

Министерство образования и науки Российской Фе-  
дерации  
ГОУ ВПО «Иркутский государственный университет»  
Биолого-почвенный факультет

**О. Г. Лопатовская  
А. А. Сугаченко**

# **МЕЛИОРАЦИЯ ПОЧВ ЗАСОЛЕННЫЕ ПОЧВЫ**

Учебное пособие



УДК 631.416:54-38+631.6](075.8)

ББК 40.3я73+40.6я73

Л77

Печатается по решению учебно-методической комиссии  
биолого-почвенного факультета  
Иркутского государственного университета

**Рецензенты:**

д-р геогр. наук, проф. *А. Т. Напрасников*,  
доц. кафедры почвоведения *Н. В. Вашукевич*

**Лопатовская О. Г.**

Л77 Мелиорация почв. Засоленные почвы : учеб. пособие /  
О. Г. Лопатовская, А. А. Сугаченко. – Иркутск : Изд-во Иркут.  
гос. ун-та, 2010. – 101 с.

В учебном пособии приводится материал по ряду вопросов дисциплин «Мелиорация почв» и «Мелиорация засоленных почв», предусмотренных действующей учебной программой. При написании глав использовались сведения прошлых и последних лет о состоянии мелиорации в Иркутской области.

Пособие адресовано студентам и аспирантам, а также специалистам-почвоведом и мелиораторам.

УДК 631.416:54-38+631.6](075.8)

ББК 40.3я73+40.6я73

© Лопатовская О. Г., Сугаченко А. А., 2010

© ГОУ ВПО «Иркутский государственный университет», 2010

## Оглавление

Введение .....	4
1. Засоленные почвы: особенности формирования и источники засоления .....	5
2. Методы оценки засоления почв .....	15
3. Классификация засоленных почв .....	21
4. Основные свойства засоленных почв ..	35
5. Вторичное засоление почв и методы его предотвращения .....	41
6. Мелиорация засоленных почв .....	48
7. Особенности мелиорации почв содового, сульфидного, карбонатного и гипсового засоления .....	60
8. Особенности мелиорации солонцов и солонцовых почв .....	65
9. Проблемы засоления и опустынивания ..	71
10. Рекультивация засоленных почв .....	75
11. Прогнозирование засоления почв .....	80
12. Засоленные почвы Иркутской области	82
Практические работы .....	92
Вопросы для самоконтроля .....	96
Список литературы .....	97

## **ВВЕДЕНИЕ**

Курс «Мелиорации почв» читается студентам почвенной специальности как один из основных теоретических курсов практически со дня основания кафедры. Еще в семидесятых годах прошлого века были изданы учебные пособия профессорами И. Н. Карнауховым [20, 21], Углановым [66], где были представлены теоретические материалы, касающиеся засоленных почв Республики Хакасии и Западной Сибири и их мелиорации. Сведения о проблеме засоления и мелиорации почв Иркутской области разрозненны и немногочисленны.

Учебная литература по данному курсу в полной мере не представлена. В последнее десятилетие появились новые публикации, в которых отражены новые подходы и достижения в области мелиорации засоленных почв.

Наиболее значимой публикацией является фундаментальная монография «Засоленные почвы России», где, в том числе, в одной из глав были представлены материалы по засоленным почвам юга Восточной Сибири, подготовленные О. Г. Лопатовской – одним из авторов данного пособия.

Пособие включает теоретический и практический разделы, которые необходимы для самостоятельной работы студентов.

В учебном пособии приводятся основные понятия и термины, касающиеся мелиорации и освоения засоленных почв, так как решение любой проблемы должно опираться на четкое определение понятий, сопоставимость методов и критериев оценки засоления.

# 1. ЗАСОЛЕННЫЕ ПОЧВЫ: ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ И ИСТОЧНИКИ ЗАСОЛЕНИЯ

По данным Международного института окружающей среды и развития (International Institute for Environment and Development) и Института мировых ресурсов (World Resources Institute), около 10 % поверхности континентов покрыто засоленными почвами. В большей степени они распространены в аридных районах. Серьезно проблема засоления проявляется в 75 странах мира (Австралия, Китай, Индия, Ирак, Мексика, Пакистан, США и др.). Из 222 млн га пашни засоленные и осолонцованные почвы занимают 40 млн га; солонцы, солончаки, солоды – 62 млн га. Для орошаемых земель агрохимические мелиорации требуются на площади 211 тыс. га, а сильнозасоленные почвы составляют более 101 тыс. га [75].

Засоленные почвы России составляют 53 997 тыс. га, или 3,3 % общей площади России и 5,0 % площади почв равнин (табл. 1) [18].

Таблица 1

Засоленные почвы России, тыс. га

Природно-экономические регионы	Общая площадь	% общей площади почв	Площадь сельскохозяйственных угодий		
			общая	засоленных почв	% общей площади
Россия	53 997,0	5,02	220 700	22 142,9	10,0
Северный	–	–	3400	–	–
Центрально-Черноземный	601,4	3,6	14 700	100,2	0,7
Поволжский	16 085,6	31,4	41 000	8485,5	20,7
Северо-Кавказский	5641,9	16,55	26 700	3621,8	13,6
Уральский	6538,6	15,62	34 000	3188,9	9,4
Западно-Сибирский	15 507,6	7,04	34 800	6489,0	18,7
Восточно-Сибирский	1264,5	0,28	22	257,5	1,2

			100		
Дальневосточный	3808,4	0,64	8000	-	-

*Засоление почвы* – процесс накопления растворимых солей, приводящий к образованию солончаковатых (глубинное засоление), солончаковых (поверхностное засоление) и содовозасоленных почв [58].

Засоление может быть первичным и вторичным (рис. 1).

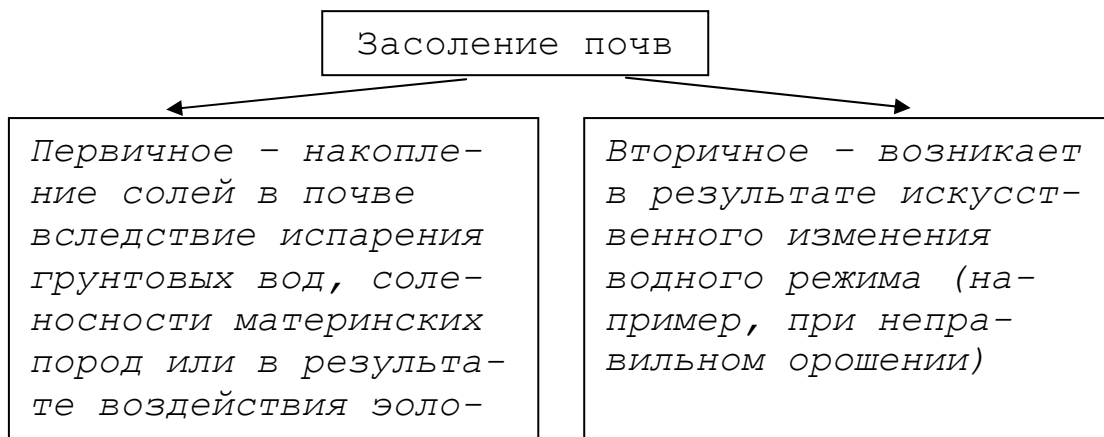


Рис. 1. Виды засоления почв

*Засоленные почвы* – это группа почв разного генезиса и свойств, имеющих в профиле такое количество легкорастворимых солей, которое ухудшает плодородие почв и отрицательно влияет на рост и развитие большинства растений [15].

По химизму засоления различают почвы с нейтральным засолением –  $pH < 8,5$  (хлоридное, сульфатно-хлоридное, хлоридно-сульфатное, сульфатное) и щелочным засолением –  $pH > 8,5$  (хлоридно-содовое, содово-хлоридное, сульфатно-содовое, содово-сульфатное, сульфатно-хлоридно-гидрокарбонатное).

При оценке засоления почв, как правило, определяют анионы ( $CO_3^{2-}$ ,  $HCO_3^-$ ,  $Cl^-$ ,  $SO_4^{2-}$ ) и катионы ( $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $Na^+$ ,  $K^+$ ) легкорастворимых солей. В некоторых случаях дополнительно определяют ионы боратов, нитратов и нитритов.

Токсичное действие легкорастворимых солей проявляется в увеличении осмотического давления почвенной влаги, снижении ее доступности для растений, нарушении нормального соотношения элементов минерального питания, отрицательном воздействии на свойства почв. В этом случае соли могут оказывать специфическое токсическое действие на растения [28, 29, 30].

Легкорастворимые соли в засоленных почвах находятся в составе почвенного раствора и твердых фаз почвы (как в виде минералов, так и в виде ионов в составе почвенного поглощающего комплекса) (табл. 2) [74].

Таблица 2

## Основные соли, участвующие в засолении почв

Формула	Минерал	Хим. название	Традиционное название	Описание некоторых свойств
$\text{CaCO}_3$	Кальцит (известковый шпат), арагонит, ватерит	Карбонат кальция	Мел	В связи с малой растворимостью $\text{CaCO}_3$ безвреден для большинства растений, карбонатные горизонты часто сильно сцементированы и трудно проницаемы для корней растений
$\text{MgCO}_3$	Магнезит	Карбонат магния	–	Растворы $\text{MgCO}_3$ обладают высокой щелочностью, что угнетает растения
$\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$	Нахколит, трона, натрит, термонаитрит	Карбонат натрия	Сода	Крайне токсичен для растений из-за высокой растворимости (178 г/л) и высокой щелочности раствора (pH 10–12)
$\text{K}_2\text{CO}_3$	Поташ	Карбонат калия	–	Токсичен для большинства растений. Из-за редкой встречаемости не играет существенной роли в глобальных процессах формирования засоленных почв
$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ $\text{CaSO}_4$	Гипс, селенит, алебастр, ангидрит	Сульфат кальция	Гипс	Не оказывает отрицательного действия на растения вследствие малой растворимости (1,9 г/л). Высокая концентрация гипса способствует образованию сплошной губчатой массы, непроницаемой для воды, воздуха и корней растений, что приводит к угнетению растений и их гибели
$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ $\text{O}$	Эпсомит	Сульфат магния	Английская соль, горькая соль, магнезия	Обладает высокой растворимостью (252 г/л) и характеризуется крайне высокой токсичностью для растений
$\text{Na}_2\text{SO}_4$	Тенардит,	Сульфат	–	Токсичность в 2–3 раза ниже по сравнению с



$\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$	мирабилит	фат натрия		$\text{MgSO}_4$
$\text{NaCl}$	Галит	Хлорид натрия	Поваренная соль	Одно из распространенных и токсичных веществ засоленных почв из-за его физиологической активности и высокой растворимости (264 г/л)
$\text{KCl}$	Сильвин, карналлит	Хлорид калия	–	В засоленных почвах концентрация $\text{KCl}$ редко достигает значений, при которых проявляется его токсическое действие
$\text{MgCl}_2$	Бишофит	Хлорид магния	–	Вследствие высокой растворимости (353 г/л) обладает высокой токсичностью

Основные элементы, соединения которых могут приводить к засолению почв – Ca, Mg, Na, K, Cl, S, C, N, B, Si. Засоление почв происходит преимущественно в форме солей: хлориды – NaCl, KCl, MgCl<sub>2</sub>, CaCl<sub>2</sub>; сульфаты – Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, MgSO<sub>4</sub>, K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>; карбонаты – Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, NaHCO<sub>3</sub>, MgCO<sub>3</sub>, CaCO<sub>3</sub>, Ca(HCO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>; нитраты – NaNO<sub>3</sub>, KNO<sub>3</sub>; бораты – Na<sub>2</sub>B<sub>2</sub>O<sub>2</sub> и др.

Легкорастворимые соли, содержащиеся в почве, могут быть токсичными и нетоксичными [49]. Токсичные соли делятся на хлориды (NaCl, CaCl<sub>2</sub>, MgCl<sub>2</sub>), сульфаты (Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, MgSO<sub>4</sub>), карбонаты (Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>, NaHCO<sub>3</sub>) и нитраты (NaNO<sub>3</sub>, KNO<sub>3</sub>). По воздействию на растения соли располагаются в ряд по степени убывания угнетающего действия: Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> → NaHCO<sub>3</sub> → NaCl → NaNO<sub>3</sub> → CaCl<sub>2</sub> → Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> → MgCl<sub>2</sub> → MgSO<sub>4</sub>.

К нетоксичным солям относятся CaCO<sub>3</sub>, CaSO<sub>4</sub>·2H<sub>2</sub>O, Ca(HCO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>.

Главные водорастворимые минералы включают:

– сульфаты: арканит, бледит, глазерит, эпсомит, гипс, полугидрат, ангидрит, глауберит, гексагидрит, старкеит, мирабилит, тенардит, кизерит;

– хлориды: галит, каинит, карналлит, сильвин, бишофит;

– карбонаты: доломит, кальцит, арагонит, люблинит, магнезит, буркеит, гейлюсеит, нахколит, пирсонит, термонатрит, трона;

– нитраты: калийная селитра, натриевая селитра, кальциевая селитра [31].

Легкорастворимые соли почвы могут образовывать комплексы солей: полигалит (K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>·MgSO<sub>4</sub>·CaSO<sub>4</sub>·2H<sub>2</sub>O), сильвинит (KCl·NaCl), карналлит (KMgCl<sub>2</sub>·6H<sub>2</sub>O), каинит (KCl·MgSO<sub>4</sub>·6H<sub>2</sub>O).

Наибольшей токсичностью для растений обладают карбонаты натрия, затем следуют хлориды и нитраты щелочей; сульфаты наименее токсичны. Смесь различных солей всегда более безвредна, чем преобладание одной соли.

С точки зрения плодородия почв наиболее важным показателем является засоленность верхнего метрового (корнеобитаемого) слоя. Наличие солей во втором метре почвенного профиля и подстилающих породах способствует развитию вторичного засоления. Эта информация является обязательной при мелиоративной оценке засоленных почв [44].

Морфологическое разделение засоленных почв по глубине, химизму и степени засоления затруднено, поэтому выделение засоленных почв, их диагностика и классификация основаны на результатах химических анализов. Перечень показателей, используемых для оценки засоления почв, приведен в табл. 3 [15].

Таблица 3

Перечень показателей засоления почв

<i>Свойства почв</i>	<i>Показатели почв</i>
Распределение солей в почвенном профиле	1. Верхняя граница залегания солей, см 2. Мощность солевого профиля, см 3. Глубина залегания горизонта, максимального содержания солей, см 4. Солевой профиль (графическое изображение распределения ионов в почвенном профиле) 5. Глубина залегания грунтовых вод, см
Химизм засоления почв и грунтовых вод	1. Содержание конкретных ионов ( $\text{Cl}^-$ , $\text{SO}_4^{2-}$ , $\text{Ca}^{2+}$ и др.), ммоль экв / 100 г почвы, ммоль экв / л, [мг-экв / 100 г почвы] 2. Соотношение миллимолей эквивалентов ионов ( $\text{Cl}^-$ : $\text{SO}_4^{2-}$ и др.), относительные величины
Кислотно-основные свойства (щелочность) почв и грунтовых вод	1. pH почвенных растворов, паст, суспензий, единицы pH 2. Виды щелочности: общая щелочность, щелочность от $\text{CO}_2^-$ , карбонатная ( $\text{CO}_2^- + \text{HCO}_3^-$ ) щелочность, органическая щелочность, боратная щелочность, силикатная щелочность, сульфидная щелочность 3. Остаточный карбонат натрия Щобщ- (Ca + Mg), ммоль экв/100 г почвы, ммоль экв/л, [мг-экв/100 г почвы]
Степень засоления почв и минерализация грунтовых вод	1. Концентрация солей в почвенных растворах и грунтовых водах, мг/л, г/л 2. Плотный или сухой остаток (метод водных вытяжек), % 3. Сумма солей (метод водных вытяжек), % 4. Сумма токсичных солей (метод водных вытяжек), %

	<p>5. Содержание отдельных ионов, ммоль экв/100 г почвы, ммоль экв/л, [мг-экв/100 г почвы]</p> <p>6. Активность отдельных ионов, р<sub>a</sub> (р<sub>Na</sub>, р<sub>Cl</sub> и др.)</p> <p>7. Электропроводность фильтратов из насыщенных водой почвенных паст (ЕС), мСм/см, дСм/м [ммо/см]</p> <p>8. Запас легкорастворимых солей в слое почвы, т/га, кг/м<sup>2</sup></p> <p>9. Показатель сезонной аккумуляции солей [28]</p>
--	--

Свойства почв	Показатели почв
Солонцеватость почв	1. Морфологические признаки (структура и степень выраженности солонцового горизонта) 2. Мощность надсолонцового горизонта, см 3. Содержание обменного натрия моль (+)/100 г почвы [мг-экв/100 г почвы] 4. Доля (%) обменного натрия от ЕКО, % или от суммы обменных катионов 5. SAR – показатель адсорбируемого натрия почвенного раствора или фильтрата из водонасыщенной пасты или оросительной воды (находят расчетным путем), единицы SAR
Гипсоносность почв	1. Верхняя граница залегания гипса, см 2. Глубина залегания горизонта максимального скопления гипса, см 3. Содержание гипса в почвенных горизонтах (распределение гипса в почвенном профиле), % 4. Запас гипса в слое почвы, т/га 5. Формы гипсовых новообразований
Карбонатность почв	1. Верхняя граница залегания карбонатов, см 2. Глубина залегания горизонта максимального скопления карбонатов, см 3. Содержание карбонатов в почвенных горизонтах (распределение карбонатов в почвенном профиле), % 4. Запас карбонатов в слое почвы, т/га 5. Формы карбонатных новообразований

**Примечания:** в квадратных скобках указаны единицы, которые в настоящее время не рекомендуется употреблять. Результаты, выраженные в миллимолях эквивалентов, миллиграмм-эквивалентах на 100 г почвы и сантимолях эквивалентов на 1 кг почвы численно равны

Различают следующие *циклы соленакопления*, ведущие к формированию засоленных почв [31]:

- Континентальные циклы, связанные с движением, перераспределением и аккумуляцией карбонатов, сульфатов, хлоридов, нитратов, щелочей и щелочных земель на обширных континентальных равнинах, депрессиях и низменностях суши.
- Приморские циклы связаны с аккумуляцией морских солей, в основном хлоридов натрия, на приморских равнинах, вдоль низких приливных берегов, мелководных заливов, лагун, отчлененных приморских озер.
- Дельтовые циклы характеризуются сложным сочетанием переноса и отложения солей, принесенных с континента реками и долинно-дельтовыми подземными водами, а также солей, принесенных с моря приливами, нагонными ветрами и т. д.
- Артезианские циклы связаны с выходом восходящих растворов солей на поверхность по тектоническим трещинам, разломам, через разрушенные структуры (грязевые вулканы и грифоны Каспийского региона) в обширные и глубокие континентальные впадины (Африканский рифт, депрессии Устюрта в Азии) или впадины вдоль контактных разломов между горными системами и прилегающими равнинами (Скалистые горы, Тянь-Шань, Кавказ).
- Антропогенные циклы связаны с нерациональной деятельностью человека.

*Источниками поступления* солей в почвы служат горные породы, почвенно-грунтовые воды, эоловый перенос солей с моря на сушу, атмосферные осадки, разложение растительности, неэффективное орошение.

Основной источник образования солей в почве – процесс выветривания горных пород с последующим перераспределением солей под действием поверхностных вод и их аккумуляцией в почвах пониженных элементов рельефа. При выветривании горных пород образуются хлориды, сульфаты, нитраты, силикаты и особенно много карбонатов (за счет взаимодействия с  $\text{CO}_2$  воздуха).

Засоление почв может происходить под влиянием тектонических поднятий, когда соленосные породы выходят на поверхность. Кроме этого возможно вторичное растворение солей почвообразующих подстилающих пород пресными грунтовыми (ир-

ригационными) водами, а также их перенос и аккумуляция в горизонты почвенного профиля.

Засоление может быть вызвано эоловым переносом солей с моря на сушу (импульверизация) в виде капель и твердых аэрозолей в бассейнах соленых озер, морей и с поверхности солончаков. Такой принос солей ветром может достигать 20–30 т/км<sup>2</sup>.

Источником солей служат атмосферные осадки. Содержание солей в них обычно не превышает 20–30 мг/л, но в приморских районах достигает 400 мг/л.

Засоление почв может происходить в процессе разложения растительности, особенно галофитной. В этом случае освобождаются различные минеральные вещества остатков растительных и животных организмов и продуктов их жизнедеятельности.

Неэффективное орошение (превышение поливных норм и неудовлетворительный дренаж) служит причиной вторичного засоления почв.

Оросительные воды при бездренажном орошении в аридном климате могут быть источником солей в почве, так как содержат то или иное количество растворимых солей. Оптимальное содержание солей в поливной воде – 1 г/л и меньше.

Особое внимание следует обратить на грунтовые воды, так как они являются непосредственным источником поступления солей в почву вследствие высокой испаряемости влаги почвой. Поверхностные и грунтовые воды, содержащие легкорастворимые соли, не всегда достигают русла и задерживаются на элементах рельефа с наименьшими уклонами. Уровень грунтовых вод становится близким к поверхности (1–3 м), в результате чего происходит капиллярный подъем минерализованных грунтовых вод. Вода при этом быстро испаряется, а минеральные соли остаются в верхних слоях почвы, засоляя их. Наибольшая величина концентрации солей, которая при определенной глубине и режиме орошения не вызывает засоления почвы, называется критической минерализацией природных вод. Критическая глубина зависит от механического состава почвы, величины и интенсивности испарения [63].

*Засоленность природных вод* – насыщение природных вод минеральными веществами (солями) [58].

*Минерализация природных вод* – сумма всех минеральных веществ, содержащихся в воде. Степень минерализации оценивается по сухому остатку, представляющему собой содержание в воде нелетучих минеральных и органических соединений в единицах массы на объем или массу воды г/л, мг/л [63]. Классификация минеральных вод по степени минерализации представлена в табл. 4.



## Классификация минеральных вод

Группа вод	Подгруппа вод	Минерализация, г/л
Пресные	Ультрапресные	<0,2
	Умеренно пресные	0,2–0,5
	Собственно пресные	0,5–1,0
Солоноватые	Слабосоленые	1–3
	Умеренно солоноватые	3–10
Соленые	Слабосоленые	10–30
	Сильносоленые	30–50
Рассолы	Слабые	50–100
	Крепкие	100–320
	Сверхкрепкие	320–500
	Предельно насыщенные	>500

*Критическая концентрация (минерализация) грунтовых вод* – степень концентрации, при которой в условиях гидроморфных почв (в естественных условиях или при ирригации и дренаже) капиллярно-восходящие токи грунтовых вод вызывают засоление верхних почвенных горизонтов [31].

По водородному показателю рН засоленные природные воды подразделяются на кислые (рН<7), нейтральные (рН=7) и щелочные (рН>7).

