончаки – почвы, содержащие водорастворимые соли в количестве более 0,6% при содовом засолении, более 1% при хлоридном и более 2% при сульфатном типе засоления в поверхностных горизонтах профиля (0-30 см).

Солончаковатые почвы – почвы, содержащие легкорастворимые соли в любых горизонтах почвенного профиля в меньших количествах, чем солончаки.

Солончаковые почвы – почвы, содержащие легкорастворимые соли в количестве более 0,6% при содовом засолении, более 1% при хлоридном и более 2% при сульфатном типе засоления, но не с поверхности, как солончаки, а ниже, в пределах 1-го метра профиля.

Солончаковый процесс – накопление легкорастворимых солей в почвенном профиле.

Степень засоления – устанавливается по содержанию легкорастворимых солей в почве в зависимости от химизма засоления.

Тип засоления – см. Химизм засоления.

Токсичность солей – свойство различных легкорастворимых солей вызывать угнетение развития и отравление растительных организмов вследствие повышения осмотического давления в почвенных растворах и нарушения поступления воды и питательных элементов, а также нарушения физиологических функций растения.

Токсичные ионы – способные образовывать токсичные соли. К ним относятся ионы хлора, натрия, магния. Ионы SO_4^{2-} и HCO_3^- являются токсичными в случае образования натриевых и магниевых солей. Наиболее токсичной солью является сода.

Химизм засоления – качественный состав солей, устанавливается по соотношению анионов или катионов в составе водной вытяжки почв.

ЛИТЕРАТУРА

- Аверьянов С.Ф. Поливные нормы и потери воды при орошении // Почвоведение. 1972. № 9. С. 95–100.
- Айдаров И.П. Экологические проблемы мелиорации засоленных земель // Почвоведение. 1995. № 1. С. 93–99.
- Аринушкина Е.В. Руководство по химическому анализу почв. М. : Изд-во МГУ, 1970. 487 с.
- Базилевич Н.И., Панкова Е.И. Опыт классификации почв по содержанию токсичных солей и ионов // Бюл. почв. ин-та им. В.В. Докучаева. 1972. Вып. 5. С. 36–40.
- Вадюнина А.Ф. Агрофизическая и мелиоративная характеристика каштановых почв юга-востока Европейской части СССР. М. : Изд-во МГУ, 1970. 326 с.
- Вадюнина А.Ф. Электромелиорация почв засоленного ряда. М. : Изд-во МГУ, 1979. 225 с.
- Вадюнина А.Ф., Козлов В.П. Методы исследования физических свойств почв и грунтов // Доклады ВАСХНИЛ. 1937. Вып. 2 (5).
- Васильев И.К., Решетов Г.Г., Шредер В.Р. Мелиоративное состояние земель в зоне нового орошения // Хлопководство. 1975. № 7. С. 20–26.
- Воробьева Л.А. Химический анализ почв. М. : Изд-во МГУ, 1998. 272 с.
- Глинка Н.Л. Общая химия. М. : Госхимиздат, 1960. 732 с.
- ГОСТ 26423–85 Почвы. Методы определения удельной электрической проводимости, рН и плотного остатка водной вытяжки.
- Егоров В.В., Минашина Н.Г. Обоснование почвенно-мелиоративных прогнозов и классификация засоленных почв // Изменение плодородия почв при орошении вновь осваиваемых земель. М. : Почв. ин-т им. В.В. Докучаева, 1976. С. 29–46.
- Зайдельман Ф.Р. Генезис и экологические основы мелиорации почв и ландшафтов : учебник. М. : КДУ, 2009. 720 с.
- Зайдельман Ф.Р. Мелиорация почв. М. : Изд-во МГУ, 1987. 304 с.
- Засоленные почвы России. М. : Академкнига, 2006. 854 с.
- Исаев В.А. Гипсоносные почвы предгорных равнин Зиаэтин-Зирабулакских гор и их мелиоративные особенности : автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. М., 1983. 24 с.
- Керзум П.А. Система бонитировки почв Таджикской ССР // Бонитировка почв Таджикистана. Душанбе : Дониш, 1974. С. 5–108.
- Классификация и диагностика почв России. Смоленск : Ойкумена, 2004. 342 с.