Для характеристики состава и свойств воды применяют: полевой, сокращенный и полный анализы. Вычисляются: жесткость общая, карбонатная,  $\text{CO}_2$  агрессивная. Содержание солей выражается в ионной форме в г или мг/л или кг (г)/100 л. Содержание микрокомпонентов выражается в мкг/л воды.

Наиболее часто встречающаяся форма выражения – %-экв. В этом случае делают следующий расчет: суммы миллиграмм-эквивалентов, полученных при анализе катионов и анионов, принимаются каждая в отдельности за 100, затем относительное количество эквивалентов каждого иона вычисляют в %. Вычисленные соли являются гипотетическими.

Для выражения химического состава грунтовых вод пользуются формулой Курлова. В числителе находятся анионы (%-экв)

в убывающем порядке их содержания, в знаменателе в таком же порядке катионы. Слева от дроби проставляют в г/л количество газов и активных элементов при содержании их не менее нижних норм до первого десятичного знака. Справа от дроби проставляется температура воды  $T$  и дебит  $D$  л/сут.

### **Контрольные вопросы**

1. Что такое засоление почв?
2. Каковы виды засоления почв?
3. Назовите основные легкорастворимые соли, содержащиеся в почве, их свойства и влияние на растения.
4. Назовите возможные пути поступления легкорастворимых солей в почву.
5. Какова роль грунтовых вод в процессе засоления?
6. Какие методы анализа используются при оценке засоления почв грунтовыми водами?

## 2. МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ЗАСОЛЕНИЯ ПОЧВ

Способами оценки засоления почв в России и в ряде других стран являются анализ почвенных растворов и анализ водной вытяжки (1:5). В США, странах Европы оценка засоления дается по результатам анализа фильтратов из водонасыщенных паст [77].

Почвенный раствор непосредственно воздействует как на растения, так и на твердые фазы самих почв. От концентрации и состава солей в почвенных растворах зависят условия питания растений, состав обменных катионов почвенного поглощающего комплекса и др.

В. А. Ковдой [27, 28, 29] была предложена одна из первых классификаций оценки засоления почв по концентрации солей в почвенных растворах для почв хлопкосеющей зоны (табл. 5).

Для орошаемых почв хлопкосеющей зоны были предложены классификации засоления почв по концентрации солей в почвенных растворах с учетом химизма засоления, гипсоносности и карбонатности, а также и по массовым долям (%) солей в почвах, полученным методом водной вытяжки [45, 48].

Таблица 5

Влияние различных концентраций солей на культуры хлопчатника

Концентрация солей, г/л	Влияние на культуры хлопчатника
3-5	оптимальное
5-6	слабое угнетение
10-12	сильное угнетение
12-20	очень сильное угнетение
20-25	растения гибнут

Б. А. Зимовец и З. Н. Кауричева [16] применительно к культуре озимой пшеницы разработали классификацию для почв сухостепной зоны (табл. 6).

Таблица 6

Степень засоления тяжелосуглинистых почв по концентрации солей в почвенных растворах при влажности, соответствующей ПВ, г/л

Степень засоления почв	Состав солей	
	хлоридный	сульфатный
Незасоленные	<2, 2	<2, 5
Слабозасоленные	2, 1-4, 5	2, 5-5, 4
Среднезасоленные	4, 5-8, 2	5, 4-10, 9

Сильнозасоленные	8,2–20,6	10,9–21,7
Очень сильнозасоленные	>20,6	>21,7

При оценке засоления почв по результатам анализа почвенных растворов имеются преимущества и недостатки [47]:

1. Выделение почвенных растворов трудоемко, требует высокой квалификации аналитика.

2. Свойства почвенных растворов динамичны, концентрация солей меняется в зависимости от влажности почв, концентрации  $\text{CO}_2^-$ , атмосферного давления, температуры почвы, биохимических реакций и пр.

3. Соли, находящиеся в твердых фазах почв, не извлекаются полностью при выделении почвенных растворов.

Таким образом, судить об общем содержании легкорастворимых солей почвы по результатам анализа почвенных растворов нельзя. Целесообразно использовать метод водных вытяжек, так как кроме солей, находящихся в жидких фазах почв, извлекаются соли, которые присутствуют в твердых фазах.

Метод водной вытяжки предусматривает соотношение массы почвы и объема воды 1:5. При добавлении к почве воды и получении водных вытяжек происходит не только растворение легкорастворимых солей, но и возникает ряд сопутствующих процессов, которые влияют на результаты оценки степени и химизма засоления почв и должны приниматься во внимание при интерпретации результатов анализа водных вытяжек. Этот метод является самым простым и широко используемым при массовых определениях, проводимых с целью учета и получения общей характеристики засоления почв. Результаты водных вытяжек дают представления о химизме и степени засоления, глубине залегания солей и др.

Химизм засоления оценивают по соотношению миллимолей эквивалентов анионов и катионов, извлеченных методом водных вытяжек из 100 г почвы. В названии на последнее место ставится преобладающий анион; один анион в названии химизма используют в том случае, если его содержание в 2 раза и более превышает содержание других анионов. Если содержание трех анионов ( $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ) приблизительно одинаково, то в названии химизма засоления указываются все три аниона.

По химизму засоления выделяются почвы, засоленные нейтральными солями, и щелочные почвы [29]. Химизм засоления по анионному составу представлен в табл. 7 [15].

Таблица 7

Химизм засоления почв по соотношению анионов, моль (-)/100 г почвы

Нейтральное засоление ( $\Sigma_{\text{общ}} < \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ , $\text{pH} < 8,5$ )	Щелочное засоление ( $\Sigma_{\text{общ}} > \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ , $\text{pH} > 8,5$ )		Карбонатно-щелочноземельное засоление ( $\Sigma_{\text{общ}} \leq \text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$ , $\text{pH} < 8,5$ )
$\Sigma_{\text{общ}} < 20$ % от $\Sigma$ анионов	$\Sigma_{\text{общ}} > 20$ % от $\Sigma$ анионов	$\Sigma_{\text{общ}} < 20$ % от $\Sigma$ анионов	$\Sigma_{\text{общ}} > 20$ % от $\Sigma$ анионов
Хлоридный $\text{Cl}^- / \text{SO}_4^{2-}{}_{\text{токс}} > 2$	Содовый $\Sigma_{\text{общ}} > \text{Cl}^-$ и $\text{SO}_4^{2-}$	Хлоридный и сульфатно-хлоридный с участием соды $\Sigma_{\text{общ}} < \text{Cl}^-$ и $< \text{SO}_4^{2-}$ ; $\text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-}$	Сульфатно-хлоридно-карбонатный $\Sigma_{\text{общ}} > \text{Cl}^-$ $\Sigma_{\text{общ}} > \text{SO}_4^{2-}$ $\text{Cl}^- > \text{SO}_4^{2-}$
Сульфатно-хлоридный $\text{Cl}^- / \text{SO}_4^{2-}{}_{\text{токс}} = 2-1$	Хлоридно-содовый $\Sigma_{\text{общ}} > \text{Cl}^-$ , $\text{SO}_4^{2-} < 20$ % от $\Sigma$ анионов	Сульфатный и хлоридно-сульфатный с участием соды $\Sigma_{\text{общ}} < \text{Cl}^-$ и $< \text{SO}_4^{2-}$ ; $\text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^-$	Хлоридно-сульфатно-карбонатный $\Sigma_{\text{общ}} > \text{Cl}^-$ $\Sigma_{\text{общ}} > \text{SO}_4^{2-}$ $\text{SO}_4^{2-} > \text{Cl}^-$
Хлоридно-сульфатный $\text{Cl}^- / \text{SO}_4^{2-}{}_{\text{токс}} = 1-0,5$	Сульфатно-содовый $\Sigma_{\text{общ}} > \text{SO}_4^{2-}$ , $\text{Cl}^- < 20$ % от $\Sigma$ анионов	-	-
Сульфатный $\text{Cl}^- / \text{SO}_4^{2-}{}_{\text{токс}} < 0,5$	Содово-хлоридный $\Sigma_{\text{общ}} < \text{Cl}^-$ , $\text{SO}_4^{2-} < 20$ % от $\Sigma$ анионов	-	-

	Содово-сульфатный Сульфатно-содовый $\Sigma_{\text{общ}} < \text{SO}_4^{2-}, \text{Cl}^- < 20 \% \text{ от}$ $\Sigma$ анионов	-	-
--	--	---	---

При оценке почв по химизму засоления помимо соотношения анионов следует дополнительно учитывать и соотношение катионов. По составу катионов выделяются почвы, засоленные натриевыми, магниевыми и кальциевыми солями [15] (табл. 8)

Степень засоления почв при использовании метода водной вытяжки оценивают с учетом его химизма по массовой доле (%) сухого, или плотного, остатка или по сумме массовых долей (%) отдельных ионов (сумма солей –  $\sum_{\text{солей}}$  или  $S_{\text{солей}}$ ).

Таблица 8

Химизм засоления почв по соотношению катионов, моль (+) / 100 г почвы

Химизм засоления	Соотношение катионов
Натриевый	$\text{Na}^+ > \text{Ca}^{2+}$ , $\text{Na}^+ > \text{Mg}^{2+}$ , $\text{Ca}^{2+} < 20\% \sum \text{катионов}$ , $\text{Mg}^{2+} < 20\% \sum \text{катионов}$
Магниевый	$\text{Mg}^{2+} > \text{Ca}^{2+}$ , $\text{Mg}^{2+} > \text{Na}^+$ , $\text{Na}^+ < 20\% \sum \text{катионов}$ , $\text{Ca}^{2+} < 20\% \sum \text{катионов}$
Кальциевый	$\text{Ca}^{2+} > \text{Na}^+$ , $\text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+}$ , $\text{Na}^+ < 20\% \sum \text{катионов}$ , $\text{Mg}^{2+} < 20\% \sum \text{катионов}$
Магниево-натриевый	$\text{Na}^+ > \text{Mg}^{2+}$ , $\text{Ca}^{2+} < 20\% \sum \text{катионов}$
Кальциево-натриевый	$\text{Na}^+ > \text{Ca}^{2+}$ , $\text{Mg}^{2+} < 20\% \sum \text{катионов}$
Кальциево-магниевый	$\text{Mg}^{2+} > \text{Ca}^{2+}$ , $\text{Na}^+ < 20\% \sum \text{катионов}$
Натриево-магниевый	$\text{Mg}^{2+} > \text{Na}^+$ , $\text{Ca}^{2+} < 20\% \sum \text{катионов}$
Натриево-кальциевый	$\text{Ca}^{2+} > \text{Na}^+$ , $\text{Mg}^{2+} < 20\% \sum \text{катионов}$
Магниево-кальциевый	$\text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+}$ , $\text{Na}^+ < 20\% \sum \text{катионов}$

*Плотный остаток* – общее содержание в почве минеральных и органических соединений, извлекаемых из почвы методом водной вытяжки. По величине плотного остатка устанавливают степень засоления почвы (%).

*Прокаленный остаток* – массовая доля переходящих из почв в водную вытяжку минеральных веществ. Его определяют прокаливанием сухого остатка или озолением в нем органического вещества пероксидом водорода.



В водные вытяжки переходят не только легкорастворимые (токсичные) соли, но и соли средне- и труднорастворимые, которые к токсичным не относятся. Это приводит к завышению величины плотного остатка и суммы солей и, как следствие, влияет на оценку степени засоления почв. Поэтому по результатам анализа водных вытяжек расчетным путем предложено находить содержание токсичных солей и по нему оценивать степень засоления почвы.

В. С. Муратова и В. Ю. Маргулис [48] рекомендуют эмпирическое уравнение для приблизительной оценки суммы токсичных солей:

$$\Sigma_{\text{токс}} = \text{Na}^+ + \text{Mg}^{2+} / 15 [\%],$$

где  $\text{Na}^+$  и  $\text{Mg}^{2+}$  – количество миллимолей эквивалентов натрия и магния, которое было определено методом водной вытяжки, ммоль(+)/100 г почвы.

В табл. 9 [4, 25, 55] приведена ориентировочная классификация суглинистых почв по степени засоления, учитывающая общее содержание извлеченных из почвы солей и содержание токсичных солей.

Таблица 9

Классификация почв по степени засоления  
в зависимости от химизма засоления

Степень засоления почв	Химизм засоления (по отношению ионов, ммоль экв/100 г почвы)					
	Нейтральное засоление			Щелочное засоление		Карбонатно-щелочное засоление
	X C-X	X-C	C	Сд X-Сд Сд-X	C-Сд Сд-C	C-X-K
Порог токсичности (незасоленные почвы)	<0,1 <0,05	<0,2 <0,1	<0,3 <0,15	<0,1 <0,05	<0,15 <0,15	<0,2 <0,15
Слабая	0,1-0,2 0,05- 0,12	0,2- 0,4 (0,6) 0,1-0,25	0,3 (1,0) - 0,6 (1,2) 0,15-0,3	0,1- 0,2 0,05- 0,12	0,15- 0,25 0,15- 0,25	0,2-0,4 0,15-0,3
Средняя	0,2-0,4	0,4 (0,6) -	0,6 (1,2) -	0,2-	0,25-	0,4-0,5

	0,12– 0,35	0,6(0,9) 0,25–0,5	0,8(1,5) 0,3–0,6	0,3 0,15– 0,3	0,4 0,25– 0,4	0,3–0,5
Сильная	0,4–0,8 0,35– 0,7	0,6(0,9)– 1,0(1,4) 0,5–1,0	0,8(1,5)– 1,5(2,0) 0,6–1,5	0,3– 0,5 0,3– 0,5	0,4–0,6 0,4–0,6	Не встреча- ется
Очень сильная	>0,8 >0,7	>1,0(1,4) >1,0	>1,5(2,0) >1,5	>0,5 >0,5	>0,6 >0,6	–

**Примечания:** над чертой – сумма солей, под чертой – сумма токсичных солей, %; водная вытяжка 1:5. Х – хлоридный, С – сульфатный, Сд – содовый, К – карбонатный. Цифры в скобках соответствуют степеням засоления по сумме солей в почвах, содержащих гипс.

Степень засоления почв хлоридного, сульфатно-хлоридного, сульфатного и хлоридно-сульфатного засоления с участием соды оценивается по критериям почв щелочного засоления.

Среди сопутствующих процессов, возникающих при проведении анализа водных вытяжек, выделяют следующие:

1. При добавлении к почве воды растворяются не только легкорастворимые соли, но и соединения менее растворимые, например гипс. Это приводит к завышенным показателям плотного остатка, суммы солей, содержания сульфат-ионов и кальция.

2. При получении водных вытяжек твердые фазы почвы взаимодействуют с жидкими фазами суспензий, нарушаются ионообменные равновесия и может происходить замена обменных катионов ППК на катионы жидкой фазы суспензии.

3. Добавление воды может приводить к усилению гидролиза ППК, содержащего обменный натрий, в результате образуется ион  $\text{OH}^-$ , что приводит к увеличению рН и титруемой щелочности:



4. Результатом добавления воды к почве является разбавление адсорбированного почвой диоксида углерода [69]. Это приводит к понижению концентрации  $\text{CO}_2$  в жидкой фазе суспензии и, как следствие, понижается парциальное давление диоксида углерода ( $P_{\text{CO}_2}$ ) в ее газовой фазе. От уровня  $P_{\text{CO}_2}$  зависит соотношение ионов  $\text{CO}_3^{2-}$  и  $\text{HCO}_3^-$ , растворимость труднорастворимых карбонатов (карбонатов кальция и магния), значения рН, общей и карбонатной точности, концентрации кальция и магния в жидких фазах [15].

За рубежом главным оперативным показателем засоленности почв является удельная электропроводность (мСм/см, дСм/м), определяемая в фильтрах из насыщенных водой паст. В России наиболее распространен метод водной вытяжки. При этом определяют наиболее информативный ион, четко коррелирующий с суммой токсичных солей, и указывают метод оценки засоления почв, основанный на измерении активности ионов с помощью ионселективных электродов [12, 23, 54, 65, 73].

### **Контрольные вопросы**

1. Назовите преимущества и недостатки анализа почвенных растворов.
2. Какие показатели используются для определения степени засоления почв при анализе водных вытяжек?
3. Напишите уравнение для оценки суммы токсичных солей.
4. Какие сопутствующие процессы возникают при проведении анализа водных вытяжек?

### 3. КЛАССИФИКАЦИЯ ЗАСОЛЕННЫХ ПОЧВ

В России показателем разделения засоленных и незасоленных почв является порог токсичности легкорастворимых солей, установленный для среднесолеустойчивых культур [15].

*Порог токсичности солей* – содержание в почве солей, при превышении которого начинается резкое угнетение культурных растений и их гибель. По данным водных вытяжек, приняты следующие пороги токсичности (по сумме солей): для почв хлоридного и сульфатно-хлоридного засоления – 0,1 %, для почв сульфатно-натриевого засоления – 0,15 %, для почв сульфатного засоления с участием гипса – до 1,0 %, а для почв, засоленных щелочными солями, – 0,05–0,1 %.

Согласно классификации почв 2004 г. [26] все засоленные почвы находятся в стволе Постлитогенные (см. табл. 10), образуют 5 отделов: текстурно-дифференцированные, щелочно-глинисто-дифференцированные, галоморфные, слаборазвитые и агроземы.

Таблица 10

Классификация засоленных почв

	Отдел	Тип
Ствол Постлитогенные	Текстурно-дифференцированные	Солоди перегнойно-темногумусовые метаморфические АН-ЕL-ВТg-Q-CQ Солоди темногумусовые АU-ЕL-ВC-ВСА-Сса (s) Агросолоди P-(ЕL)-ВC-ВСА-Сса Агросолоди глеевые P-(ЕL)-ВCg-ВСАg-Сса-CGca Агросолоди темные PU-(AU)-ЕL-ВТ-ВСА-Сса Агросолоди темные гидрометаморфические PU-ЕL-ВТq-ВСАq-Q-CQ Дерново-солоди АУ-ЕL-ВТ-ВСА-Сса Дерново-солоди глеевые АУ-ЕL-ВТg-G(s)-CG(s)
	Щелочно-глинисто-дифференцированные	Солонцы гидрометаморфические светлые АJ-ЕL-BSN-ВМКq-ВСАq-Q Солонцы гидрометаморфические темные АU-ЕL-BSNth-ВМКth,q-ВCath,q-Q Солонцы светлые АJ-ЕL-BSN-ВМК-ВСА-Сса Агросолонцы гидрометаморфические светлые P-BSN(q)-ВМКq-ВСАq-Q Агросолонцы гидрометаморфические

		<p>темные PU-BSNth (q) -BMKth, q-  BCAth, q-Q  Агросолонцы светлые P-BSN-BMK-BCA-  Cca  Агросолонцы темные PU-BSNth-BMKth-  BCAth-Cca</p>
--	--	---

	Отдел	Тип
	Галоморфные	Солончаки S-Cs, q Солончаки глеевые Sg-Gs-CGs Солончаки сульфидные (соровые) S-SS-Gs Солончаки темные S[AU]-Cs, g
	Слаборазвитые	Солончаки вторичные S-[A-B-C] Солончаки торфяные S[T]-Gs-CGs
	Агроземы	Агроземы солонцовые светлые Paagr-TUR[BSN+BMK+BCA]-BCAs-Cca, s Агроземы солонцовые темные PUagr-TUR[(AU)+BSN+BMK]-BCAth, s-Cca, s Агроземы солонцовые гидрометаморфические темные PUagr-TUR[AU+BSN+BMK]-Q-CQ Агроземы солонцовые гидрометаморфические светлые Paagr-TUR[BSN+BMK]-BCAth, s-Q-CQs

**Примечания:** диагностические горизонты – AU серогумусовый, AU светлогумусовый, AU темногумусовый, AN перегнойно-гумусовый, EЛ элювиальный, BT текстурный, BMK ксерометаморфический, BCA аккумулятивно-карбонатный, BSN солонцовый, G глеевый, Q гидрометаморфический, SS солончаковый сульфидный, S солончаковый, P агрогумусовый, PU агротемногумусовый.

В классификациях засоленных почв 1977 и 2004 гг. имеются ряд общих черт и отличий (табл. 11) [25, 26, 34].

По степени засоления почвы дифференцируются на: слабозасоленные, средnezасоленные, сильнозасоленные, очень сильнозасоленные.

В зависимости от глубины залегания солевого горизонта выделяются следующие типы засоленных почв [14, 74]: 0–30 см – солончаковые почвы, 30–50 см – высокосолончаковатые, 50–100 см – солончаковатые, 100–200 см – глубокосолончаковатые, 200 см и глубже – глубокозасоленные.

По мощности солевого горизонта засоленные почвы делятся на: маломощные – солевой горизонт менее 30 см, среднемощные – солевой горизонт 30–100 см и мощные – солевой горизонт более 1 м.

По строению солевого профиля засоленные почвы дифференцируются на три группы: 1) с солончаковым солевым профи-

лем – максимум солей в его верхней части; 2) с призмевидным солевым профилем – соли распределены по профилю почвы относительно равномерно; 3) с пирамидальным солевым профилем – содержание солей нарастает вниз по профилю.

Таблица 11

Сравнительная характеристика классификаций засоленных почв 1977 и 2004 гг.

Классификация и диагностика почв СССР (1977)		Классификация почв России (2004)
Тип солоды	Подтип солоды лугово-степные	Типы дерново-солодей, отчасти солодей темногумусовых, агросолодей и агросолодей темногумусовых
	Подтип солоды луговые	Отчасти типы дерново-солодей глеевых, солодей перегнойно-гумусовых гидрометаморфических, агросолодей глеевых, агросолодей темногумусовых гидрометаморфических
	Подтип солоды лугово-болотные	В основном типы солодей перегнойно-темногумусовых гидрометаморфических и агро-темногумусовых гидрометаморфических
Тип солонцы автоморфные	Подтип солонцы черноземные	Типы солонцов темных, агро-солонцов темных и агроземов солонцовых темных
	Подтип солонцы каштановые Подтип солонцы полупустынные	Типы солонцов светлых, агро-солонцов светлых и агроземов солонцовых светлых
Тип солонцы гидроморфные	Подтип солонцы черноземно-луговые Подтип солонцы лугово-болотные	Типы солонцов гидрометаморфических темных, агросолонцов гидрометаморфических темных и агроземов солонцовых гидрометаморфических темных
	Подтип солонцы каштаново-луговые Подтип солонцы луговые мерзлотные	Типы солонцов гидрометаморфических светлых, агросолонцов гидрометаморфических светлых и агроземов солонцовых гидрометаморфических светлых
цы по-лути-дро-	Подтип солонцы лугово-черноземные	Гидрометаморфизированный подтип в типах солонцов темных, агросолонцов темных и агроземов солонцовых темных



	Подтип солонцы лугово-каштановые	Отчасти гидрометаморфизированный подтип в типах солонцов светлых, агросолонцов светлых и агроземов солонцовых светлых
	Подтип солонцы лугово-полупустынные	Отчасти гидрометаморфизированный подтип в типе солонцов светлых

Классификация и диагностика почв СССР (1977)		Классификация почв России (2004)
лончаки автоморф-	Подтип солончаки автоморфные	Тип солончаков
	Подтип солончаки автоморфные отакы- ренные	Такыровидный подтип в типе солончаков
Тип солончаки гидроморф- ные	Подтип солончаки типичные	Отчасти тип солончаков
	Подтип солончаки луговые	Отчасти типы солончаков глеевых и солончаков темных
	Подтип солончаки болотные	Типы солончаков глеевых и солончаков торфяных
	Подтип солончаки соровые	Тип солончаков сульфидных (соровых)
	Подтип солончаки грязево- вулканические Подтип солончаки бугристые	Отчасти слабодифференциро- ванный подтип в типе солон- чаков

Для Верхнего Приангарья Ш. Д. Хисматуллин [71] разработана классификация засоленных почв (табл. 12). В ней не выделяются солонцы, солоди и солонцеватые разновидности почв, а также аллохтонные солончаки, которые, по мнению Б. В. Надеждина [50], в Лено-Ангарской лесостепи имеют широкое распространение.