- Классификация и диагностика почв СССР. М. : Колос, 1977. 224 с.
- Ковда В.А. Номенклатура и классификация засоленных почв // Почвы аридной зоны. М. : Наука, 1968. С. 11–24.
- Ковда В.А. Происхождение и режим засоленных почв. М. : Изд-во АН СССР, 1947. 375 с.
- Курачев В.М., Рябова Т.Н. Засоленные почвы Западной Сибири. Новосибирск : Наука, 1981. 152 с.
- Лим В.Д., Шоба С.А., Рамазанов А.Р., Сафонов В.Ф. Микроморфологические исследования сероземно-луговых засоленных гипсированных почв Джизакской степи // Сб. науч. тр. Среднеаз. НИИ. Инженерные мероприятия по ирригации. Ташкент, 1975. Вып. 144. С. 70–83.
- Лозе Ж., Матье К. Толковый словарь по почвоведению. М. : Мир, 1998. 398 с.
- Минашина Н.Г. (составитель) Рекомендации по мелиоративной оценке, освоению и использованию гипсоносных почв под орошаемое земледелие. М. : Почв. ин-т им. В.В. Докучаева, 1979. 42 с.
- Минашина Н.Г. (составитель) Технологические свойства и использование гипсоносных почв под орошение (методические рекомендации). М. : Почв. ин-т им. В.В. Докучаева, 1988. 74 с.
- Минашина Н.Г. Гипсоносные почвы, особенности их освоения и анализа // Почвоведение. 1975. № 8. С. 3–14.
- Минашина Н.Г. Токсичные соли в почвенном растворе, их расчет и классификация почв по степени засоления // Почвоведение. 1970. № 8. С. 92–105.
- Минашина Н.Г., Гаврилова Г.К. Метод водной вытяжки и баланс солей в промываемых почвах // Науч. тр. Почв. ин-та им. В.В. Докучаева. М., 1976. С. 106–112.
- Минашина Н.Г., Егоров В.В. Мелиоративные особенности и классификации гипсоносных почв // Почвоведение. 1975. № 10. С. 74–85.
- Минашина Н.Г., Игнатов В.П. Форма гипса и расчет предела рассолнения гипсоносных почв промывкой // Почвоведение. 1971. № 6. С. 97–103.
- Минашина Н.Г., Шишов Л.Л. Гипсоносные почвы: распространение, генезис, классификация // Почвоведение. 2002. № 3. С. 273–281.
- Молодцов В.А. Причины низкого плодородия сероземно-луговых гипсоносных почв Джизакской степи // Почвоведение. 1982. № 9. С. 85–96.
- Муха В.Д., Муха Д.В., Ачкасов А.Л. Практикум по агрономическому почвоведению. СПб. : Лань, 2013. 448 с. URL: <http://e.lanbook.com/book/32820>

- Мякина Н.Б., Аринушкина Е.В. Методическое пособие для чтения результатов химического анализа почв. М. : Изд-во МГУ. 1979. 62 с.
- Новикова А.В. Исследования засоленных и солонцовых почв: генезис, мелиорация, экология. Избранные труды. Харьков : Друкарня № 13, 2009. 740 с.
- Панкова Е.И., Айдаров И.П., Ямнова И.А., Новикова А.Ф. Благоволин Н.С. Природное и антропогенное засоление почв бассейна Аральского моря (география, генезис, эволюция). Почвенный ин-т им. В.В. Докучаева РАСХН, 1996. 180 с.
- Панкова Е.И., Мазиков В.М. Методические рекомендации по использованию материалов аэрофотосъемки для оценки солевых съемок орошаемых территорий хлопкосеющей зоны в крупных и средних масштабах // Тр. Почв. ин-та им. В.В. Докучаева. М., 1985. 73 с.
- Панкова Е.И., Айдаров И.П. Экологические требования к качеству оросительных вод // Почвоведение. 1995. № 7. С. 870–878.
- Панкова Е.И., Воробьева Л.А. Диагностика и критерии оценки засоления почв // Засоленные почвы России / отв. ред. Л.Л. Шишов, Е.И. Панкова. М. : Академкнига, 2006. 854 с.
- Панкова Е.И., Ямнова И.А. Формы гипсовых новообразований как фактор, определяющий мелиоративные свойства гипсоносных почв // Почвоведение. 1987. X° 7. С. 101–109.
- Поздняков А.И., Шеин Е.В., Федотова А.В., Шваров А.П., Яковлева Л.В. Оценка засоления почв и грунтовых вод методами электрического сопротивления: учебное пособие. Астрахань : Астраханский государственный университет, Издательский дом «Астраханский университет», 2012. 71 с.
- Польнов Б.Б. Об изменении растворов солей, циркулирующих в почвах // Почвоведение. 1932. № 3. С. 298–303.
- Посохов Е.В. Формирование химического состава подземных вод. Л. : Гидрометеорологическое издательство, 1969. 335 с.
- Почвоведение / Под ред. И.С. Кауричева 4-е изд, перераб. и доп. М. : Агропромиздат, 1989. 719 с.
- Почвоведение / ред. И.С. Кауричев. М. : Агропромиздат, 1989. 719 с.
- Почвы аридной зоны как объект орошения. М. : Наука, 1968. 222 с.
- Руководство по лабораторным методам исследования ионно-солевого состава нейтральных и щелочных минеральных почв. 1990. 236 с.