В. А. Кузьмин [35] предложил классификацию почв Предбайкалья, основанную на опыте Б. В. Надеждина [50], В. П. Мартынова [43] и Классификации и диагностике почв СССР [25] (табл. 13).

Ниже приводится характеристика типов засоленных почв.

**Солончаки** – засоленные почвы (сумма солей от 1–2 до 20–30 %), имеющие максимум легкорастворимых солей в верхних (0–40 см) горизонтах. Поверхность солончаков обычно покрыта корочками легкорастворимых солей. Растительность отсутствует или представлена галофитами.

Солончаки делятся на два вида: автоморфные и гидроморфные [39].

Таблица 12

Схема классификации засоленных почв лесостепных районов Верхнего Приангарья

Тип	Подтип	Группа родов	
		На силикатных (песчано-глинистых) аллювиальных и аллювиально-делювиальных отложениях	На гажевых (гипсоносных) отложениях
Лугово-черноземные	Лугово-черноземные	А. Солончаковые Б. Солончаковатые	Нет -
Луговые	Луговые  Влажно-луговые	А. Солончаковые Б. Солончаковатые  То же	А. Типичные Б. Бескарбонатные солончаковые В. Бескарбонатные солончаковатые Г. Карбонатные Д. Карбонатные солончаковые Е. Карбонатные солончаковатые То же
Болотные	Иловато-глеевые, оводненные с поверхности низинных травяных болот Перегноино-торфянисто-глеевые низинных болот Торфяно-глеевые низинных травяно-моховых болот	Солончаковатые А. Солончаковые Б. Солончаковатые То же	Не обнаружено, но формирование возможно То же То же
Пойменные аллювиально-слоистые	Пойменные луговые Пойменные влажно-луговые	А. Солончаковые Б. Солончаковатые	Нет -

		То же	
Солончаки	Гидроморфные	А. Влажно-луговые остаточно-высокогумусные Б. Луговые остаточно-высокогумусные	А. Влажно-луговые остаточно-высокогумусные Б. Луговые остаточно-высокогумусные В. Типичные слабозернистые малогумусные

Схема классификации засоленных почв Предбайкалья

Тип	Подтип	Род	Вид
Черноземы	Южные	Солонцеватые	По мощности гумусового горизонта и содержанию гумуса
Каштановые	Каштановые	Остаточно-солончаковые	
Лугово-черноземные	Лугово-черноземные	Солонцеватые Осолоделые Солончаковатые	
Луговые	Луговые	Засоленные	
Болотные	Болотные низинные торфяно-глеевые	Солончаковатые	По мощности органогенного горизонта
Солончаки	Гидроморфные Луговые Болотные	Сульфатные Хлоридно-сульфатные	Поверхностные Глубинно-профильные
Солонцы	Луговые Степные	Бескарбонатные Вторично-карбонатные	

*Автоморфные* солончаки встречаются в местах выходов на поверхность древних засоленных пород или образуются на гидроморфных в прошлом солончаках при понижении уровня грунтовых вод (УГВ) и прерывании капиллярной связи с почвенным слоем. Водный режим непромывной, или периодически выпотной.

Автоморфные солончаки делятся на подтипы: типичные (максимум содержания солей в верхних горизонтах) и отакыренные (признаки рассоления верхнего горизонта при периодическом увлажнении атмосферными осадками и поверхностными водами).

По источникам солей автоморфные солончаки разделяются на: литогенные (высокое содержание солей по всему профилю почвы), древнегидроморфные (максимальное содержание солей в верхних горизонтах почвы) и биогенные.

По типу засоления автоморфные солончаки разделяются на: сульфатно-хлоридные, сульфатно-хлоридно-нитратные.

На поверхности автоморфных солончаков образуются корочки и выцветы рыхлой вспученной землистой массы мощностью 1–2 см. Ниже лежит не дифференцированная на генетические горизонты почвообразующая порода. Поверхность отакыренных автоморфных солончаков покрыта хрупкой корочкой,

разбитой сетью трещин, по которым проступает пухлая сильно-засоленная землистая масса с выцветами солей на поверхности.

Развитие *гидроморфных* солончаков происходит в условиях близкого (0,5–3,0 м) залегания минерализованных грунтовых вод, при наличии интенсивных восходящих токов влаги. Из-за испарения влаги с поверхности почвы происходит аккумуляция в верхних горизонтах легкорастворимых солей, карбонатов и гипса. Гидроморфные солончаки встречаются в понижениях микро- и мезорельефа, в лиманах, на днищах пересыхающих водоемов, пойменных террасах, на периферии болот и соленых озер в пустынях и полупустынях, а также в лесостепной и степной зонах. Растительность на поверхности отсутствует или представлена гипергалофитами.

На поверхности гидроморфных солончаков образуются выцветы солей, а также пухлый, корково-пухлый, иногда мокрый слой с высокой концентрацией солей (30–60 %). Разделение гидроморфных солончаков на подтипы происходит по условиям формирования (табл. 14) [39].

Таблица 14

Классификация гидроморфных солончаков

<i>Подтип</i>	<i>Условия формирования</i>
Типичные	Формируются на террасах солевых озер, на возвышенностях между лиманами при неглубоком (2–4 м) залегании грунтовых вод
Луговые	Образуются при засолении луговых почв и распространены вокруг болот озер и в понижениях пойменных террас, где грунтовые воды залегают на глубине 1–2 м.
Болотные	Формируются при засолении лугово-болотных, низинных и торфяно-глеевых почв. Распространены в лесостепной зоне Западной Сибири в местах с неглубоким (0,5–1,0 м) залеганием сильноминерализованных грунтовых вод, а также в пустынно-степной зоне, в понижениях предгорных равнин и речных террас.
Соровые	Формируются на днищах пересыхающих соляных озер, где грунтовые воды сильно минерализованы (до 100–150 г/л) и залегают на глубине не более 1 м и сезонно

	выходят на поверхность.
Грязево-вулканические	Образуются в результате излива на поверхность глубинных грязей или минерализованных вод.
Бугристые	Представляют собой навейные бугры сильнозасоленного землистого материала, увенчанные угнетенными или отмершими кустами пустынных растений.

Кроме этого выделяют вторичные солончаки, образовавшиеся на незасоленных почвах в результате хозяйственной деятельности.

По морфологическим признакам солончаки разделяются на:

- *сухие* – солончаки с глубоким расположением грунтовых вод;
- *мокрые* – солончаки с очень близким расположением грунтовых вод, в результате чего почва постоянно перенасыщена капиллярной водой и солончаки, содержащие в поверхностном слое хлористый магний и хлористый кальций, которые сорбируют атмосферную влагу, разжижаются и определяют высокую влажность поверхности почвы, придавая ей темную окраску;
- *корковые* – солончаки, имеющие прочную корку из легкорастворимых солей или гипса, мощностью до 2–5 см в результате периодического увлажнения;
- *пухлые* – солончаки с сыпучим пухлым верхним горизонтом, представляющим собой смесь почвообразующей породы с тонкокристаллической массой углекислого и сернокислого кальция, хлористого и сернокислого натрия;
- *столбчатые* – солончаки, при высыхании которых поверхность растрескивается, а верхний горизонт распадается на крупностолбчатые и глыбистые отдельности до глубины 10–20 см;
- *черные* – содовые солончаки, не содержащие больших количеств хлоридов и сульфатов. Обилие темноокрашенных органоминеральных коллоидов, некоторая гумусность почвы и отсутствие светлоокрашенных хлоридов и сульфатов обуславливают черную окраску;
- *белые* – солончаки, содержащие на поверхности большое количество сернокислого натрия и магния, а также хлористого и азотнокислого натрия, обуславливающих светлую окраску.

В зависимости от состава солей солончаки разделяются на:

- *хлоридные* (преобладают хлориды натрия, магния и кальция);
- *сульфатные* (преобладающие соли – сульфаты натрия, магния и кальция);
- *нитратные* (содержат, главным образом, азотнокислый натрий и калий);
- *сульфатно-хлоридные* (наличие хлоридов, сульфатов и гипса);
- *хлоридно-сульфатные* (преобладание сульфатов натрия и магния над хлоридами, а также присутствие значительных количеств гипса);
- *сульфатно-содовые* (состав солей представлен сульфатами, хлоридами, карбонатами и бикарбонатами щелочей);
- *содовые* (содержат карбонат и бикарбонат натрия и в качестве примесей сульфат натрия и карбонат магния);
- *магнезитовые* (содержат повышенное количество углекислого магния);
- *боратные* (первичный источник борсодержащих солей – вулканические явления. Боратному засолению, обычно, сопутствует накопление хлоридов и сульфатов);
- *активные* (связаны с грунтовыми водами капиллярной каймой и пленочно-капиллярными восходящими растворами) [31, 74].

**Солончаковатые почвы** – почвы, содержащие в корнеобитаемых горизонтах (1 м) легкорастворимые токсичные соли в количестве более 0,3–0,8 %.

В зависимости от состава солей солончаковатые почвы делятся на: хлоридные, сульфатные, содовые, хлоридно-сульфатные, сульфатно-хлоридные, содово-сульфатные, содово-хлоридные [74].

Солончаковатые почвы подразделяются в зависимости от глубины залегания грунтовых вод на следующие типы:

- *солончаковатые луговые* почвы формируются при близком залегании грунтовых вод – 1,5–3,0 м (уровень меняется в различные сезоны года) и связаны с ними восходящими капиллярными токами. Минерализация грунтовых вод – 0,5–5,0 г/л. Расположение максимума легкорастворимых солей зависит от периода года. В сухое время он сосредоточен в верхнем горизонте (0–30 см), во влажный период – сдвигается на глубину



промачивания почвы атмосферными осадками. Мелиорация и освоение таких почв связана с первоначальной промывкой нормами воды порядка 2–3 тыс. м<sup>3</sup>/га, разреженной сетью глубоких дрен. Кроме этого следует вносить гипс, серу, различные кислые соединения, чтобы нейтрализовать их высокую щелочность;

- *остаточно-солончаковатые* почвы характеризуются глубоким залеганием грунтовых вод (> 10 м). Максимум легкорастворимых солей располагается на глубине 30–100 см, концентрация – 0,3–0,8 %. Такие почвы обладают сильной щелочностью (рН до 9), столбчатой структурой, присутствием обменного натрия, иногда имеются черты слитости. При орошении из закрытых каналов и дождевании почвы постепенно рассоляются. Близкое залегание грунтовых вод и высокая степень остаточного засоления могут способствовать вторичному засолению почв в процессе орошения.

**Щелочные почвы (солонцы, солонцеватые почвы)** содержат обменный натрий в гумусовом горизонте при очень малом количестве или почти полном отсутствии легкорастворимых солей. Присутствие натрия в почвенном поглощающем комплексе обуславливает щелочную реакцию почвы, высокую распыленность, вязкость во влажном состоянии и высокую твердость в сухом.

Солонцы характеризуются малой водопроницаемостью и небольшими запасами доступной для растений влаги. Токсичные соли обнаруживаются в нижних горизонтах профиля. Солонцовые свойства связаны с повышенной растворимостью органического вещества и склонностью почвенных коллоидов к пептизации.

Особенностями строения, химического и физического состава солонцов являются [21]:

- наличие в генетическом профиле плотного иллювиального горизонта В1, имеющего хорошо выраженную столбчатую, призматическую и ореховатую структуру с глянцева́той поверхностью;

- содержание в солонцовом горизонте более 20 % поглощенного натрия от емкости поглощения или поглощенных Na+Mg 50 и > % у малонатриевых солонцов;

- повышенное содержание в горизонте В1 илистой фракции и R<sub>2</sub>O<sub>3</sub>;

- малое содержание воднорастворимых солей в верхней части почвенного профиля (горизонт А и В1);

– в содовых солонцах карбонатность выражена с поверхности, а у остальных на некоторой глубине – 20–30 см в подсолонцевом горизонте В2;

– скопление  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  у гипсовых солонцов в подсолонцевом горизонте В2 на глубине 20–40 см;

– щелочная реакция определяется по всему профилю солонца, особенно в иллювиальном солонцевом горизонте В1. Наиболее высокой щелочностью характеризуются содовые солонцы;

– высокая растворимость перегноя в воде, особенно в содовых солонцах.

Распространение солонцов приурочено к лесостепной и степной зонам с черноземами, сухостепной и полупустынной зонам с каштановыми, светло-каштановыми и бурыми почвами.

В зависимости от характера водного режима, солонцы разделяются на три типа (рис. 2) [39]:

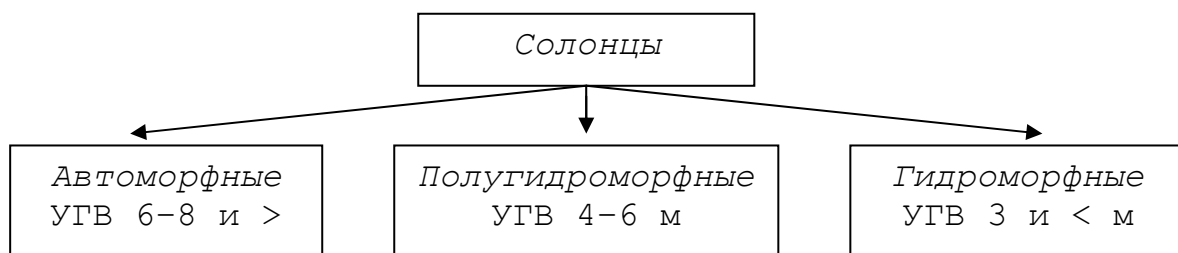


Рис. 2. Типы солонцов

*Автоморфные солонцы.* Распространены в виде мелких пятен в комплексе с незасоленными почвами, иногда образуют сплошные массивы. Водный режим – непромывной. Содержание обменного натрия в солонцевом горизонте достигает 15–30 %, а иногда 40 % емкости поглощения. рН надсолонцевого горизонта слабощелочной, нижних – щелочной.

*Полугидроморфные солонцы* формируются в условиях периодически промывного (нерегулярного) водного режима, с достаточно близко залегающими грунтовыми водами. рН в горизонте А близок к нейтральному, ниже – щелочной (рН 8–10). В горизонте Е количество обменного натрия достигает 30–50 % емкости поглощения, что составляет 40–60 мг-экв/100 г почвы.

*Гидроморфные солонцы* формируются при залегании грунтовых вод не ниже 3 м. Преобладающий тип водного режима – выпотной [74].

**Щелочные степные почвы** – почвы, в которых отрицательные солонцовые свойства выражены в меньшей степени, чем в типичных солонцах: плохие агрофизические свойства, повышенная плотность пахотного горизонта, остаточная щелочность ( $\text{HCO}^3 > 0,08 \%$ , обменного натрия 10–15 % от емкости поглощения, рН 8,5–9). Щелочные степные почвы распространены в сухих саваннах, степях и полустепях Южной Америки, Евразии и Африки [31].

**Солоди** – почвы, которые образуются при «рассолонцевании» полугидроморфных и гидроморфных солонцов и солонцеватых почв с замещением в их верхних горизонтах обменного натрия на водород в условиях промывного или интенсивного периодически промывного водного режима, при котором происходит пептизация и частичное разрушение почвенных коллоидов, возрастает подвижность гумуса и тонких минеральных фракций. Осолодение обычно сочетается с оглеением.

По степени гидроморфности солоди делятся на лугово-степные, луговые и лугово-болотные (табл. 15) [39].

Таблица 15

Классификация солоди по степени гидроморфности

Подтип	Условия формирования	УГВ, м
Солоди лугово-степные (дерново-глееватые)	Развиваются в небольших понижениях рельефа на степных недренированных равнинах (березовые колки, мелкие лиманы) с повышенным поверхностным увлажнением, временной верховодкой	6–7
Солоди луговые (дерново-глеевые)	Развиваются в крупных степных понижениях с большим водосбором (в лиманах) или в незаболоченных лесисто-травяных западинах (березовые колки, часто с тальниковыми опушками и с кольцом солонцово-солончаковых комплексов по периферии).	1,5–3
Солоди лугово-болотные	Развиваются под мелкими осоково-березовыми с ивняком лесами или под заболоченными лугами в глубоких понижениях с длительным застаиванием поверхностных вод (более одного месяца).	1–2

По характеру распределения карбонатов и легкорастворимых солей солоди разделяются на: обычные, бескарбонатные (во всем профиле отсутствуют карбонаты), солончаковатые (содержат не менее 0,3 % водорастворимых солей на глубине 30–80 см).

По глубине осолодения (мощность горизонтов A1+A2, см) делятся на: мелкие (<10 см), среднемошнные (10–20 см), глубокие (> 20 см).

По мощности гумусового горизонта (A1) солоди дифференцируются на: дернинные или типичные (< 5 см), мелкодерновые (5–10 см), среднедерновые (10–20 см), глубокодерновые (> 20 см).

По содержанию гумуса солоди делятся на: светлые (< 3 %), серые (3–6 %), темные (> 6 %).

Сельскохозяйственное использование солодей возможно при обогащении их органическим веществом и минеральными удобрениями. Хорошие результаты дает землевание. Мелиорация проводится путем внесения  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  совместно с навозом и минеральными удобрениями. Рекомендуются вспашка без оборота пласта или рыхление почвоуглубителями.

**Соляные коры** – поверхностные солевые скопления мощностью от нескольких сантиметров до нескольких метров (содержание солей близко к 100 %).

Соляные коры делятся на:

– современные соляные коры, образующиеся и нарастающие в настоящее время в результате испарения высокоминерализованных вод (морских, подземных и др.);

– реликтовые (остаточные) соляные коры, в которых процессы солеобразования прекращены.

По химическому составу дифференцируются на: известковые, гипсовые, собственно соляные [74].

Известковые коры содержат > 50–70 % карбоната кальция. Естественное плодородие очень низкое. Корневая система растений развита ограниченно. Известковые коры образуются в результате неоднократной химической седиментации из высохавших озерных или грунтовых вод, современных или древних (плейстоцена, раннего голоцена). Распространены в аридных зонах Азии, Африки, Южной Америки.

Гипсовые коры образуются в результате испарения минерализованных грунтовых вод (современные) или в результате испарения исчезнувших озерных и грунтовых вод в плейстоцене и

голоцене (реликтовые). Содержание сульфата кальция достигает 80–95 %. Мощность 10–20, иногда 50–100 см. Естественное плодородие низкое. Водный режим и физические свойства неудовлетворительные из-за высокой механической плотности, плохой проницаемости для корней, больших количеств примесей токсичных солей и кристаллизационной воды. Гипсовые коры встречаются в полупустынях и пустынях Центральной Азии, Кавказа, Ирана, Северной Африки, Австралии, Южной Америки.

Собственно соляные коры образуют поверхностные соленосные горизонты, на 50–60 % состоящие из легкорастворимых солей (хлориды, нитраты, сульфаты натрия и др.). Формируются в пониженных формах рельефа в результате химической седиментации озерных и подпочвенных вод с минерализацией 250–500 г/л.

Соляные коры представляют интерес в качестве источника сырья для химической промышленности или строительных материалов [31].

**Такыры** – разновидность засоленных бесплодных почв начальной стадии рассоления в условиях аридных жарких пустынь. Распространены в пустынях Азии и Северной Африки. Растительность практически отсутствует. На поверхности такыра плотная глинистая кора 3–5 см, ниже располагается сухой солевой горизонт (содержание солей 0,5–1,5 %). На глубине 20–30 см находятся слабоизмененные древние аллювиальные отложения. Уровень грунтовых вод 10–30 см.

Полное бесплодие такыров обусловлено аридностью, неблагоприятными физическими свойствами, высокой щелочностью корки (рН 9–10), высокой остаточной засоленностью подкоркового горизонта, почти полным отсутствием гумуса и бактериальной микрофлоры.

**Вертисоли** (черные слитые почвы) сложены монтмориллонитовыми глинами, имеют известковую белоглазку, иногда гипс и слабую засоленность нижних горизонтов, обладают повышенной щелочностью (рН до 9), содержат более 10–20 % обменного натрия. Вертисоли формируются обычно на плоских равнинных поверхностях древнеозерного или древнеаллювиального происхождения в сухих тропиках и субтропиках. Распространены в Эфиопии, Судане, Египте, Индии, Южной Америке, Австралии [78].

### **Контрольные вопросы**

1. Сравните классификации засоленных почв 1977 и 2004 гг. Найдите сходства и отличия.

2. Назовите другие классификации засоленных почв (по степени засоления, глубине залегания верхней границы и мощности солевого горизонта).
3. Охарактеризуйте авто- и гидроморфные солончаки.
4. Назовите виды солончаков по морфологическим признакам.
5. Укажите основные особенности строения, химического и физического состава солонцов.
6. Дайте характеристику солоди. Назовите классификации солоди.

## 4. ОСНОВНЫЕ СВОЙСТВА ЗАСОЛЕННЫХ ПОЧВ

*Щелочность почв* – способность почвы проявлять свойства оснований. Она повышается за счет подщелачивания (изменение кислотно-основных свойств почвы, вызванное природным почвообразовательным процессом, поступлением загрязняющих веществ, внесением физиологически щелочных мелиорантов и антропогенным воздействием). В зависимости от типа анионов различают гидратную, карбонатную, гидрокарбонатную, силикатную и фосфатную щелочность. Почвы называют щелочными, если рН достигает 8 и более [52].

Определение щелочности проводится титрованием щелочности кислотой в присутствии индикаторов: фенолфталеина, метилового желтого или метилоранжа (в мг-экв на 1 дм<sup>3</sup>).

В мутных или темноокрашенных растворах рекомендуется проводить определение щелочности с помощью потенциометра. Гидрокарбонаты преобладают в воде с рН 6,0–10,0; карбонаты при рН > 7. В водах, в которых содержатся гидраты (ОН<sup>-</sup>), гидрокарбонаты (НСО<sub>3</sub><sup>-</sup>) или карбонаты (СО<sub>3</sub><sup>2-</sup>), вычисление можно ориентировочно проводить по табл. в зависимости от результатов титрования с индикаторами (Щфф, Щмо) (табл. 16) [52].

Таблица 16

Виды щелочности в зависимости от определения по фенолфталеину и метилоранжу

Соотношение Щфф и Щмо	Гидратная Щг	Карбонатная Щк	Гидрокарбонатная
Щфф=Щмо	Щфф; Щмо	Нет	Нет
Щфф > 0,5 Щмо	2Щфф - Щмо	2 (Щмо = Щфф)	Нет
Щфф = 0,5 Щмо	Нет	Щмо; 2Щфф	Нет
Щфф < 0,5 Щмо	Нет	2Щфф	Щмо = 2Щфф
Щфф = 0; Щмо > 0	Нет	Нет	Щмо

**Примечание:** Щфф – щелочность по фенолфталеину, Щмо – щелочность по метилоранжу, Щг – щелочность гидратная, Щк – щелочность карбонатная

*Содоустойчивость почв* – количественный показатель устойчивости (иммунитета) почв к содовому засолению и буферности почв. Метод разработан В. М. Бобковым [5] и основан на учете количества ионов СО<sub>3</sub><sup>-</sup>, связываемых почвой из раствора

сода, и позволяет определить всю сумму защитных свойств почв, противодействующих содовому засолению.

По содоустойчивости (мг-экв/100 г почвы) все почвы делятся на категории: 0–10 – практически не обладают; 10–20 – очень слабая; 20–35 – слабая; 35–50 – средняя; 50 – высокая.

Содоустойчивость может рассматриваться как показатель солонцеватости почв, характеризующий мелиоративное состояние почв. М. Т. Устинов [68, 69] рассматривает показатель содоустойчивости почв как интегральный критерий мелиоративного состояния почв. Она оценивается с учетом: УГВ, минерализации, химического состава природных вод, характера и степени засоления почвогрунтов, литологического состава зоны аэрации, естественной дренированности и общей оценки эколого-мелиоративного состояния.

Процессы содообразования и миграции представляют собой индикатор процесса почвообразования и почвенного потенциала. Сода появляется в почве в начальной стадии засоления или в процессе рассоления.

Существует корреляционная связь с аридностью и гумидностью климата и их обуславливающими почвообразовательными процессами – гумификацией, кислотно-щелочными и окислительно-восстановительными потенциалами, осолонцеванием, засолением и геохимией почв, что позволяет понять природную и антропогенную эволюцию почв [10].

*Солеотдача* – количество воды, расходуемое на вынос солей при промывке засоленных почв ( $\text{м}^3/\text{т}$  солей). Эта величина переменная, так как зависит от времени промывки, температуры воды, состава солей. Она может изменяться в процессе промывок – первые порции воды выносят наибольшее количество солей на единицу фильтрата, затем концентрация солей постепенно снижается и на единицу веса солей требуется все большее количество промывной воды. Сначала вымываются хлориды, как наиболее растворимые соли. Расход воды на тонну хлоридов – 30–80  $\text{м}^3$ . Затем вымываются сульфаты натрия и магния. Гипс вымывается, но полностью его вымыть невозможно. Наиболее трудно вымываются высокотоксичные карбонаты натрия и магния, при наличии которых почва становится трудноводопроницаемой. В качестве мелиорантов рекомендуется вносить гипс,



серную кислоту, сульфаты железа и другие вещества, нейтрализующие соду [46].

*Солевой баланс* – количественное соотношение между приходной и расходной частью баланса солей в почве, обусловленное природными факторами и деятельностью человека. Он составляется на определенный период времени (декада, месяц, год, многолетний период). Описывается уравнением:

$$\Delta Gr = \pm Gg + Gn - Go \pm Gp,$$

где  $\Delta Gr$  – изменение запасов солей в почвенном слое за время,  $t$ ;  $Gg$  – солеобмен между почвой и грунтовыми водами;  $Gn$  – приток солей с подземными водами;  $Gp$  – солеобмен почвы с подземными (грунтовыми) водами. Водообмен и солеобмен с подземными водами, залегающими ниже относительного водоупора, должен быть равным нулю [17].

Солевой баланс может быть трех типов:

1. Солевой баланс транзитного типа – запас легкорастворимых солей в почвах мало изменяется, а баланс грунтовых вод регулируется в основном подземным стоком и транспирацией.

2. Положительный солевой баланс (засоление) – запас солей в почве возрастает с каждым годом (периферии континентальных сухих дельт, поймы нижнего течения рек, бессточные низменности). Баланс грунтовых вод регулируется в основном испарением, вследствие чего процессы накопления солей преобладают над процессами транзита и выноса.

3. Отрицательный солевой баланс (рассоление) характерен для естественно или искусственно дренированных территорий (древние террасы речных долин, древние дельтовые поверхности, водораздельные и предгорные равнины). Баланс грунтовых вод регулируется в основном подземным оттоком, что приводит к господству процессов рассоления в почвах.

*Агрономические свойства засоленных почв.* Засоленные почвы при использовании их в сельском хозяйстве проявляют неблагоприятные свойства: щелочная реакция почвенного раствора, токсичность солей, плохие водно-физические характеристики, низкая биологическая активность, глубокая трансформация коллоидного комплекса.

Эффективность земледелия снижается вследствие высокой концентрации солей в почве, которые вызывают угнетение роста

растений, нарушая поступление в них питательных веществ и воды (табл. 17) [49].

Таблица 17

Влияние засоления на продуктивность культурных растений

Степень засоления почв	Состояние среднесолеустойчивых растений
Практически незасоленные	Урожайность нормативная для почвенной разновидности
Слабозасоленные	Слабое угнетение, выпадения растений; урожайность снижается примерно на 10–20 %
Среднезасоленные	Среднее угнетение, изреженность посевов; урожайность снижается на 20–50 %
Сильнозасоленные	Сильное угнетение, посева изрежены; необходим подбор солеустойчивых растений
Солончаки	Произрастают единичные растения; необходимо возделывание только солеустойчивых растений

Засоление почвы неодинаково влияет на культурные растения, что обусловлено их агрономической солеустойчивостью. *Агрономическая солеустойчивость* – способность растений осуществлять полный цикл развития на засоленной почве и давать в этих условиях продукцию, удовлетворяющую сельскохозяйственное производство [49]. В табл. 18 представлены данные по агрономической солеустойчивости культурных растений.

Таблица 18

Агрономическая солеустойчивость растений

Неустойчивые	Среднеустойчивые	Устойчивые
Полевые культуры		
Фасоль	Рожь, пшеница, сорго, кукуруза, подсолнечник, рис, лен, соя, бобы конские, горох	Ячмень, сахарная свекла, рапс, хлопок
Овощные культуры		
Редис, сельдерей	Томат, перец, капуста, морковь, салат-латук, лук, тыква,	Свекла столовая, спаржа, шпинат, капуста

	огурец	листовая
Кормовые травы		
Клевер ползучий, лисохвост, клевер гибридный, клевер луговой, кровохлебка маленькая	Донник белый, желтый, индийский, коострец, канареечник клубненосный, волоснец безостый, клевер земляничный, суданская трава, люцерна, овсяница луговая, коострец безостый	Бескильница, бермудская трава, пырей высокий, коострец, волоснец канадский, пырей американский, овсяница высокая

Окончание табл. 18

Неустойчивые	Среднеустойчивые	Устойчивые
Плодовые		
Груша, яблоня, грейпфрут, лимон, апельсин, миндаль, абрикос, персик, слива	Гранат, фи́га, инжир, оливковое дерево, виноград	Финиковая пальма
Кустарники		
Калина, роза, фейхоа	Туя восточная, можжевельник, лантана	Олеандр, лисохвост бутылочный

Различные режимы орошения, степень и тип засоления по-разному влияют на всхожесть семян растений (табл. 19) [18].

Таблица 19

Всхожесть семян растений в зависимости от режима орошения, степени и типа засоления почв, %

Степень засоления	Режим орошения								
	Промывной			Непромывной			Промывной с предварительным опреснительным поливом		
	С	С-Х	Х	С	С-Х	Х	С	С-Х	Х
Люцерна									
Сильная	17,5	17,0	15,8	0,0	0,0	0,0	35,5	21,0	15,8
Средняя	38,7	30,0	20,0	13,3	10,0	8,3	нет	нет	нет
Слабая	72,5	39,0	69,0	67,5	29,0	54,0	нет	нет	нет
Суданская трава									
Сильная	71,8	19,2	11,5	30,8	17,1	0,0	92,3	48,7	19,2
Средняя	96,6	73,0	61,8	94,4	39,3	25,3	нет	нет	нет
Слабая	95,0	86,9	80,8	75,8	60,6	78,3	нет	нет	нет
Кукуруза									
Сильная	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Средняя	100	100	100	100	100	100	нет	нет	нет
Слабая	100	100	100	100	100	100	нет	нет	нет

Неодинаково растения относятся и к обменному натрию, содержащемуся в почвенном поглощающем комплексе солонцов и солонцовых почв (табл. 20) [49].

Таблица 20

Относительная устойчивость растений к обмену натрию

<i>Неустойчивые</i>	<i>Среднеустойчивые</i>	<i>Устойчивые</i>
Фасоль, кукуруза, кострец безостый, яблоня, груша, черешня, абрикос	Морковь, шпинат, томат, клевер, овсяница высокая, вика, лук, редис, овес, рис, пшеница, рожь, сорго	Люцерна, донник, ячмень, рис, свекла столовая и сахарная, пырей высокий и сизый, айва

Таким образом, почти все сельскохозяйственные культуры могут быть отнесены как к неустойчивым, так и средне- и устойчивым.

### **КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ**

1. Что такое щелочность, содоустойчивость почв и солеотдача?
2. Назовите категории почв по содоустойчивости.
3. Напишите уравнение, описывающее солевой баланс почв. Назовите типы солевого баланса.

## 5. ВТОРИЧНОЕ ЗАСОЛЕНИЕ ПОЧВ И МЕТОДЫ ЕГО ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ

*Вторичное засоление* почв обычно обусловлено перемещением к поверхности водорастворимых солей из глубоких слоев почвообразующих и подстилающих пород и грунтовых вод или связано с притоком минерализованных вод с вышерасположенных орошаемых массивов. Кроме этого вторичное засоление может быть следствием неправильной техники полива.

*Вторично засоленные почвы* – почвы, которые в прошлом были плодородными и обрабатываемыми, но подверглись засолению. В результате чего в корнеобитаемом слое почвы содержится большое количество легкорастворимых и вредных для растений солей.

Причины вторичного засоления:

- подъем уровня минерализованных грунтовых вод и интенсивное их испарение;
- неэффективное орошение и/или недостаточное осушение;
- перераспределение запасов легкорастворимых солей в почвогрунтах зоны аэрации без общего подъема уровня грунтовых вод при периодическом увлажнении-иссушении почв;
- накопление солей в корнеобитаемом слое почвы при использовании на орошение минерализованной воды;
- неудовлетворительная работа или полное отсутствие сети дренажных каналов;
- перегрузка пастбищ, в результате которой происходит увеличение физического испарения влаги почвой по мере уничтожения растительности и рост капиллярной влагопроводимости в связи с уплотнением почв;
- сброс солоноватых вод при их откачке из нефтяных скважин, угольных шахт, промышленных предприятий;
- вторжение морских вод после опускания суши или в результате разрушения и сноса перемычек (дамб), ограждающих сушу от морской воды, а также после сильных бурь, цунами, штормов и землетрясений.

Стадии вторичного засоления почв [14]:

- Засоление почв вдоль новых оросительных каналов.

- Общее засоление орошаемой территории.
- Рассоление староорошаемой территории и засоление пустующих пространств.

На первой стадии происходит интенсивная фильтрация воды из новых каналов и повышается уровень грунтовых вод в зоне влияния канала. Вдоль канала образуется зона вторичного засоления.

Профилактическими мероприятиями первой стадии являются:

- трамбовка днищ и стенок каналов после их сооружения и заиливание их (кольматаж) небольшими порциями мутной воды;
- трамбовка в сочетании с обработкой днища и стенок каналов горячим мазутом и нефтью (рекомендуется также в сочетании с солонцеванием);
- облицовка каналов водонепроницаемыми пленками или одеждами типа асфальтов, битумов, цементов;
- регулярный ремонт ирригационной сети, поддержание проектного профиля каналов, сохранение при очистке каналов закольматированного илистыми наносами слоя на дне и стенах каналов, оборудование их эксплуатационной арматурой [31].

Вторая стадия характеризуется общим засолением почв орошаемой территории. Вторая стадия реализуется в несколько этапов (рис. 3):

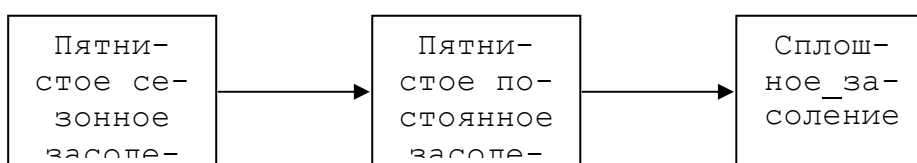


Рис. 3. Стадии общего засоления орошаемой территории

Устранение сезонного пятнистого засоления производят мерами эксплуатационного и агротехнического характера, ведущими к понижению грунтовых вод и уменьшению испарения. Кроме этого профилактическими мерами являются планировка поверхности, тщательные вегетационные поливы, тщательная механическая обработка, высокая загущенность культурных растений.

Для борьбы с пятнистым постоянным засолением используют: систематическую планировку орошаемой территории и



поддержание ее в выровненном состоянии, снижение грунтовых вод с помощью разреженных дрен, улучшенную технику полива, введение люцерновых севооборотов, улучшение качества обработки, недопущение разрывов между обработкой и поливами, тщательность поливов.

Для ликвидации сплошного засоления применяют систематический сплошной глубокий дренаж (2–3 м), капитальные многократные планировки, промывки большими нормами воды, растягивающиеся на несколько лет, на фоне идеально работающей сети глубоких коллекторов и дрен.

Угроза вторичного засоления почв тем более существенна, чем выше уровень минерализованных грунтовых вод. Понятие *критический уровень грунтовых вод* введено Б. Б. Полыновым [60]. Критической называется глубина залегания грунтовых вод, при которой начинается засоление поверхностных корнеобитаемых горизонтов, происходит соленакопление, приводящее к угнетению и гибели сельскохозяйственных растений.

Критическую глубину 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 сельскохозяйственных растений.

Критическая глубина грунтовых вод может изменяться от 1,5 в легких до 3,5 м в тяжелых почвах (табл. 21) [14].

Таблица 21

Критическая глубина грунтовых вод в зависимости от механического состава

Механический состав	Критическая глубина грунтовых вод
Лессы, пылеватые суглинки	3,5–4,0
Средние суглинки	3,0
Тяжелые суглинки	2,0
Тяжелые глины	1–1,5
Пески	0,5–1,2

Ковдой В. А. была предложена формула для оценки вероятной критической глубины залегания соленых грунтовых вод:

$$L = 170 + 8t \pm 15,$$

где  $L$  – критическая глубина, см;  $t$  – среднегодовая температура, °С.

Чем выше среднегодовая температура региона, тем обычно выше суммарное испарение и более минерализованы грунтовые воды [31].

Проведение комплекса мелиоративных мероприятий направлено на регулирование уровня грунтовых вод за счет орошения, дренажа и агротехнических мероприятий. Качество поливной воды напрямую влияет на солевой режим почв. Вода должна содержать такое количество солей и примесей, которые не только не были бы вредными для растений, но и, самое главное, не влияли бы отрицательно на почву.

Применение вод повышенной минерализации в орошаемом земледелии должно основываться на градациях, приведенных в табл. 22 [31].

Таблица 22

Примерные градации и возможность хозяйственного использования вод повышенной минерализации

Концентрация солей, г/л	Название вод	Возможное использование в хозяйстве
0,5–1	Опресненные щелочные (содовые)	Орошение, химические мелиорации 1 раз в 3–5 лет, промывка 1 раз в год, дренажный отвод 10–15 % водозабора
0,5–1	Опресненные сульфатные	То же, но химические мелиорации не нужны
1,0–2	Слабоминерализованные сульфатные	Орошение, поливы промывные, промывка 1 раз в год, дренажный отвод 20–25 % водозабора
2–3	Минерализованные, хлоридно-сульфатные	Водопой животных; орошение промывное легких проницаемых песчаных почв, промывка 1 раз в год, дренажный отвод 30–35 % водозабора
3–5	Повышенной минерализации хлорид-	Водопой животных; орошать можно только пески или щебнистые почвы, поливы промывные,

	но- сульфатные	культуры повышенной соле- устойчивости, пастбища, сенокосы с галофитной растительностью, дренажный отвод 30-60 %
5-8	Высокой минерализации хлоридно- сульфатные	Можно орошать супеси и пески и только высокосолеустойчивые и галофитные растения; поливы сильнопромывные каждый год, дренажный водоотвод 50-70 %. Можно использовать для промывок солей, но с последующей допромывкой пресной водой

Концентрация солей, г/л	Название вод	Возможное использование в хозяйстве
10-15-20	Очень высокой минерализации сульфатно-хлоридные	Водоемы для рыбоводства и водоплавающей птицы, для полива и выращивания тростника технического или кормового, га-лофитов кормовых или промышленных
20-30-50	Рассолы хлоридные и сульфатно-хлоридные	Водоемы-испарители для добычи разных солей, получение лечебных грязей и др.

Ведущее значение в системе комплексного регулирования плодородия орошаемых земель имеют составление долгосрочных прогнозов возможных изменений почвенно-мелиоративных условий территорий в результате орошения и разработка мер по предупреждению развития негативных процессов.

Среди мероприятий по борьбе с вторичным засолением при орошении можно выделить следующие направления:

1. Поддержание на орошаемых землях мелкокомковатой структуры почвы путем введения травопольных севооборотов и применения в каждом поле севооборота соответствующей агротехники. В результате данного мероприятия произойдет уменьшение капиллярного поднятия воды в верхние слои и снижение испарения влаги с поверхности почвы.

2. Соблюдение поливного режима, позволяющего поддерживать допустимую для растений концентрацию почвенного раствора.

3. Предотвращение возможности подъема грунтовых вод.

4. Применение на орошаемых землях комплекса агротехнических мероприятий, в том числе:

– загущение посевов, чтобы лучше затенить поверхность почвы и тем самым уменьшить испарение, а, следовательно, и накопление солей в пахотном слое почвы;

– своевременная обработка орошаемых почв (после каждого полива производить два-три рыхления почвы на глубину 10–12 см, разрушение уплотненной плужной подошвы, образуя-

щейся на старопахотных землях, так как она мешает просачиванию воды вниз и промачиванию почвы);

- планировка и выравнивание орошаемых земель;

- посадка вдоль оросительных каналов лесных полос, которые снижают скорость ветра и повышают влажность воздуха, что, в конечном счете, уменьшает испарение влаги почвой и, следовательно, поднятие солей в верхние слои;

- мелиоративно-эксплуатационные мероприятия (соблюдение правильных режимов и техники полива, планового нормированного водопользования и понижение уровня минерализованных грунтовых вод при близком их стоянии к дневной поверхности);

- борьба за уменьшение фильтрационных потерь воды из каналов.

5. Правильное использование оросительной системы. После окончания вегетационных поливов работа оросительных каналов должна быть полностью прекращена и тем самым ликвидирован источник пополнения и подъема грунтовых вод, ухудшающий мелиоративное состояние.

6. Биотические мелиорации вторично засоленных орошаемых земель:

- агролесомелиорация, сочетающая выращивание традиционных сельскохозяйственных культур и древесно-кустарниковых жизненных форм галофитов, выполняющих функцию биологических насосов;

- мелиоративные севообороты, обеспечивающие рассоление с помощью различных галофитов, которые являются предшественниками и/или сопутствующими компонентами сельскохозяйственных культур.

В качестве основных предупредительных и мелиоративных мероприятий, повышающих КПД оросительной сети и снижающих фильтрацию в оросительных каналах, выступают облицовка каналов непроницаемыми экранами и сооружение оросительных каналов в закрытых трубопроводах [31].

Во всем мире проявления вторичного засоления наблюдаются на 40–50 % площади орошаемых земель. Эти земли дают сниженную продукцию или выпали из земледелия полностью. В Индии площадь вторично засоленных почв превышает 7 млн га.

Более 2,5 млн га почв разной степени засоленности встречаются в провинции Пенджаб (Пакистан), что составляет 26–27 % ее территории; в провинции Синд – 5,2 млн га (98 % от территории провинции).

В странах Ближнего и Среднего Востока и Северной Африки орошаемое земледелие приводит к засолению почв из-за отсутствия или недостаточности дренажных устройств, плохого качества или использования речных или подземных вод повышенной минерализации в качестве поливных вод [79].

В Австралии (Северная Виктория) почвы засолены на территории 80 тыс. га. Минерализация грунтовых вод до 10–40 г/л [81]. Проводимые промывки, глубина закладки дрен и понижение уровня соленых грунтовых вод недостаточны для борьбы с засолением.

В Аргентине (Патагония) 40 тыс. га земель, орошенных в XIX в., сегодня на 50 % засолены вследствие переполивов, больших потерь воды в каналах и недостаточности дренажа [76].

Вторичное засоление и щелочность почв являются серьезной проблемой в западной части США. Около 4 млн акров орошаемых земель нуждаются в мелиоративных мероприятиях по устранению отрицательного влияния избыточного переувлажнения и засоленности.

Сильное засоление орошаемых массивов наблюдается на территории Китая, Ирана, Алжира, Сенегала и Туниса. Развитие вторичного засоления характерно и для некоторых районов юго-востока Европейской части России, Закавказья и Средней Азии.

### **Контрольные вопросы**

1. Что такое вторичное засоление? Причины вторичного засоления.
2. Назовите стадии вторичного засоления.
3. Укажите основные направления по борьбе с вторичным засолением.

## 6. МЕЛИОРАЦИЯ ЗАСОЛЕННЫХ ПОЧВ

Для обоснования мелиораций и выбора мелиоративных приемов учитываются:

1. Свойства почв – содержание обменного натрия, степень засоления, солевой баланс почв, глубина залегания карбонатов кальция и гипса, уровень и минерализация грунтовых вод.

2. Климатические условия – количество выпадающих осадков.

3. Специфика сельскохозяйственного использования – пашня, сенокос, пастбище, садовый или плодовый участок.

Ниже приведены способы рассоления почв (рис. 4).



Рис. 4. Способы удаления солей из профиля засоленных почв

*Механический способ удаления солей* – сгребание солевой корки солончаков или сильнозасоленных почв тракторными скребками с последующей ее транспортировкой за пределы орошаемого массива. Он применяется в основном на сильнозасо-

ленных почвах перед промывками, что способствует сокращению расхода промывных вод на рассоление.