- Торн Д., Петерсон Х. Орошаемые земли / пер. с англ. С.В. Моро ; под ред. и с предисл. И.Н. Антипова-Каратаева. М. : Изд-во иностранной лит., 1952. 376 с.
- Церлинг В.В., Липкинд И.М., Джумаева ИМ. и др. Режим питания хлопчатника на почвах разной степени засоления и гипсоносности // Диагностика потребности растений в удобрениях. М. : Колос, 1970. С. 241–245.
- Экологические требования к орошению почв России (рекомендации). М. : Почв. ин-т им. В.В. Докучаева, 1996. 71 с.
- Jackson M.L. Soil chemical analysis. Bombay : Asia Publishing House, 1962.
- Methods of soil analysis. Part 2. Chemical and Microbiological Properties // Agronomy Monograph. 1982. № 9. 2nd edition. Chapter 24. Madison. Wisconsin, 1982. P. 402–429.
- Soil survey investigation for irrigation // FAO Soil Bulletin. Rome : FAO, 1979. Vol. 42. 188 p.
- Soil taxonomy: A basic system of soil classification for making interpretation soil survey. Washington, 1975. 754 p.
- Soil taxonomy: Agriculture handbook. 1999. № 436. 869 p.

СОДЕРЖАНИЕ

Введение	3
Раздел 1. Мелиорация засоленных почв	4
1.1. Причины соленакопления и засоления почв	4
1.2. Общая характеристика засоленных почв	6
1.3. Диагностика и критерии оценки солонцеватости почв	12
1.4. Критерии оценки почв по гипсоносности	16
1.5. Критерии оценки карбонатности почв	22
1.6. Вторичное засоление при орошении	24
1.6.1. Солевой баланс почв на орошаемом массиве	24
1.6.2. Причины вторичного засоления почв	26
1.6.3. Дренаж орошаемых почв	30
1.7. Приемы мелиорации засоленных почв	32
1.7.1. Методы и способы удаления солей из почвы	32
1.7.2. Сквозная промывка почв	35
1.7.3. Химизм промывки	38
1.7.4. Условия и техника промывки засоленных почв	40
1.7.5. Мелиорация почв содового засоления	42
1.8. Задачи и методы мелиорации солонцов и солонцовых почв	43
Раздел 2. Методы изучения засоленных почв	49
2.1. Метод водной вытяжки	49
2.1.1. Качественные испытания засоленности почв	50
2.1.2. Приготовление водной вытяжки	51
2.1.3. Обесцвечивание водной вытяжки	53
2.1.4. Определение величины рН водной вытяжки	54
2.1.5. Определение сухого остатка	54
2.1.6. Определение щелочности от растворимых карбонатов (CO_3^{2-})	56
2.1.7. Определение общей щелочности (HCO_3^-)	59
2.1.8. Определение кислотности	60
2.1.9. Определение хлорид-ионов	62
2.1.10. Определение кальция и магния	63
2.1.11. Определение сульфат-ионов	66
2.1.12. Определение Cl^- , SO_4^{2-} , Ca^{2+} , Mg^{2+} в темноокрашенных и мутных водных вытяжках	70

2.1.13. Определение Na^+ и K^+	71
2.1.14. Определение водорастворимых органических веществ	72
2.1.15. Определение железа	76
2.2. Проверка точности результатов анализа водных вытяжек	76
2.3. Использование и интерпретация результатов анализа водной вытяжки почв	78
2.3.1. Общий запас водорастворимых солей	81
2.3.2. Вычисление эквивалент-процентов солей	81
2.3.3. Степень и химизм засоления почв	81
2.3.4. Расчет токсичных солей	85
2.4. Способы представления результатов анализа водных вытяжек	93
2.4.1 Таблицы и солевые профили	93
2.4.2 Типы распределения солей по профилю почв	95
2.5. Оценка засоления почв методом электрического сопротивления	100
2.6. Извлечение легкорастворимых солей методом насыщенных водой почвенных паст	103
2.7. Определение обменных оснований и гипса в засоленных почвах	105
2.7.1. Определение обменных оснований по методу Пфелфера в модификации В.А. Молодцова и В.П. Игнатовой	105
2.7.2. Определение содержания гипса	108
Раздел 3. Охрана труда	111
3.1. Общие требования охраны труда при работе с химическими веществами	111
3.2. Требования пожарной безопасности во время работы в лаборатории	116
3.3. Требования охраны труда с электрооборудованием во время работы	119
Заключение	123
Глоссарий	125
Литература	131

Издание подготовлено в авторской редакции

Отпечатано на участке цифровой печати
Издательского Дома Томского государственного университета

Заказ № 2941 от «21» декабря 2017 г. Тираж 50 экз.