*Промывка почвы* – комплекс мероприятий, обеспечивающий снижение избыточной концентрации токсичных солей в почве до допустимого для сельскохозяйственных культур предела, путем подачи на поверхность почвы воды и удаления раствора солей за счет дренажа за пределы промывной территории. Промывка заключается в заполнении порового пространства промывной водой для последующего удаления легкорастворимых солей за пределы почвенного профиля за счет их перевода в почвенный раствор, создание гравитационной или напорной фильтрации, промывной воды [24].

Для промывки почв рассчитывается промывная норма. Она зависит от физико-химических свойств почвы (тип почвы, степень засоления, гидрохимические и фильтрационные свойства).

*Промывная норма (нетто)* – объем воды, необходимый для удаления избытка токсичных солей из расчетного слоя. Рассчитывается по аналитическим зависимостям или по моделям влагосолепереноса с использованием соответствующих компьютерных программ. Наиболее проста и удобна формула В. Р. Волобуева [7]:

$$M_{wHT} = \frac{10000h_{\Pi_s} \cdot \alpha' \cdot C_s}{C_{s^* \text{ доп}}},$$

где  $M_{wHT}$  – промывная норма;  $\alpha'$  – показатель солеотдачи;  $h_{\Pi_s}$  – расчетная глубина опреснения;  $C_s$  – исходное содержание солей, выраженное через концентрацию легкорастворимых солей при полном насыщении порового пространства почвы, г/л, (%);  $C_{s^* \text{ доп}}$  – допустимая концентрация почвенного раствора, г/л, (%).

Значение параметра  $\alpha'$  меняется в зависимости от гранулометрического состава и типа засоления: суглинистые почвы  $\alpha' = 0,92-1,98$ ; тяжелосуглинистые почвы  $\alpha' = 1,22-1,78$ ; глинистые почвы  $\alpha' = 1,80-3,30$ . Большие значения характерны для сульфатного типа засоления.

При равномерном по глубине исходном засолении промывную норму нетто  $M_{wHT}$  определяют по формуле С. Ф. Аверьянова [1]:

$$M_{wHT} = (2A\sqrt{m_d t_w} + h_{ns})n_a,$$



где  $A$  – параметр, зависящий от требуемой степени опреснения почвы в конце промывки  $\check{C}$ :  $\check{C} = C_{s\text{-доп}} - Cn / C_s - C_n$ , где  $Cn$  – минерализация промывных вод, г/л;  $m_d$  – коэффициент конвективной диффузии, м<sup>2</sup>/сут;  $n_a$  – активная пористость почвогрунтов в долях от объема. Значение параметра  $A$  в зависимости от степени опреснения почвы в конце промывки  $\check{C}$  определяется в соответствии с табл. 23.

Таблица 23

Определение параметра ( $A$ ) в конце промывки ( $\check{C}$ ) в зависимости от степени опреснения почвы

$\check{C}$	0,001	0,005	0,01	0,02	0,04	0,06	0,08	0,10	0,12	0,14
$A$	2,19	1,82	1,65	1,45	1,24	1,10	0,99	0,91	0,83	0,75
$\check{C}$	0,16	0,18	0,20	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45	0,50	–
$A$	0,70	0,65	0,65	0,48	0,37	0,27	0,18	0,09	0	–

Ориентировочную величину промывной нормы нетто в зависимости от гранулометрического состава почвы, типа и степени засоления можно определить для слоя почвы мощностью 1 м (м<sup>3</sup>/га).

В результате на основе солевого состава почв делается группировка почв по солевому составу в зависимости от содержания солей (табл. 24) [24].

Таблица 24

Группировка почв по солевому составу в зависимости от содержания солей

Содержание солей в расчетном слое до начала промывки, % от массы почвы	Группа почв по солевому составу			
	хлоридная	сульфатно-хлоридная	хлоридно-сульфатная	сульфатная
Почвы легкого гранулометрического состава со свободной солеотдачей				
	$\alpha = 0,62$	$\alpha = 0,75$	$\alpha = 0,82$	$\alpha = 1,18$
0,5–1,0	4500	4000	3500	–
1,0–2,0	6500	6000	5500	4000
2,0–3,0	7500	7000	6500	5500
3,0–4,0	8500	8000	7500	7000
Почвы среднесуглинистые или аналогичные им по солеотдаче, слоистые почвы неоднородного гранулометрического состава				

	$\acute{\alpha} = 0,92$	$\acute{\alpha} = 1,02$	$\acute{\alpha} = 1,12$	$\acute{\alpha} = 1,48$
0,2-0,5	4000	3000	1000	-
0,5-1,0	6500	5500	4000	-
1,0-2,0	9500	8500	7500	4500
2,0-3,0	11 000	10 000	9500	7000
3,0-4,0	12 000	11 500	11 000	9000

Содержание солей в расчетном слое до начала промывки, % от массы почвы	Группа почв по солевому составу			
	хлоридная	сульфатно-хлоридная	хлоридно-сульфатная	сульфатная
Почвы глинистые или суглинистые с пониженной солеотдачей				
	$\alpha = 1,22$	$\alpha = 1,32$	$\alpha = 1,42$	$\alpha = 1,78$
0,2-0,5	5000	3500	1500	-
0,5-1,0	8500	7000	5500	-
1,0-2,0	12 000	11 000	10 000	5500
2,0-3,0	14 500	13 000	12 000	8500
3,0-4,0	15 500	15 000	14 000	11 000
Почвы глинистые с низкой солеотдачей				
	$\alpha = 1,80$	$\alpha = 1,90$	$\alpha = 2,10$	$\alpha = 2,40$
0,2-0,5	7000	4000	2500	-
0,5-1,0	12 500	10 000	7000	-
1,0-2,0	18 000	15 500	15 000	7000
2,0-3,0	21 500	19 000	19 000	12 000
3,0-4,0	23 000	21 500	21 000	14 500
Почвы глинистые слитые				
	$\alpha = 2,70$	$\alpha = 2,80$	$\alpha = 3,00$	$\alpha = 3,30$
0,2-0,5	11 000	6000	3000	-
0,5-1,0	19 000	14 500	12 000	-
1,0-2,0	27 000	22 000	21 000	10 000
2,0-3,0	32 000	28 000	25 000	15 000
3,0-4,0	35 000	31 500	30 000	20 000

В. А. Ковда [80] предложил эмпирическую формулу расчета объема промывной воды для рассоления 2-метровой толщи почвы:

$$Y = n_1 \cdot n_2 \cdot n_3 \cdot 400 \cdot x \pm 100,$$

где  $Y$  – объем промывной воды, м<sup>3</sup>/га;  $x$  – средний процент легкорастворимых солей в 2-метровой толще почвы;  $n_1$  – коэффициент, зависящий от механического состава: для песка = 0,5, для суглинка = 1,0, для глины = 2,0;  $n_2$  – коэффициент, зависящий от глубины грунтовой воды: при 1,5–2 м = 3, при 2–5 = 1,5, при 7–10 = 1,0;  $n_3$  – коэффициент, зависящий от минерализации грунтовых вод: при слабой = 1,0, при средней = 2,0, при рассолах =

3,0, при напорных грунтовых водах добавляется индекс  $n_4$  (от 1 до 2).

При проведении промывки почв часть подаваемой на промывку воды расходуется на испарение, боковой отток и фильтрацию из подающей сети.

*Промывная норма* (брутто) – суммарный объем воды, требуемый для проведения промывки ( $M_{бр}$ ). Он зависит от технологии распределения воды на промываемом участке, качества подготовки почвы к промывкам.

$$M_{бр} = KN + I + C + B_{от},$$

где  $M_{бр}$  – промывная норма брутто;  $K$  – коэффициент, учитывающий неравномерность распределения промывной нормы нетто, зависит от уклона, спланированности поверхности и техники распределения воды. При затоплении чеков  $K$  составляет 1,16–1,25, при поливе напуском по полосам – 1,10–1,20, при поливе по бороздам – 1,05–1,10, при поливах дождеванием – 1,1–1,2;  $N$  – расчетная промывная норма нетто, м<sup>3</sup>/га;  $I$  – испарение с водной поверхности за время проведения поливов, м<sup>3</sup>/га;  $C$  – поверхностный сброс и потери в каналах от 5 до 35 %;  $B_{от}$  – боковой отток, м<sup>3</sup>/га. Продолжительность проведения промывки указывается с пропускной способностью дренажно-коллекторной сети и рассчитывается по формуле:

$$t = M_{бр} / V_{ф},$$

где  $V_{ф}$  – скорость фильтрации промывных вод, м/сут.

По организационно-хозяйственным признакам промывки почв подразделяют на капитальные и эксплуатационные. Земли средnezасоленные, сильнозасоленные и солончаки нуждаются в проведении капитальных промывок. Слабозасоленные почвы осваиваются капитальными и эксплуатационными промывками.

*Капитальные промывки* являются единовременным мелиоративным мероприятием по рассолению почв на расчетную глубину.

*Эксплуатационные промывки* являются периодическим мелиоративным мероприятием для регулирования водно-солевого режима почв.

*Поверхностная промывка* – удаление солей из корнеобитаемых горизонтов тяжелых почв с низкой водопроницаемостью, высокой влагоемкостью и высоким содержанием солей

способом декантации, т. е. систематическим растворением солей в промывных водах и их последующим сбросом. Используется на тяжелых почвах с высоким содержанием солей в верхних горизонтах и относительно низким содержанием в глубоких слоях почвенного профиля.

*Сквозная промывка* всей толщи горизонтов почвенного профиля обеспечивает вынос водорастворимых солей в грунтовый поток и их удаление естественным или искусственным дренажем за пределы орошаемого массива. При сквозной промывке возможно опреснение не только почвенной толщи, почвообразующих и подстилающих пород, но и поверхностных слоев грунтовых вод. Поэтому только сквозные промывки на фоне горизонтального, вертикального или комбинированного дренажа могут обеспечить создание условий, исключающих повторное засоление почв.

*Запашка солей* применяется на слабозасоленных почвах, когда нижние горизонты свободны от солей, а их незначительно повышенные концентрации сосредоточены в поверхностных горизонтах профиля. Перепашка при относительно мощном гумусном горизонте создает условия для равномерного разбавления солей в мелкозем пахотного горизонта до уровня концентраций, не препятствующих нормальному росту и развитию сельскохозяйственных растений.

*Электромелиорация* – действие постоянного электрического тока на почву. Результаты применения электромелиорации: рассоление, трансформация солевого состава в сторону улучшения его с мелиоративной точки зрения, уменьшение сильнотоксичных компонентов, усиливаются процессы микро- и макроагрегации. При электромелиорации значительно сокращаются промывные нормы воды, процесс почвообразования изменяется в сторону зонального типа, повышается уровень плодородия почв и продуктивность растений [21].

При пропускании тока через водонасыщенную почву или грунт происходят электролиз, электроосмос и электрофорез.

При *электролизе* влажных почв около электродов и в межэлектродном пространстве происходят сложные электрохимические процессы, в результате которых изменяется твердая фаза почвы. Подщелачивание у катода и подкисление у анода увеличивает растворимость многих соединений.

*Электроосмос* – движение воды в направлении катода при действии постоянного электрического тока. Применяется для дренажа почвогрунтов при закладке фундаментов для сооружений.

*Электрофорез* – перенос мелких иловатых частиц в направлении электродов.

*Термический пар* – улучшение физических свойств солонцеватого горизонта под действием солнечной радиации. В результате отвальной вспашки солонцовый горизонт выворачивается на поверхность, по возможности разрыхляется и в течение жаркого летнего периода подвергается воздействию солнца и ветра. Происходит дегидратация и необратимая коагуляция почвенных коллоидов, в результате чего улучшаются физические свойства солонцового горизонта.

Термический пар применим для улучшения свойств солонцеватых почв и солонцов сухостепной и полупустынной зон только при малом количестве осадков, высоких и резко колеблющихся температурах.

*Глубокое мелиоративное рыхление* – глубокое мелиоративное безотвальное рыхление солонцов и солонцеватых почв, особенно после внесения гипса.

В результате глубокого рыхления в почве происходят следующие изменения [39]:

- а) разрушается уплотненный солонцовый горизонт, создается мощный корнеобитаемый пахотный слой;
- б) в пахотный слой переходят кальциевые соли самой почвы;
- в) улучшаются водно-физические свойства почвы, увеличивается запас воды в почве, и удаляются вредные соли, образовавшиеся в результате реакции обмена.

*Фитомелиорация* – использование растений для рассоления почв. Ее целесообразно использовать совместно с агротехническими и инженерными приемами улучшения мелиоративного состояния низкоплодородных почв.

Первичное окультуривание мелиорируемых почв осуществляется за счет возделывания подобранных для этих целей культур – биомелиорантов. При близком залегании уровня грунтовых вод интенсивно развивающиеся растительные ассоциации предохраняют почву от засоления. В качестве биомелиорантов выступают галофиты – это экологически, физиологически и

биохимически специализированные растения, способные нормально функционировать и продуцировать в условиях засоленной среды и/или орошения соленой водой. Формируя высокопродуктивные, разветвленные надземные массы, галофиты обеспечивают испарение большого количества воды, снижение уровня грунтовых вод, сокращение испарения с поверхности почвы и снижение концентрации солей с ее верхних горизонтов [74].

Способность галофитов к нормальному функционированию и формированию относительно высокой кормовой и лекарственной массы в условиях засоленной среды связана с их специфическими экологическими и физиолого-биохимическими особенностями.

Клетки и ткани галофитов отличаются повышенным осмотическим давлением, достигающим 70–90 атм. (иногда до 110 атм.), за счет увеличения в них концентрации ионов, низкомолекулярных органических соединений (пролины, бетаины) и специфических механизмов транспорта ионов через клеточные мембраны.

Галофиты преимущественно принадлежат к растениям с С4-типом фотосинтеза. Это позволяет нормально протекать процессу синтеза органических веществ в условиях постоянного доминирования экстремальных факторов (высоких температур, физиологической и климатической сухости, засоленности почвы).

В результате видовой и внутривидовой селекции выявлено 15 перспективных видов и экотипов, пригодных в качестве растений-биомелиорантов на вторично засоленных почвах и в условиях орошения соленой водой. Перспективными являются следующие растения: сведа дуголистная и заостренная, лебеда серая, климакоптера мясистая, марь белая, бассия иссополистная, солерос, кохия веничная, солодки голая и уральская, полынь солончаковая и другие. Галофиты формируют 10–12 т сухой кормовой массы, 1–1,5 т семян (плодов), обеспечивают получение до 1,5 т протеина в условиях орошения соленой водой на песчаных почвах.

Период рассоления почв в мелиоративном севообороте, включающем разные экологические группы галофитов, для условий средней степени засоления составляет 4–5 лет, сильной степени засоления – 6–7 лет.

Рассоляющий эффект галофитов складывается из следующих элементов. В метровом слое почвы на сильнозасоленных среднесуглинистых почвах полупустынь содержание солей составляет 48 т/га. При фитомассе надземной части 18–20 т/га галофиты выносят из почвы 8–10 т солей с 1 га в год. Затеняя почву, галофиты препятствуют испарению и связанному с ним подтягиванию солей в верхний слой почвы. Эффект зеленой мульчи составляет 2,5 т/га солей. В итоге, на участке, занятом насаждениями галофитов, процесс выноса солей из почвы достигает 10–12,5 т в год.

Этапы освоения мелиоративного севооборота:

1. Использование в первые годы галофитов.
2. Последующий переход к смешанным посевам галофита с кормовой культурой.
3. Постепенное увеличение площади под кормовые культуры.
4. При полном рассолении почвы осуществляется чистый посев кормовой культуры.

Биологический способ рассоления почвы рекомендуется применять на супесчаных средне- и сильнозасоленных среднесуглинистых почвах, когда степень хлоридного засоления не превышает 0,6 %.

Древесно-кустарниковые насаждения являются составной частью агроценоза и ландшафта. Деревья перехватывают воду из водоподающих каналов, сокращают объем подземных вод в результате эвапотранспирации и не требуют орошения. Кустарниковая залежь – распространенный метод улучшения почвенного плодородия и интенсификации сельскохозяйственного производства в аридной зоне.

Посадка деревьев и кустарников в системе агролесомелиорации рекомендуется блоками или рядами по границам зон земледелия и вдоль дорог.

При экологической оценке засоленных почв выделяют биологическую и агрономическую солеустойчивость растений. Биологическая солеустойчивость (солевыносливость) – способность растения осуществлять полный цикл индивидуального развития на засоленной почве, нередко с пониженной интенсивностью накопления органического вещества при сохранении воспроизводства потомства. Агрономическая солеустойчивость (соле-



устойчивость) – способность организма осуществлять полный цикл развития на засоленной почве и давать в этих условиях продукцию, удовлетворяющую практику сельского хозяйства.

*Наиболее солеустойчивые* растения: хлопчатник, сорго, подсолнечник, свекла, ячмень, рапс, донник, пырей. *Среднесолеустойчивые* растения – рожь, пшеница, соя, конские бобы, кукуруза, волоснец, ежа, суданская трава, райграсс, томаты, перец, морковь. *Плохо переносят* засоление: фасоль, клевер, лисохвост, редис, сельдерей [59].

*Землевание* – искусственное создание мощного 6–20 см плодородного пахотного горизонта на поверхности солонца или сильносолонцевой почвы путем наслаивания богатой обменным кальцием и органическим веществом черноземной почвы на солонец. В этом случае внесенный активный кальций чернозема активно вытесняет обменный натрий из солонца и погашает его токсичность. Землевание сопровождается внесением удобрений, особенно органических, посевом сидератов и другими мероприятиями.

*Самомелиорация* – это перемешивание с помощью плантажной вспашки гипсовых и карбонатных горизонтов; рассолонцевание на глубину, на которую происходит промачивание. Приемы, ускоряющие самомелиорацию почвы: промывание почвы, искусственное орошение, улучшение дренажа, хорошая обработка почвы, внесение рыхлящих веществ (навоза, соломы, торфа, компоста и др.); увеличение концентрации кальция в почвенном растворе (внесение гипса, суперфосфата, известковой селитры); повышение растворимости углекислого кальция в карбонатном солонце; возделывание растений на солонцах.

*Химическая мелиорация* – деятельность, обеспечивающая целенаправленное улучшение агрохимических и водно-физических свойств, а также пищевого режима почв [53]. В результате происходит коренное улучшение химического состава и структуры почв, повышение их плодородия, предотвращение или ослабление негативных последствий интенсификации агрономического производства на основе применения мелиорантов, орошения и осушения, приводящих к негативным последствиям. Химическая мелиорация направлена на регулирование реакции почвенной среды, ее кислотности и щелочности, оструктурирования почвы.

При химической мелиорации почв изменяются: солевой и микроагрегатный состав почв, гумусное состояние, ионообменные и коллоидно-химические свойства.

*Химические мелиоранты* – химические вещества, применяемые для улучшения качества и свойств почвы. В качестве химических мелиорантов могут использоваться:

а) химические вещества для регулирования кислотности, щелочности почвы, ее оструктуривания и обогащения элементами питания растений;

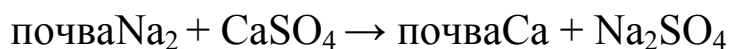
б) химические вещества, применяемые для уменьшения плотности и соленакопления, повышения водопроницаемости почвы, стабилизации гумуса и борьбы с эрозией;

в) химические препараты специального назначения (синтетические продукты или химически измененные природные материалы) [41].

Приемы мелиорации:

*Известкование* – применяется на кислых почвах с применением извести, доломитовой муки, сланцевой золы, цементной пыли, известкового туфа, сапропеля, озерной извести.

*Гипсование* – вытеснение поглощенного натрия кальцием гипса или иного кальцийсодержащего соединения как наиболее благоприятным для жизни растений поглощенным катионом.



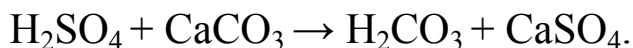
Гипсование применяется в основном на почвах с глубоким залеганием карбонатов и сульфатов кальция (ниже 0,4 м).

В качестве мелиорантов используют гипс, фосфогипс, естественные гипсовые породы (например, гажу). Положительный мелиоративный эффект дает внесение в почву органического вещества, железного купороса, серы и других соединений, способных при биохимическом окислении образовывать серную кислоту.

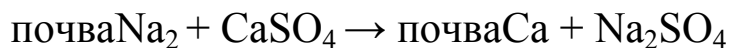
По мнению К. К. Гедройца [9], гипсование должно сопровождаться удалением из почвы продуктов обмена ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ) путем хорошего увлажнения и дренированности, что лучше всего осуществляется при мелиорации солонцов в условиях орошения.

*Кислование* – внесение кислых химических веществ (серная кислота, сульфат железа, сульфат алюминия, хлористый кальций, фосфогипс).

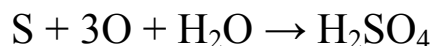
Реакция взаимодействия карбонатного солонца с серной кислотой идет по схеме:



Образовавшийся гипс, в свою очередь, вытесняет обменный натрий по схеме:



*Внесение тонкоизмельченной серы*, которая окисляется серобактериями до серной кислоты, по схеме:



Затем серная кислота реагирует с карбонатами, образуя гипс, согласно вышеприведенной схеме.

*Почвоукрепительные агрохимические мелиорации* – мероприятия, направленные на уменьшение плотности почв и соле-накопления, повышения водоотдачи и водопроницаемости, стабилизации почвенной структуры, закрепления гумуса, и снижения проблемы эрозии. Наиболее распространенные мелиоранты: жидкий аммиак, мочевино-формальдегидные конденсаты, поли-комплексы, ПАВ.

*Удобрительные мелиорации* – направлены на повышение гумусного состояния почвы, улучшение водно-воздушного режимов почв. В качестве мелиорантов используют: навоз, птичий помет, зеленую массу растений, торф, сапрпель, отходы деревообрабатывающей, гидролизной, пищевой, биохимической и других видов промышленности.

*Фосфоритование почв* – внесение заправочных доз удобрений, содержащих фосфор в усвояемой растениями форме (суперфосфат, термофосфат, фосфорная мука).

### **Контрольные вопросы**

1. Какие факторы влияют на выбор мелиорации?
2. Каким образом происходит промывка почв?  
Как рассчитываются промывная норма и продолжительность промывки? Виды промывки почв.
3. Фитомелиорация как метод рассоления почв.
4. Что такое самомелиорация почв?
5. Назовите виды химической мелиорации засоленных почв.

6. В чем суть комплексного агробιологического метода коренной мелиорации солонцов?

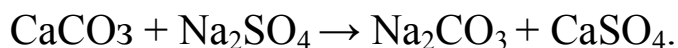
## 7. ОСОБЕННОСТИ МЕЛИОРАЦИИ ПОЧВ СОДОВОГО, СУЛЬФИДНОГО, КАРБОНАТ- НОГО И ГИПСОВОГО ЗАСОЛЕНИЯ

*Особенности мелиорации почв содового засоления.* Содовое засоление почв отрицательно влияет не только на растения, но и вызывает диспергацию почв, понижает водопроницаемость, снижает порозность, ухудшает ее физические свойства.

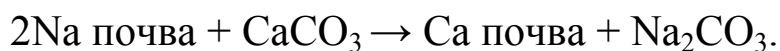
Существует несколько теорий содового засоления почв [14, 19]:

1. Геохимическая теория содообразования – сода образуется в процессе выветривания горных пород, содержащих алюмосиликаты натрия с последующим переносом их ветром и поверхностными и/или грунтовыми водами.

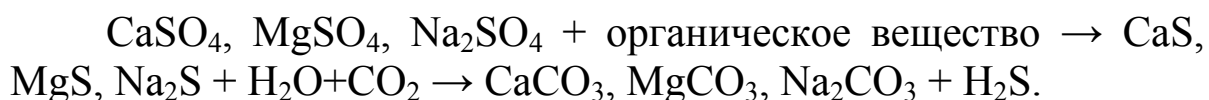
2. Теория образования соды в результате замещения кальция карбонатов в породах на натрий хлоридов и сульфатов грунтовых вод (реакция Е. В. Гильгардта):



3. Коллоидно-химическая обменная теория образования соды – сода образуется в результате вытеснения поглощенного натрия из солонцовых почв:



4. Теория биогенного накопления соды – образование соды биохимическим путем в результате деятельности сульфатредуцирующих микроорганизмов в переувлажненной почве в анаэробных условиях. Реакция протекает при обязательном наличии органического вещества и сульфатов натрия в почвах при активном участии сульфатредуцирующих микроорганизмов по схеме:

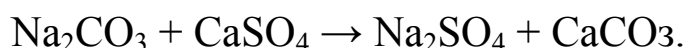


5. Содообразование в почве может происходить в результате минерализации растений, содержащих натрий.

6. Накопление соды в почвенном профиле возможно за счет поступления глубинных напорных щелочных вод, а также при орошении почв слабощелочными водами.

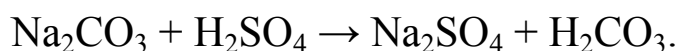
Мелиорация почв содового засоления предусматривает применение глубокого дренажа (при напорных грунтовых водах комбинированного с вертикальным), высоких доз химических мелиорантов, глубокого рыхления или кротования, промывок, больших доз органических удобрений и постоянного применения кислых и физиологически кислых удобрений [31].

Для мелиорации почв содового засоления используется гипсование. В результате обменной реакции в почве образуются сульфат натрия и известь:



Сульфат кальция, в свою очередь, легко растворяется в воде и выносится грунтовыми водами за пределы орошаемого массива. Гипс рекомендуется вносить в несколько приемов. Однако процесс мелиорации почв содового засоления с помощью гипса даже на фоне промывок и дренажа протекает очень медленно, а количество мелиоранта весьма существенно (от 15–20 до 60–90 т/га гипса).

Более эффективно использование 1%-го раствора серной кислоты и серосодержащих продуктов (железного купороса, серы и др.) для промывки почв содового засоления. Серная кислота активно разлагает соду:



Легкорастворимые соли, образующиеся в результате этой реакции, быстро отводятся с промывными водами за пределы орошаемой территории. Процесс мелиорации содовых почв в этом случае осуществляется значительно быстрее, чем с природным гипсом.

После завершения промывки в почву вносят железный купорос. Железо компенсирует вынос трехвалентных металлов при промывках почв раствором серной кислоты, способствует улучшению их физических свойств, а часть образующейся из купороса серной кислоты продолжает мелиоративное воздействие на отмытую от соды щелочную почву.

*Особенности мелиорации почв сульфидного засоления.* Наиболее широко кислые сульфидные почвы распространены в дельтах крупных рек тропической зоны на территории Таиланда,

Вьетнама, Филиппин, в приморских северо-западных районах России и других странах.

Образование сульфидов железа в почвах происходит следующим образом. Накопление двухвалентного железа в условиях анаэробного разложения органических веществ в почвах приморских равнин, в поймах и дельтах крупных рек связано с мощными ферраллитными корами выветривания, эродируемыми водными потоками. Источником сульфатов являются минерализованные морские и грунтовые воды. В результате анаэробного разложения растительных остатков складываются благоприятные условия для интенсивной сульфатредукции. Образовавшийся сероводород взаимодействует с двухвалентным железом. Сульфид железа не изменяет свойств почв до тех пор, пока сохраняются анаэробные условия. Однако в процессе осушения, с улучшением аэрации происходит окисление сульфидов с выделением серной кислоты, которая разрушает карбонаты и является причиной резкого падения значений рН таких почв (до 2,5–3,0). Двухвалентное железо при контакте с воздухом переходит в оксид трехвалентного железа, а его аккумуляция непосредственно на поверхности почвы и в гумусовом горизонте вызывает ретроградацию фосфатов. Эти процессы приводят к потере плодородия почв.

В некоторых случаях кислые почвы, обогащенные сульфидами, возникают на почвообразующих породах, обогащенных этим серосодержащим минералом (например, на юрских глинах и др.).

Сложность мелиорации почв сульфидного засоления заключается в том, что для нейтрализации высокой кислотности известкованием необходимы огромные массы мелиорантов, объемы которых только увеличиваются, так как для сельскохозяйственного использования сульфидные переувлажненные почвы необходимо осушать.

Выход из этой ситуации, используемый в крестьянской практике тропического земледелия, следующий: осушение осуществляется с помощью широких и невысоких гряд, когда избыточная влага удаляется из самых поверхностных горизонтов. В период тропических дождей серная кислота отмывается из корнеобитаемой зоны. В таких условиях удается успешно возде-

ливать некоторые ценные культуры, устойчивые к повышенной кислотности (например, баклажаны, ананасы и др.).

*Особенности мелиорации почв карбонатного засоления.* Карбонатное засоление почв возникает в условиях аридного климата при близком залегании жестких грунтовых вод, когда в почвенном профиле возникают известковые, доломитизированные карбонатные аккумуляции, вызывающие уплотнение почв. Такие аккумуляции и коры резко ухудшают физические свойства почв: порозность, плотность и водопроницаемость и, как следствие, ухудшают мелиоративное состояние орошаемых территорий.

В Средней Азии такие аккумуляции получили название «шох». Шоховые горизонты обладают высокой плотностью, практически непроницаемы для корней, нередко токсичны для растений. Содержание  $\text{CaCO}_3$  в шоховых почвах достигает 60–70 %. Следует учитывать, что при содержании в пахотном горизонте 10–15 % извести возможно угнетение зерновых; при содержании около 40–50 %  $\text{CaCO}_3$  урожай зерновых снижается в два раза; при наличии 50–70 % извести происходит угнетение бобовых культур [14].

Мелиоративные мероприятия почв карбонатного засоления направлены на механическое разрушение плотных карбонатных горизонтов и понижение концентрации карбонатов. Для этого в карбонатные почвы запахивается значительная масса органических удобрений. Разложение органического вещества сопровождается выделением  $\text{CO}_2$  и резким повышением концентрации бикарбонат-иона в почвенном растворе. Карбонатный сцементированный горизонт рыхлят с помощью глубоких мелиоративных рыхлителей и затем производят полив. Глубокое рыхление, полив и внесение больших доз органики повторяют многократно.

*Особенности мелиорации почв гипсового засоления.* Накопление гипса происходит из грунтовых вод, содержащих водорастворимый гипс. Формы гипсовых аккумуляций различны: в глубоких почвенных горизонтах это обычно друзы; в верхних горизонтах – отдельные пластинки; в пухлых соленосных горизонтах солончаков – в виде легкой мучнистой массы; в песчаных крупнопористых почвах формируются гипсовые «розы»; в гидроморфных почвах возникают мощные ноздреватые гипсовые аккумуляции (гажа).



Гипсоносными называют такие почвы, в которых содержится более 2 % гипса. Умеренное гипсовое засоление (менее 20 %) не оказывает отрицательного физиологического влияния на сельскохозяйственные культуры.

Мелиорация таких почв направлена на ликвидацию водоупорных гипсовых горизонтов с помощью глубокого (на 0,8–1,0 м) мелиоративного рыхления. Однако целесообразнее не вовлекать почвы гипсового засоления в орошаемое земледелие и оставить их в ненарушенном состоянии.

### **Контрольные вопросы**

1. Перечислите основные теории образования соды в почве.
2. Каким способом проводят мелиорацию содо-возасоленных почв?
3. С чем связано образование сульфидов железа в почвах?
4. Какие мелиоративные мероприятия используют при обработке почв сульфидного, карбонатного и гипсового засоления?

## 8. ОСОБЕННОСТИ МЕЛИОРАЦИИ СОЛОНЦОВ И СОЛОНЦОВЫХ ПОЧВ

Причиной низкого плодородия солонцов является повышенное содержание поглощенного натрия в поглощающем комплексе и их неблагоприятные физические и физико-химические свойства.

Гипсование является наиболее эффективным способом мелиорации солонцов. Дозы гипса определяют в расчете на полное вытеснение обменного натрия из почвенного поглощающего комплекса. Кроме гипса, для мелиорации солонцов применяют: природные кальцийсодержащие материалы – глиногипс, мел; отходы промышленности – фосфогипс (92 %  $\text{CaSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ), хлористый кальций (67 %  $\text{CaCl}_2$  и  $\text{NaCl}$ ), полисульфид кальция ( $\text{CaS}_5$ , 24 % серы) и удобрение кальциевую селитру ( $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ ).

Доза гипса для нейтрализации избыточной щелочности рассчитывается по формуле [18]:

$$G = 0,086(S - 1) \cdot y \cdot h;$$

для вытеснения натрия и магния из почвенного поглощающего комплекса дозу гипса рассчитывают следующим образом:

$$G = 0,086[(N_1 - N_1^{\text{доп}} \cdot N_0) + (N_2 - N_2^{\text{доп}} \cdot N_0)] \cdot y \cdot h,$$

где  $G$  – доза гипса, т/га; 0,086 – коэффициент перевода моль в массу вещества;  $S$  – содержание  $\text{CO}_3 + \text{HCO}_3$  в водной вытяжке, моль/100 г почвы;  $y$  – плотность почвы, т/м<sup>3</sup>;  $h$  – расчетный слой, м;  $N_0$  – емкость катионного обмена, моль/100 г почвы;  $N_1^{\text{доп}}$  и  $N_2^{\text{доп}}$  – допустимое содержание обменного натрия и магния, доли от  $N_0$ ;  $N_1$  и  $N_2$  – то же исходное содержание, моль/100 г почвы.

Дозы гипса могут меняться в широком диапазоне – от 2–3 до 20–25 т/га. Максимальные значения необходимы для черноземных луговых и содовых солонцов, минимальные – для солонцов сухостепной и полупустынной зон.

Растворимость гипса в воде 2 г/л, поэтому лучше его вносить в почву в сухом виде. При содержании солонцов в почвенном покрове < 25 % гипс вносят локально, при 25–30 % – в количестве, рассчитанном на окружающие почвы, затем по пятнам солонцов в дозе, рассчитанной на их мелиорацию.

При гипсовании на глубокостолбчатых солонцах гипс вносят под плуг. На среднестолбчатых – 1/4–1/2 дозы гипса вносят под плуг и 3/4–1/2 дозы поверхностно после вспашки с последующим перемешиванием при культивации. На корковых солонцах весь гипс разбрасывают по поверхности с последующим перемешиванием его с пахотным слоем боронованием. После внесения гипса производят влагозарядковый полив [14].

Эффективность мелиорации солонцов оценивают по изменению содержания в ППК обменного натрия и «активного ила». На содовых и сульфатно-содовых солонцах эффективность от гипсования почвы снижается, так как происходит карбонатизация гипса в щелочной среде почвенного раствора. На таких почвах гипсование сочетают с кислованием.

Гипсование солонцов проводят в комплексе с другими мероприятиями – глубокой вспашкой, внесением органических и минеральных удобрений, промывным режимом орошения, посевом соле- и солонцестойчивых культур.

Эффективность действия гипса зависит от степени его измельчения, условий увлажнения, тщательности перемешивания с почвой. Для растворения гипса требуется 600–800 м<sup>3</sup> воды.

Требования к качеству гипса для химической мелиорации почв даны в табл. 25 [18].

Таблица 25

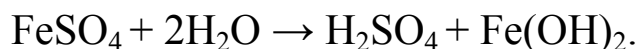
Требования к качеству гипса

Класс гипса	Содержание				
	гипса, CaSO <sub>4</sub> · 2H <sub>2</sub> O, %, не менее	сверхкристаллизованной воды, % не более	частиц, %, проходящих через сито с диаметром отверстий		
			2	1	0,25
А	85	5	100	97	75
Б	70	5	100	97	75

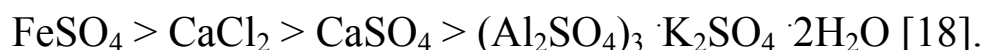
Известкование применяется преимущественно на малонариевых солонцах в комплексе с внесением значительных доз органических удобрений.

Кислование эффективно для мелиорации содовых солонцов. В качестве мелиорантов используют железный купорос, серу и другие серосодержащие соединения, которые при окислении образуют серную кислоту.

На содовых солонцовых почвах (содово-сульфатных, содово-сульфатно-хлоридных, сульфатно-содовых и хлоридно-содовых) применяют *железнование* – обработку почв сернокислым железом с целью удобрения и окультуривания среды произрастания растений. Кислотный гидролиз идет с образованием серной кислоты и гидрата окиси железа:



Сернокислое железо в ряду солей по интенсивности вытеснения обменного натрия из почвенно-поглощающего комплекса стоит на первом месте:



Землевание как способ мелиорации применяется для мелиорации солонцов черноземной зоны, поскольку срезка поверхностных слоев при тщательном выполнении этого приема не вызывает заметного изменения плодородия черноземов. Землевание должно сопровождаться внесением органических удобрений, посевов сидератов и других мелиораций.

Для мелиорации солонцов и солонцеватых почв применяют также термический пар, глубокое мелиоративное рыхление, многоярусную вспашку, плантажную вспашку (самомелиорация солонцов), фитомелиорации и электромелиорации.

И. Н. Антиповым-Каратаевым [3] был предложен комплексный агробиологический метод коренной мелиорации солонцов, который заключается в следующем:

- вытеснение натрия кальцием из солей почвы. Для этого проводят перемешивание солонцового горизонта В1 с частью подсолонцового карбонатного или гипсового горизонта В2;

- усиление влагонакопления путем снегозадержания в богарных условиях, применение лиманного или регулярного орошения;

- посев многолетних трав и сидеральных культур для усиления продуцирования углекислоты в почвенном воздухе с целью повышения растворимости карбоната кальция почвы, а также для создания водопрочной структуры;

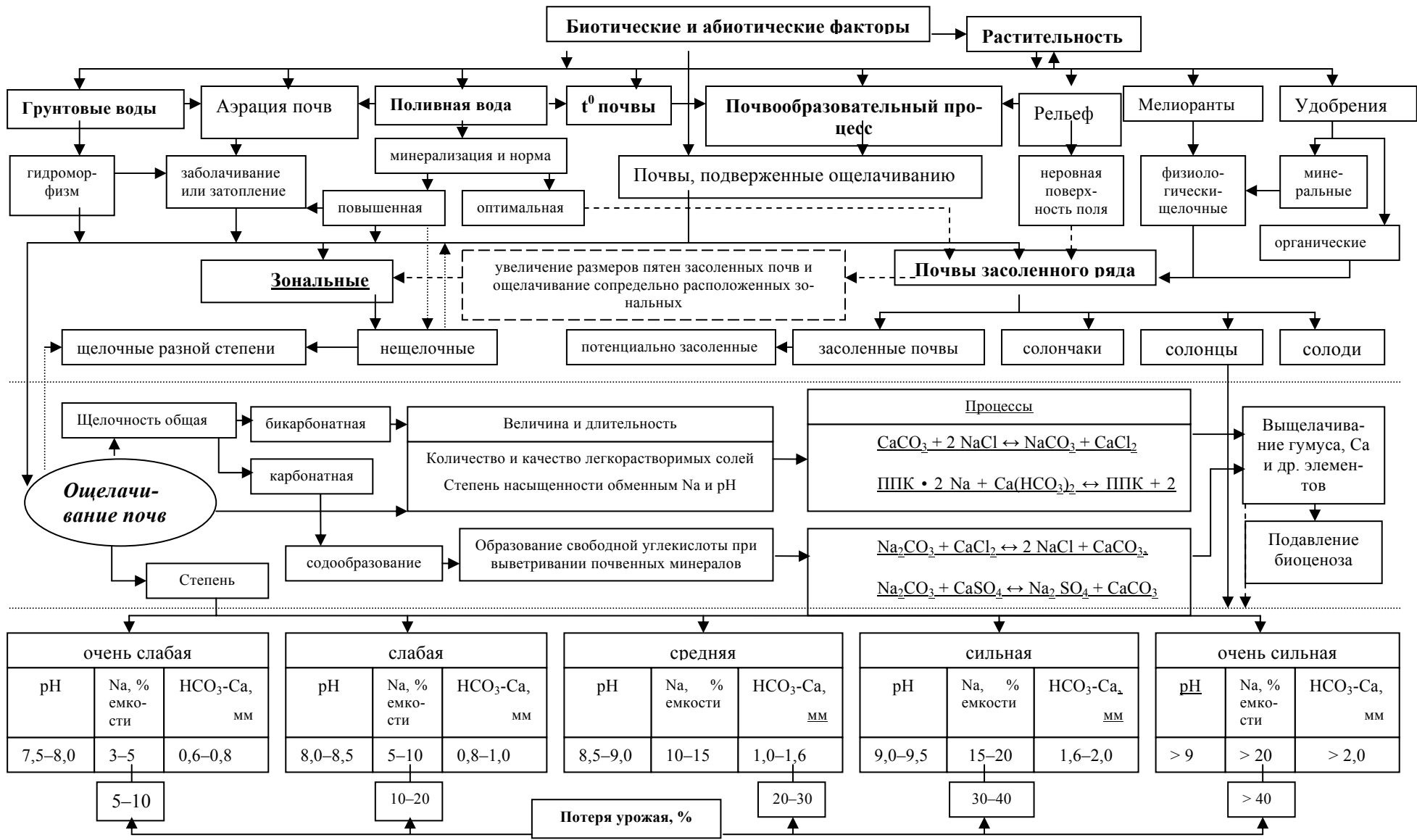
- применение органических и минеральных удобрений.

Казакова Л. А. [18] предложила комплексную мелиорацию орошаемых солонцов, которая основывается на генетических

особенностях этих почв и использовании закономерностей взаимодействия участвующих в процессе мелиорации природных и антропогенных факторов, последовательности и зависимости прохождения агрофизических, химических и биохимических изменений в этих почвах с учетом селективного и синергетического эффекта при воздействии агротехнических, химических, гидро-мелиоративных и агробиологических видов мелиорации (рис. 5). На рис. 6 отражена унифицированная блок-схема выбора метода комплексной мелиорации средних и глубоких солонцов.

### **Контрольные вопросы**

1. Перечислите основные способы мелиорации солонцов.
2. Каким образом рассчитывается доза фосфогипса для мало-, средне- и многонатриевых солонцов?
3. В чем суть комплексного агробиологического метода мелиорации солонцов?



**Биотические и абиотические факторы**

**Растительность**

Грунтовые воды → Аэрация почв → Поливная вода → t° почвы → Почвообразовательный процесс → Рельеф → Мелиоранты → Удобрения

гидроморфизм → заболачивание или затопление → минерализация и норма → Почвы, подверженные ощелачиванию → неровная поверхность поля → физиологически щелочные → минеральные → органические

**Зональные**

**Почвы засоленного ряда**

увеличение размеров пятен засоленных почв и ощелачивание сопредельно расположенных зональных

щелочные разной степени → нещелочные → потенциально засоленные → засоленные почвы → солончаки → солонцы → солонды

Щелочность общая

бикарбонатная

карбонатная

Величина и длительность  
Количество и качество легкорастворимых солей  
Степень насыщенности обменным Na и pH

**Процессы**  
 $CaCO_3 + 2 NaCl \leftrightarrow NaCO_3 + CaCl_2$   
 $ППК \cdot 2 Na + Ca(HCO_3)_2 \leftrightarrow ППК + 2$

Выщелачивание гумуса, Ca и др. элементов

**Ощелачивание почв**

Степень

содообразование

Образование свободной углекислоты при выветривании почвенных минералов

$Na_2CO_3 + CaCl_2 \leftrightarrow 2 NaCl + CaCO_3$   
 $Na_2CO_3 + CaSO_4 \leftrightarrow Na_2SO_4 + CaCO_3$

Подавление биоценоза

очень слабая			слабая			средняя			сильная			очень сильная		
pH	Na, % емкости	HCO <sub>3</sub> -Ca, мм	pH	Na, % емкости	HCO <sub>3</sub> -Ca, мм	pH	Na, % емкости	HCO <sub>3</sub> -Ca, мм	pH	Na, % емкости	HCO <sub>3</sub> -Ca, мм	pH	Na, % емкости	HCO <sub>3</sub> -Ca, мм
7,5–8,0	3–5	0,6–0,8	8,0–8,5	5–10	0,8–1,0	8,5–9,0	10–15	1,0–1,6	9,0–9,5	15–20	1,6–2,0	> 9	> 20	> 2,0

5–10

10–20

**Потеря урожая, %**

20–30

30–40

> 40

Рис. 5. Блок-схема воздействия факторов, процессов и показателей ощелачивания орошаемых засоленных земель [18]

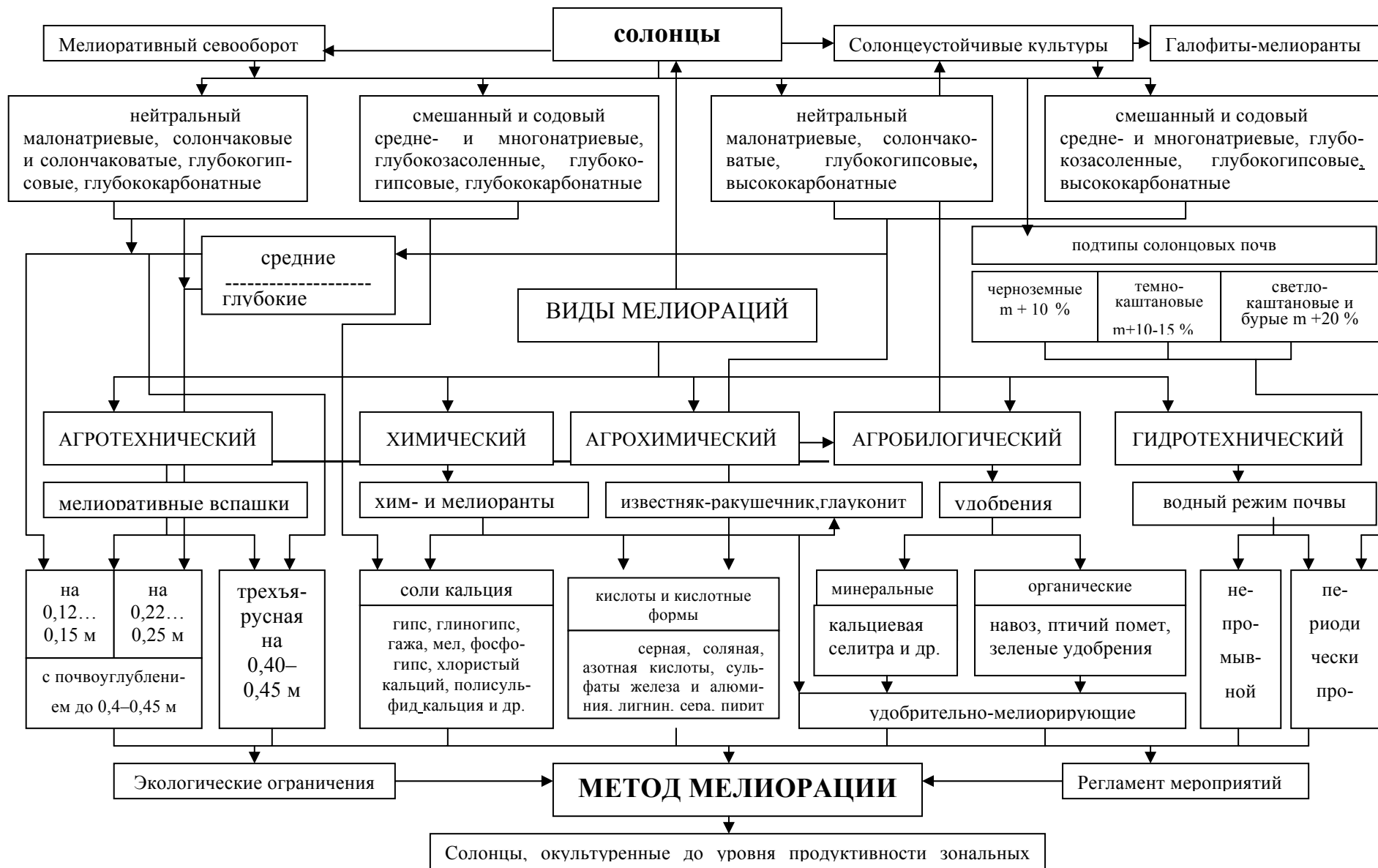


Рис. 6. Блок-схема выбора модели метода комплексной мелиорации почв солонцовых



## 9. ПРОБЛЕМЫ ЗАСОЛЕНИЯ И ОПУСТЫНИВАНИЯ

Опустынивание земель является одной из важнейших и существенных по последствиям экологических проблем. Согласно определению Конвенции Организации Объединенных Наций (1994) по борьбе с опустыниванием, опустынивание (*desertification*) – «деградация земель в засушливых, полусухих и сухих субгумидных районах в результате действия различных факторов, включая изменение климата и деятельность человека» [11].

По данным Лобовой и Хабарова [37], аридные области (пустыни, полупустыни, сильно засушливые саванны и степи) составляют 36–40 % суши. Аридные и полуаридные области расположены как в Северном (10–50° и 20–50°), так и в Южном (10–50°) полушариях. Абсолютные пустыни занимают 7–8 % суши. Прямо или косвенно испытывают влияние опустынивания и периодических засух 120–130 стран [83]. От 40 до 60 % орошаемых земель планеты подвержены засолению. От заболачивания и засоления почв ежегодно выпадают из земледелия 500–600 тыс. га земель по всему миру [31].

Выделяют следующие типы пустынь [31]:

- *Естественные аккумулятивные пустыни.* Осадки < 100–200 мм/год; испарение 3000–3500 мм/год и, возможно, 4000 мм. Различают внутриматериковые (Долина Смерти, пустыни Западного Китая, Центральной Австралии, Египетской Сахары и Арало-Каспийского региона) и приморско-береговые аккумулятивные пустыни (береговые пустыни Перу и Чили, пустыни Западной, Юго-Западной и Южной Африки, юго-западного Индостана, Восточного Китая).

- *Естественные денудационные пустыни.* Денудационные остаточные эродированные пустыни горных плато, скалистых склонов, покровов лавы, выходов твердых пород и т. д. Глубокие подземные воды, крайне бедная растительность (пустыни нагорий и склонов Ирана, Армении, Западного Китая, Монголии).

- *Антропогенные вторичные пустыни.* Образуются в результате уничтожения растительности и почвенного покрова или вследствие интенсивного вторичного засоления почв и вод.

Осадки – 300–400 мм/год; резкие колебания по годам; испарение – 1000–2000 мм/год. Вторичные пустыни образуются на месте продуктивных, в прошлом пастбищных, степных, саваннных, луговых, тугайных, полевых ландшафтов вследствие неправильного освоения и использования (большая часть опустыненных территорий Австралии, Великих равнин Северной Америки, юго-запад Канады, степи юго-востока Европы и Центральной Азии, Малого Кавказа, равнин и склонов Калахари, Кении, Танзании, Эфиопии и Судана).

Данное деление пустынь на типы условно, так как генетически и пространственно все три типа связаны друг с другом.

На процесс опустынивания влияют как естественные (природные и климатические условия), так и антропогенные факторы.

Засоление почв является одним из многих факторов, усиливающим процесс опустынивания. Кроме засоления почв на этот процесс влияют: истребление растительного покрова и разрушение почвенного покрова при промышленном, ирригационном строительстве; деградация растительного покрова чрезмерным выпасом; уничтожение древесно-кустарниковой растительности в результате заготовки топлива; дефляция и эрозия почв при интенсивном богарном земледелии; вторичное засоление и заболачивание почв в условиях орошаемого земледелия; разрушение ландшафта в районах горных разработок за счет промышленных отходов, сброса сточных и дренажных вод.

Засоление орошаемых почв, как фактор опустынивания, имеет два аспекта: рост солончаковых пустынь в бессточных бассейнах и вторичное засоление орошаемых земель (антропогенный фактор опустынивания). Специфика опустынивания на засоленных почвах связана с их зональным и структурным разнообразием.

При экологическом нормировании опустынивания выделяется четыре уровня экологического состояния [6]:

1. Отсутствие или слабое опустынивание (зона экологической нормы) – территории без заметного изменения продуктивности, с высокой устойчивостью и стабильностью экосистем, где предпочитается нормальное хозяйственное использование земель с превентивными мерами охраны природы.

2. Умеренное опустынивание (зона экологического риска) – территории с заметным снижением продуктивности и устойчивости экосистем, с максимальной нестабильностью, ведущей, в дальнейшем, к спонтанной деградации экосистем, но нарушения экосистем здесь еще обратимы; предполагает сокращение хозяйственного использования и планирование поверхностного улучшения.

3. Сильное опустынивание (зона экологического кризиса) – территории с сильным снижением продуктивности и потерей устойчивости, труднообратимыми нарушениями экосистем, предполагающими лишь выборочное их хозяйственное использование и планирование глубокого улучшения.

4. Очень сильное опустынивание (зона экологического бедствия) включает территории с полной потерей продуктивности, практически необратимыми нарушениями экосистем, полностью исключая территорию из хозяйственного использования и требующими коренного улучшения.

Среди возможных способов борьбы с опустыниванием в связи с засоленными почвами можно выделить:

- организация долговременного мониторинга засоленных почв;
- оптимизация структуры сельскохозяйственных угодий, совершенствование структуры посевных площадей, нормированное использование пастбищ;
- проведение комплекса мелиоративных мероприятий в целях улучшения засоленных почв (особенно земель вторичного засоления);
- организация научных исследований, слежение за современной динамикой опустынивания и составление прогнозных сценариев в зависимости от принимаемых мер по борьбе с опустыниванием.

Явления опустынивания и соленакопления в почвах России проявляются на древних водноаккумулятивных равнинах Сибири, Заволжья и Прикаспия. Увеличение общей загрязненности речных вод нитратами, фосфатами, биоцидами, нефтеотходами, патогенными организмами, а также увеличение минерализации воды и снижение уровня вод приводят к образованию обширной области современного соленакопления в грунтовых водах и почвах (Каспийское и Аральское моря).

Предотвращение процесса опустынивания особенно актуально для юга Восточной Сибири. Природная специфика состоит в том, что здесь отрицательные зимние температуры и короткий вегетационный период, поэтому нельзя, как во многих других аридных регионах, получать в открытом грунте по 2-3 урожая в год. Данное обстоятельство усугубляет экономические и социальные последствия опустынивания.

Районы опустынивания в Иркутской области наблюдаются в долинах рек Ангары и Унги (Балаганская степь). Большие степные участки известны по рекам Осе, Иде, Куде и в Приольхонье.

### **Контрольные вопросы**

1. Дайте определение понятию «опустынивание».
2. Назовите факторы, влияющие на процесс опустынивания.
3. Назовите типы пустынь, охарактеризуйте их.
4. Назовите меры борьбы с опустыниванием в связи с засоленными почвами.

## 10. РЕКУЛЬТИВАЦИЯ ЗАСОЛЕННЫХ ПОЧВ

*Рекультивация земель* – комплекс инженерных и санитарно-гигиенических мероприятий, предусматривающих улучшение, восстановление свойств грунтов в целях исключения физического и химического негативного воздействия на окружающую природную среду [8].

*Объекты рекультивации* – нарушенные земли/территории, на которых нарушены, разрушены или полностью уничтожены компоненты природы: растительный и почвенный покров, грунты, подземные воды, местная гидрографическая сеть (ручьи, родники, малые реки, озера и т. д.), изменен рельеф местности. К нарушенным землям относятся также загрязненные земли, т. е. земли, на которых в компонентах природы произошло увеличение содержания веществ, вызывающее негативные токсико-экологические последствия для биоты.

Мировой опыт по рекультивации земель насчитывает всего около 75 лет. Первые работы по рекультивации земель были проведены в 1926 г. на участках, нарушенных горными работами (США, штат Индиана). В СССР рекультивацию начали проводить с 1959 г. В России с 1971 по 1980 гг. рекультивация была выполнена на площади 713 тыс. га, т. е. ежегодный объем рекультивационных работ составлял 71,3 тыс. га. Значительный рост рекультивационных работ был заложен в Государственной комплексной программе повышения плодородия почв России на 1992–1995 гг., где предусматривалось ежегодно рекультивировать до 96 тыс. га. В 1995 г. объем выполненных работ составил 160,1 тыс. га, в 1996 г. – 79,9 тыс. га, в 1997 г. – 79,2 тыс. га. В тоже время, наряду с имеющимся некоторым ростом объемов восстановительных работ по сравнению с 1980 г., рекультивация земель по-прежнему выполняется лишь на площади, составляющей от 2 % до 25 % территории нарушенных земель.

Опыт природного восстановления необходимо учитывать при подборе видового состава растений на поверхности нарушенных земель. В связи с этим рекультивация должна начинаться с изучения опыта природной эволюции нарушенных земель для поиска наиболее эффективных способов оптимизации измененных геосистем с целью превращения их в культурные ландшафты.

Выделяют следующие этапы рекультивации:

1) подготовительный этап – включает инвестиционное обоснование мероприятий по рекультивации нарушенных земель и разработку рабочей документации;

2) технический этап – реализация инженерно-технической части проекта восстановления земель;

3) биологический этап, завершающий рекультивацию и включающий озеленение, лесное строительство, биологическую очистку почв, агромелиоративные и фиторекультивационные мероприятия, направленные на восстановление процессов почвообразования.

*Подготовительный этап рекультивации.* Разработка проектной документации на стадии инвестиционного обоснования или рабочего проекта осуществляется на основе задания на проектирование рекультивации нарушенных земель. Инвестиционное обоснование – вариантное исследование проектных решений с целью выбора из них оптимального, имеющего наилучшее сочетание коммерческой, социальной и экологической эффективности. Рабочий проект – это регламентированный нормативами комплект проектной документации, подтвержденный положительным заключением экологической экспертизы.

Проектирование рекультивации начинается с анализа имеющихся проектов, при реализации которых произошли нарушения почв и растительного покрова, с анализа технологий предприятий и организаций как источников подобных нарушений. В случае недостатка информации проводятся фрагментарные, а при необходимости комплексные изыскательские работы по всей нарушенной территории.

*Технический этап рекультивации.* Технические мероприятия по рекультивации нарушенных земель подразделяются на следующие виды:

- структурно-проективные: создание новых проектных поверхностей и форм рельефа (профилирование, террасирование, вертикальная планировка), землевание, торфование, кольматаж, создание экранов, удаление ненужной древесно-кустарниковой растительности, пней, камней, разделка кочек;

- химические: известкование, гипсование, кислование, внесение сорбентов, органических и минеральных удобрений;

- водные (гидротехнические): осушение, орошение, регулирование сроков затопления поверхностными водами;
- теплотехнические: мульчирование, грядование, обогрев, применение утеплителей.

*Биологический этап рекультивации* заключается в возобновлении процесса почвообразования, повышении самоочищающей способности почвы и воспроизводстве биоценозов. Биологическим этапом заканчивается формирование культурного ландшафта на нарушенных землях. Биологическая рекультивация проводится в две стадии. На первой выращиваются пионерные (предварительные, авангардные) культуры, умеющие адаптироваться к существующим условиям и обладающие высокой восстановительной способностью. На второй переходят к целевому использованию. Земли, загрязненные тяжелыми металлами, органическими веществами или продуктами промышленной переработки, на первой стадии подвергают очистке с помощью сорбентов, растений или микроорганизмов (биодеструкторов), а затем включают в хозяйственное использование под жестким контролем со стороны санитарно-эпидемиологических служб.

Для выявления пригодности нарушенных земель для сельского и лесного хозяйства проводят наблюдение за зарастанием участков естественной растительностью, с помощью полевых или вегетационных опытов уточняют пригодность этих земель для культур, в лабораторных условиях проводят химические, минералогические и агрохимические анализы.

По пригодности для сельского хозяйства почвы и породы степной и лесостепной зон делятся на:

- вполне пригодные – содержание гумуса в почвах более 1 %, благоприятные водно-физические свойства, достаточное количество гумуса более 1 %, благоприятные водно-физические свойства, достаточное количество питательных веществ;
- пригодные – почвы содержат гумуса менее 1 %, благоприятные агрофизические свойства;
- пригодные после необходимого улучшения – почвы без содержания гумуса, бедные азотом, фосфором, калием, благоприятные агрофизические свойства;
- непригодные – почвы имеют тяжелый гранулометрический состав, содержат растворимые соли [49].

После рекультивации земли используют для: сельского хозяйства, лесоводства, рыбоводства, водохозяйственных, рекреационных и санитарно-эстетических нужд. При выборе направления использования рекультивированных земель предпочтение необходимо отдавать созданию сельскохозяйственных угодий, особенно в густонаселенных районах с благоприятными для этих целей условиями. Рекультивация для улучшения санитарно-эстетических условий проводится на объектах, представляющих угрозу здоровью населения и экологическому состоянию природной среды.

Наиболее часто для рекультивации засоленных почв используют фитомелиоранты. Рассоление почвы осуществляется с помощью растений-галофитов, путем подачи воды в корневую зону и удаления солей из верхнего слоя почвы галофитами, высеваемыми на орошаемой площади с последующим их скашиванием и выводом за пределы участка [2].

Кроме этого целесообразным является способ освоения засоленных среднесуглинистых земель, включающий высевание галофитов в чистом виде с последующей их уборкой [56]. Такой способ позволяет осваивать засоленные среднесуглинистые земли с нормальной влажностью в течение летнего периода.

В качестве галофитов можно использовать солерос европейский и/или сарсазан шишковатый. Высевание следует проводить вместе с ксероформными растениями (кокпеком, биюргуном).

Рекультивация засоленных почв происходит следующим образом: участок засевают семенами солероса европейского, или сарсазана шишковатого (или смесью семян этих трав) совместно с семенами кокпека или биюргуна (или смесью семян этих трав). Солерос европейский и сарсазан шишковатый хорошо произрастают на увлажненных почвах и при росте накапливают в своих тканях большое количество солей. При этом кокпек и биюргун произрастают неактивно. По мере высыхания почвы активность солероса европейского и сарсазана шишковатого снижается, однако повышается активность роста и усваивания солей из почвы кокпеком и биюргуном. Поэтому смесь этих растений обладает активностью роста и усваивания солей из почвы при любой ее влажности. После выращивания производят сбор травы и ее утилизацию. Расход семян при засеве составляет порядка 1 семя на 1 см<sup>2</sup> почвы.



Рекультивация засоленных почв в зонах, имеющих устойчивый снежный покров и ярко выраженное промерзание почвы, осуществляется следующим образом. На первом этапе высевают растения-галофиты. Осенью в момент уборки или раньше осуществляют прокосы на поверхности поля с укладкой скошенного растительного материала в рядки, а растительную массу со смежных прокосов вывозят за пределы поля.

Осенние осадки и весенние воды вымывают соли из оставшихся рядков, в результате чего под ними образуются участки почвы более засоленные, чем основная масса поля, а вследствие этого и позднее замерзающие и раньше оттаивающие. В результате чего весенние талые воды впитываются через эти участки и попадают в подмерзлотные слои почвы, одновременно промывая ранее оттаявшие участки и снижая концентрацию солей в подмерзлотном слое почвы смежных участков.

Выбор методов рекультивации засоленных и осолонцованных почв определяется состоянием почвенного поглощающего комплекса, генетическими особенностями, степенью и характером загрязнения почв. Наиболее перспективна в настоящее время комплексная технология восстановления свойств техногенно-засоленных и осолонцованных почв, включающая в себя внесение различных мелиорантов, фитомелиорацию, использование биопрепаратов [61].

#### **Контрольные вопросы**

1. Что такое «рекультивация»?
2. Что является объектами рекультивации земель?
3. Какие выделяют этапы рекультивации земель, в чем суть каждого из этапов?
4. Какие выделяют почвы и породы по пригодности для сельского хозяйства?
5. Укажите особенности рекультивации засоленных почв.

## 11. ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ЗАСОЛЕНИЯ ПОЧВ

В качестве исходных данных, необходимых для прогноза, используют данные по:

- литологии грунтов на глубине до 20–50 м;
- глубине и минерализации грунтовых вод;
- напорности или безнапорности грунтовых вод, сезонному колебанию уровня и химического состава;
- физическим свойствам почв и грунтов;
- скважности, гравитационной скважности (коэффициент водоотдачи), полевой влагоемкости, коэффициенту завядания, удельным и объемным весам, потенциальной высоте капиллярно-пленочных растворов;
- химическим анализам о содержании углекислого кальция, гипса, легкорастворимых солей;
- величине потенциального испарения с поверхности почвы при разной степени влажности и разной глубине залегания грунтовых вод;
- расходу воды на транспирацию культурными растениями при проектируемых величинах урожая и соответственных величинах биомассы.

На основе анализа данных, перечисленных выше, производят дифференциацию территории массива на основные почвенно-геоморфологические блоки. Выделение блоков происходит с максимально возможной однородностью (в пределах мезо- и микро-рельефа, почвенного покрова, подстилающих грунтов и т. д.). В каждом из выделенных блоков подсчитывается валовое содержание солей, содержащихся в грунтах, почве и грунтовых водах: углекислого кальция, гипса, сернокислого магния, сернокислого натрия, хлористого натрия и т. д.

Прогнозирование засоления почв предполагает оценивание ирригационных сетей. При этом учитываются такие моменты, как: сооружение магистральных, распределительных и картовых каналов-оросителей в земляном грунте, обеспечение гидроизоляции, заключение в водопроницаемые трубы и т. д.

Кроме этого необходима оценка влияния вегетационных поливов. Неправильное орошение приводит к поднятию уровня грунтовых вод и последующему вторичному засолению. Для из-

бежания данного процесса норма поливной воды не должна превышать разницу между полевой влагоемкостью и фактической влажностью перед очередным поливом.

Оценка размеров естественного оттока грунтовых вод при их разной глубине предполагает определение скорости и объема подземного оттока грунтовых вод с помощью естественного дренажа. Скорость подъема уровня грунтовых вод определяется соотношением между суммарной величиной потери воды на полях и в сети каналов и расходом грунтовых вод на естественный дренажный отток.

Для составления прогноза засоления почв необходимо учитывать не только скорость, но и время подъема грунтовых вод, опираясь на данные, связанные с орошением, атмосферными осадками, подпочвенным стоком и эвактранспирацией [31].

На заключительном этапе необходимо определить возможную минерализацию и химизм засоления грунтовых вод на разных уровнях их положения. Вероятная концентрация и состав солей грунтовых вод при их залегании на глубине 20–25, 10–15, 4–5, 2–3 м можно определить, зная запасы солей и коэффициент водоотдачи.

### **Контрольные вопросы**

1. Какие данные необходимы на начальной стадии прогнозирования?
2. Назовите основные этапы прогноза опасности засоления почв.

## 12. ЗАСОЛЕННЫЕ ПОЧВЫ ИРКУТСКОЙ ОБЛАСТИ

В Иркутской области выделяется 30 административных районов, из них сельскохозяйственных – 26, в 13 из которых отмечается локальное проявление засоленных почв или выклинивание соленых вод. Засоленные почвы занимают 89,3 тыс. га, что составляет 4,4 % площади обследованных сельскохозяйственных угодий, от площади пашни они занимают 1,5 %.

В Иркутской области засоленные почвы отмечаются в основном в южной, наиболее освоенной ее части (Усольский, Зиминский, Качугский районы). Из общей площади засоленных земель 33 % приходится на долю сельскохозяйственных угодий Усть-Ордынского Бурятского автономного округа. Засоленные почвы в Иркутской области приурочены в основном к поймам и надпойменным террасам рек Унги, Обусы, Осы, Куды, Мурина, Киренги и их притоков. Под влиянием антропогенного фактора происходит засоление участков, прилегающих к Братскому водохранилищу, в результате подъема уровня грунтовых вод. На территории слабодренированной Кудинской депрессии распашка территории привела к развитию водной и ветровой эрозии, а также к прогрессивному развитию процессов накопления солей в почве и грунтовых водах. Засоление земель в интервале глубин 0–1 м, сопровождающее орошение, выявлено также в Баяндаевском, Иркутском, Братском, Качугском, Усть-Илимском и Эхирит-Булагатском районах на площади около 1300 га. Отмечена тенденция расширения площади засоленных земель в среднем на 1–1,4 % в год [62]. Кроме того, засоленные почвы встречаются на о. Ольхон и в Приольхонье вокруг соленых Тажеранских озер [72].

Почвы сульфатного типа засоления доминируют среди дерново-карбонатных и луговых. Среди них особо выделяется группа засоленных почв, формирующихся на гажевых (гипсоносных) отложениях без участия соды [72].

Соленаккумуляция в почвах области связано с несколькими причинами: наличие соленосных отложений гипса – ангидритов и каменной соли; выветривание пород, содержащих соли, гипс, доломиты и известняки; подпитка минерализованными грунтовыми

и подземными водами; наличие длительномерзлотных грунтов, препятствующих вымыванию солей из профиля почв; засушливость климата; расчлененность рельефа.

Существует несколько гипотез по генезису засоления почв Иркутской области. Они касаются происхождения водорастворимых солей, «гажи», процессов соленакопления, наличия солевых аккумуляций, влияния криогенеза на накопление и миграцию солей (табл. 26).

Таблица 26

Основные взгляды на происхождение солей в почвах Иркутской области

<i>Исследователь, год</i>	<i>Основные положения</i>
Б. В. Надеждин, 1961	Содержание водорастворимых солей в поверхностных слоях коренных осадочных пород недостаточно для формирования засоленной почвы в плакорных условиях; соли образуются в результате выветривания коренных пород и накапливаются в отрицательных формах рельефа; удержанию солей в почвах способствует наличие многолетней мерзлоты и непромывной, а иногда выпотной водный режим.
Ш. Д. Хисматуллин, 1964, 1979	Широкому проявлению процессов соленакопления в почвах речных долин в ареале распространения отложений верхнего кембрия способствуют соленосность горных пород; значительная минерализация грунтовых и почвенно-грунтовых вод; расчлененность рельефа, локализирующая явления соленакопления в долинах рек и падей; засушливость климата. Формирование гажевых толщ происходило в полупроточных озерных котловинах, существовавших на месте современных первых надпойменных террас в результате осаждения гипса из концентрированных растворов. Источником гипса гаж служили широко распространенные на повышенных элементах рельефа гипсоносные породы кембрия.
И. В. Никола-	Присутствие солевых аккумуляций в по-

ев, 1949	<p>родах;  наличие дислокаций в геологической структуре;  своеобразии гидрогеологических условий, допускающее перенос солей из глубин к поверхности;  значительное распространение сильноминерализованных подземных вод.</p>
А. А. Дзюба с соавторами, 1997	<p>Засоление почв Приольхонья происходит с участием минерализованных подземных вод.</p>

Исследователь, год	Основные положения
Власов и др., 1962	Периодически повторяющиеся процессы замерзания и оттаивания растворов, пропитывающих деятельный слой почв и пород, приводят к дифференциации веществ, входящих в их состав
В. С. Преображенский, 1936	Образование гжи происходит в результате аккумуляции солей из грунтовых вод.
Б. А. Клоповский, 1948	Образование гжи происходит в результате взаимодействия кальция коры выветривания с сульфатом натрия, поступающим с делювиальными водами.
А. Н. Розанов, 1954 и Н. Г. Минашина, 1956	Формирование гжи элювиальным (почвенным) путем.
В. В. Акимцев, 1953 и Б. В. Надеждин, 1961	Образование гжи при выветривании и размывании гипсоносных пород.
Карнаухов, 1980	Связь криогенной аккумуляция $\text{CaCO}_3$ с надмерзлотными грунтовыми водами.

На территории юга Иркутской области представлены почвы от подзолистых и дерново-подзолистых до черноземных, каштановых и засоленных (см. рис. 7) [15].

Ниже приводятся характеристики почв, наиболее часто подверженных процессам засоления.

*Черноземы* располагаются участками, чередующимися с серыми лесными и лугово-черноземными почвами, занимая около 10 % территории. Они широко распространены на верхних террасах рек и на пологих склонах коренных берегов [33, 50]. Среди черноземов выделяются выщелоченные, обыкновенные и южные солонцеватые [50]. Почвообразующими породами служат преимущественно лессовидные суглинки различного происхождения.

Черноземы выщелоченные являются преобладающим подтипом. В большинстве случаев они не засолены.

В карбонатных черноземах растворимые соли чаще всего отсутствуют, хотя встречаются и засоленные почвы в долинах

рек Анги и Мурина. По данным водной вытяжки, величина плотного остатка варьирует от 0,25 до 0,78 %, засоление сульфатно-натриево-кальциевое.

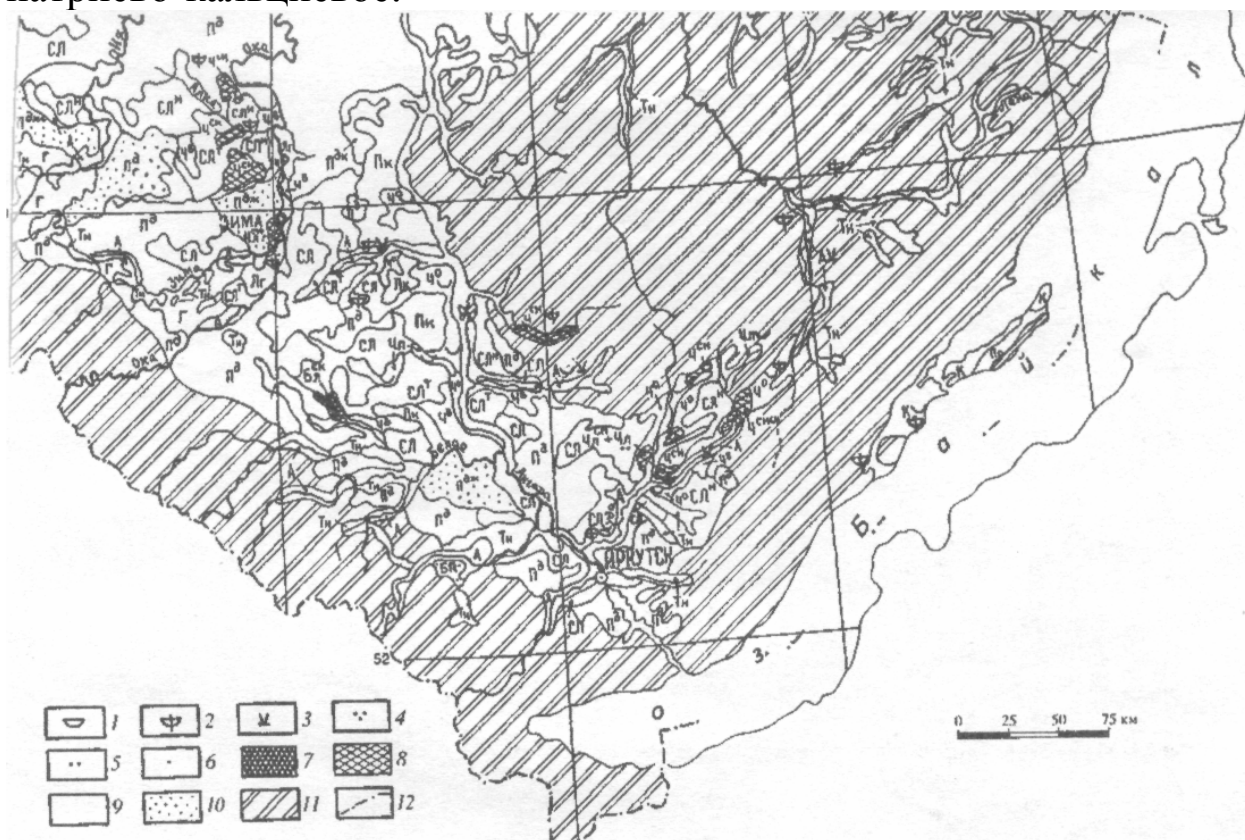


Рис. 7. Почвенно-солевая карта юга Иркутской области

Почвы:  $P^D$  - дерново-подзолистые (без разделения);  $P^{DГГ}$  - дерново-подзолистые глубокоглеевые и глееватые (в том числе поверхностно-глееватые);  $Pг^D$  - дерново-подзолистые глеевые;  $P^{DK}$  - дерново-подзолистые и подзолистые остаточно карбонатные;  $P^{Dж}$  - дерново-подзолистые иллювиально-железистые;  $P^K$  - перегнойно-карбонатные и дерново-карбонатные (включая выщелоченные и оподзоленные); Г - таежно-глеевые (без разделения);  $Br^D$  - буро-таежные (дерново-буроземные, подбуры охристые и другие дерново-таежные почвы без разделения); Сл - серые лесные;  $Сл^H$  - серые лесные неоподзоленные;  $Сл^T$  - темно-серые лесные;  $Сл^Г$  - серые лесные глееватые и глеевые;  $Ч^B$  - черноземы выщелоченные;  $Ч^O$  - черноземы обыкновенные;  $Ч^{CH}$  - черноземы солонцеватые; Чл - лугово-черноземные;  $Чл^{CH}$  - лугово-черноземные солонцеватые;  $Чл^{CHCH}$  - лугово-черноземные солонцеватые солончаковатые; К - каштановые; Лг - луговые (без разделения);  $Бл^{CK}$  - лугово-болотные солончаковые; Тн - торфяно-болотные низинные; А - аллювиальные (кислые, нейтральные, насыщенные; без разделения). Локальные проявления почв, засоленных в слое 0-100 см, обозначаются внемасштабным знаком: 1 - солонцы и солонцеватые почвы (без разделения); 2 - солончаки и засоленные почвы (без разделения); 3



– аллювиальные засоленные почвы. Процент участия в контуре сопутствующей почвы: 4 – 50–25 %; 5 – 25–10 %; 6 – 10–1 %. Процент участия в контуре почв, засоленных в слое 0–100 см: 7, 8 – > 75. Глубина залегания верхней границы солевого горизонта: 7 – поверхностно-засоленные почвы (засолены в слое 0–30 см); 8 – среднепрофильно-засоленные почвы (засолены в слое 30–100 см); 9 – незасоленные почвы.

Прочие обозначения: 10 – песчаные почвообразующие и подстилающие породы; 11 – горные территории.

Границы: 12 – административные

Солонцеватые черноземы встречаются и в восточной Приангарской части Аларского района (Усть-Ордынский автономный округ). Остаточное засоление унаследовано ими от гидроморфной стадии развития. Почвы имеют морфологические признаки солонцеватости – уплотненность, столбчатую структуру, но при этом обменный кальций составляет около 80 % суммы обменных оснований, а обменного натрия в солонцеватых черноземах только 1,5 %.

На территории бассейна р. Унги в понижениях встречаются черноземы со значительным скоплением гипса в нижних горизонтах и появлением солонцеватости, что обусловило небольшое содержание легкорастворимых солей в профиле. Количество солей возрастает с глубины 100 см (величина плотного остатка превышает 1 %). Засоление связано с наличием сульфатов натрия и магния, а также гипса.

В южном черноземе количество легкорастворимых солей очень низкое. Сухой остаток не превышает 0,15 %. Тип засоления хлоридно-сульфатно-гидрокарбонатный.

*Лугово-черноземные* почвы, по мнению И. В. Николаева и Б. В. Надеждина [50, 51], сформировались в результате эволюции болотных почв. В настоящее время они находятся в условиях повышенного увлажнения. Засоленные лугово-черноземные почвы занимают 20 % площади всех лугово-черноземных почв области. Солонцеватые разновидности характеризуются слабой уплотненностью гумусового горизонта и наличием на глубине 20–40 см слабовыраженной столбчатой структуры. Редко встречающиеся осолоделые разновидности имеют в нижней части горизонта А светлую окраску, обусловленную присутствием кремнеземистой присыпки. Солонцовый горизонт уплотнен, имеет столбчато-призматическую структуру, рН колеблется от нейтрального до

щелочного. Содержание обменного натрия – не более 1 % в верхних горизонтах и до 9–10 % в солонцовом горизонте.

Гипсоносные почвы формируются на четвертичных суглинках. Величина плотного остатка до 2 %, при этом токсичные соли не превышают 0,8 %. Реакция почвенного раствора слабощелочная и щелочная. Эти почвы целесообразно использовать под кормовые и лугово-пастбищные севообороты, так как при распашке у них быстро разрушается структура. Они имеют большие запасы питательных веществ, но в труднодоступной для растений форме, поэтому требуют внесения удобрений и навоза [72].

*Каштановые* почвы занимают в Иркутской области небольшой ареал в Приольхонье и на о. Ольхон. Здесь кроме приозерных солончаков на склонах встречаются каштановые солонцеватые, солончаковые и лугово-каштановые солончаковые почвы. Засоление часто возрастает с глубиной. Встречается сульфатное, хлоридно-сульфатное, а также гидрокарбонатно-хлоридное засоление, из катионов преобладают натрий и магний.

*Луговые* засоленные почвы встречаются обычно в комплексе с лугово-черноземными, болотными почвами и солончаками на суглинистых отложениях в степных и лесостепных районах и реже в таежных. В первом случае засолению способствуют минерализованные почвенно-грунтовые воды и испарительная концентрация в условиях сухого климата. В таежных районах засоление почв связано в основном с соленосностью пород и выклиниванием минерализованных вод.

Луговые засоленные почвы распространены в долинах крупных рек: Куды, Манзурки, Анги, Унги, Осы, Иды, Киренги, Мурина, Белой, Ии [50, 51]. Здесь встречаются как почвы на галечке, так и почвы на негипсоносных аллювиальных отложениях, приуроченные к первым надпойменным террасам и озерным котловинам. Так, исследование луговых почв [51] на надпойменной террасе р. Ии (Тулунский р-н) показало хлоридно-сульфатное засоление, которое объясняется выходами на поверхность подземных минерализованных вод. Луговые глубокопромерзающие засоленные и солонцеватые почвы были встречены также в долине р. Киренги, в северо-восточной части Лено-Ангарского плато в таежной зоне на первой надпойменной террасе вблизи дер. Тарасово и дер. Карам. Здесь наблюдаются выходы кембрийских от-

ложений, состоящих, главным образом, из известняков и доломитов с прослоями ангидрита, гипса и каменной соли.

Исследование солевого режима луговых почв в долине р. Куды (в пределах Южного Приангарья) показало изменение степени и химизма засоления в течение года [67]. Весной и в начале лета наблюдается наибольшая концентрация солей 0,5–1,0 % в верхней части профиля луговых почв, химизм засоления сульфатный и хлоридно-сульфатный. В катионном составе преобладает кальций при высоком содержании магния и натрия. По мере протаивания сезонной мерзлоты соли мигрируют вслед за ее холодным экраном, но в засушливые весны концентрируются в поверхностных горизонтах. В пределах мерзлого слоя содержание солей уменьшается, а в их составе преобладают сульфаты и натрий. Под слоем сезонной мерзлоты наблюдается второй максимум концентрации солей, несколько меньший, чем первый. Нарушение монолитности слоя сезонной мерзлоты в естественных условиях наблюдается обычно в августе. В конце лета – начале осени происходит вымывание солей из верхних горизонтов и значительное уменьшение их общего содержания в почвенном профиле. Солевой профиль выравнивается, тип засоления по всему профилю становится хлоридно-сульфатным или содово-хлоридно-сульфатным. С наступлением отрицательных температур и промерзанием почв наблюдается новая перестройка солевого профиля. В результате температурного градиента происходит подтягивание солей к фронту промерзания из нижележащих талых слоев почв и грунтовых вод и их накопление в верхних горизонтах почв [67].

Засоленные *болотные* и *лугово-болотные* почвы встречаются обычно в комплексе, различаясь лишь степенью увлажненности. Выделяют болотные и болотно-солончаковые почвы. Засоленными разновидностями занято около 15 % площади всех болотных почв. Встречаются болотные низинные торфяные, иловато-глеевые и болотные перегнойно-торфяно-глеевые почвы. Наличие мерзлоты служит основанием для отнесения болотных почв к фации мерзлотных [40]. Засоленные болотные почвы встречаются в Аларском районе и в пойме р. Куды (среднее течение). Они содержат легкорастворимые сернокислые, хлористые, а иногда углекислые соли.

Лугово-болотные почвы распространены в основном в лесостепной части в долинах рек, днищах падей в условиях постоянного увлажнения грунтовыми водами. Они могут содержать в своем профиле карбонаты и водорастворимые соли. Засоление слабое, бикарбонатно-сульфатное. Большая часть этих почв не засолены [38].

*Аллювиальные* почвы приурочены к притеррасным участкам пойм рек, часто занимают понижения центральной и прирусловой поймы. И. В. Николаев [51] указывал на наличие аллювиальных засоленных почв даже на 59° с. ш. в бассейне р. Нижней Тунгуски (устье р. Непы) и вдоль р. Ика в местах выхода соляных ключей. Почвы чаще не засолены или слабо засолены. Плотный остаток – 0,09–0,19 %. В верхней части профиля пойменных почв Приольхонья (р. Анга) преобладают гидрокарбонаты кальция и натрия, книзу возрастает доля хлора и сульфатов, преобладающее засоление сульфатно-кальциево-магниевое. В засоленных пойменных почвах, распространенных в поймах рек Унги, Осы, Иды, Мурина и др., засоление сульфатное [71].

*Солончаки*, так же как и другие засоленные почвы, имеют ограниченное распространение в степи и лесостепи Иркутской области (0,01 % ее территории). Распространены преимущественно в лесостепной и остепненной частях области. По долинам рек эти почвы могут выходить за пределы лесостепной зоны.

В Лено-Ангарской лесостепи Б. В. Надеждин [50] выделяет аллохтонные и гидроморфные солончаки. Аллохтонные (делювиальные) солончаки питаются поверхностными водами, которые обогащаются солями при передвижении по склонам, сложенным гипсоносными породами. Водоупором при этом является многолетняя мерзлота, способствующая засолению. Аллохтонные солончаки, сформированные на песчано-глинистых отложениях, не имеют четко выраженного гумусового горизонта. Начиная с поверхности залегает буроватая суглинистая уплотненная масса, в которой на глубине 30–50 см появляются сизоватые пятна оглеения.

Другие авторы [35, 71] исключают наличие аллохтонных солончаков и выделяют только гидроморфные солончаки, отмечая, что все солончаки приурочены к понижениям с уровнем грунтовых вод до 3–4 м, что, впрочем, не исключает возможности влияния на их засоление и делювиальных вод. Солончаки делятся на

подтипы: соровые, луговые, болотные, что отражает особенности их водного питания [35].

В зависимости от характера почвообразующих пород Ш. Д. Хисматуллин [70] делит гидроморфные солончаки на два рода: 1) на песчано-глинистых отложениях и 2) на гипсовых, «гажевых» отложениях (литогенные).

Солончаки на территории области различаются как по степени засоления, так и по качественному составу солей. Степень засоленности почв от верховьев рек к низовью постепенно нарастает. В этом же направлении меняется и состав солей: от гидрокарбонатного к сульфатному и хлоридно-сульфатному. Сульфатно-хлоридное засоление наблюдается, когда близко к поверхности подходят солевые воды нижнего кембрия (пос. Камский Нукутского района).

По составу солей выделяются солончаки сульфатные, хлоридно-сульфатные, сульфатно-хлоридные и хлоридные, при этом господствуют сульфатные солончаки. Среди катионов чаще преобладает кальций, хотя встречается натриевое, магниевое и смешанное засоление.

Количественное распределение солей по профилю солончаков находится в тесной зависимости от характера почвообразующих пород. В почвах, формирующихся на аллювии, максимум солей отмечается в поверхностном 10–20-сантиметровом слое, вглубь содержание солей резко снижается. На гаже отмечается другая картина. Максимум солей может наблюдаться как в верхнем слое почв (при высокой степени соленакопления), так и в средних частях почвенного профиля (при средней и низкой степенях соленакопления). Здесь доминирует сульфатный тип засоления, что обусловлено геохимическими особенностями геологического строения юга Иркутского амфитеатра [72].

Развитию процессов соленакопления в солончаках Иркутской области способствуют соленосность пород; выходы минерализованных грунтовых и подземных вод; расчлененность рельефа; испарительная концентрация солей [33]. Часть солончаков имеют реликтовое происхождение. Они формировались из-за спуска и испарения мелких позднеплейстоценовых озер в процессе протаивания многолетней мерзлоты, вызванного потепле-

нием климата в начале голоцена. Этот процесс привел к мощной концентрации солей и гипса на месте бывших озерных ванн [22].

*Солонцы* имеют очень незначительное распространение в Иркутской области. Занимаемая ими площадь составляет всего лишь 1,4 тыс. га. Солонцы приурочены к древним террасам рек и сухим ложбинам, чаще всего встречаются в комплексе с карбонатными черноземами и лугово-черноземными почвами. Материнскими породами служат делювиальные отложения четвертичного возраста. Небольшие площади солонцы занимают и в Приольхонье.

Солонцы, по мнению И. В. Николаева [51], образуются в результате рассоления луговых солончаков. Б. В. Надеждиным [50] выделены подтипы степных и луговых солонцов. Он считает, что в формировании солонцов большую роль играют надмерзлотная верховодка и присутствие магния в этих почвах.

Солонцы образуются на тяжелых по составу породах с максимальным (до 2,5–3,0 %) содержанием солей, а на облегченных породах образуются солонцы с более отмытым профилем, плотный остаток которых составляет 0,5–0,8 % [35].

Солонцеватость почв связана не только с обменным натрием, но и с магнием [50]. Процент обменного натрия в солонцах Черемховской равнины достигает 14–17 %, магния – 25–40 %.

Наличие *солонцев* среди почв Иркутской области отмечали Б. В. Надеждин [50] и В. А. Кузьмин [35], в то время как И. В. Николаев [51], В. П. Мартынов [42] и О. В. Макеев [40] солонцы как самостоятельный тип почв не выделяли, но указывали на наличие признаков осолодения во многих почвах [35].

Солонцы встречаются небольшими пятнами в пределах Иркутско-Черемховской равнины на плоских водоразделах, пологих склонах и древних террасах на делювиальных и аллювиальных отложениях под светлохвойными и мелколиственными лесами с хорошо развитым травяным покровом. В Аларском районе луговые осолоделые солонцы встречаются небольшими пятнами в комплексе с солонцеватыми черноземами или лугово-черноземными почвами.

В Иркутской области отмечено локальное проявление остаточного засоления в лесных подзолистых, дерново-подзолистых и дерново-карбонатных почвах [15].

### **Контрольные вопросы**

1. Какие засоленные почвы встречаются в Иркутской области?
2. Чем обусловлено формирование засоленных почв?
3. Какие соли наиболее часто встречаются в почвах?
4. Кто изучал засоленные почвы Иркутской области?

## ПРАКТИЧЕСКИЕ РАБОТЫ

### Задание 1

Используя данные табл. 27, выполните следующие задания:

а) рассчитайте количество ионов  $\text{CO}_3^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  +  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$  +  $\text{K}^+$  ( мг-экв/100 г почвы и %);

б) рассчитайте сумму солей, определите химизм засоления почв;

в) вычислите сумму токсичных солей (в %) по формуле:

$$\Sigma_{\text{токс}} = \text{Na}^+ + \text{Mg}^+ / 15;$$

г) результаты оформите в таблицу (Excel), постройте графики содержания легкорастворимых солей (рис. 8). По графикам определите, в каких генетических горизонтах накапливается наибольшее содержание легкорастворимых солей. Какой процесс засоления преобладает (рассоление или осолонцевание).

Таблица 27

Количество мл раствора, пошедшее на титрование  
аликвоты  
водной вытяжки

Глубина, см	$\text{CO}_3^{2-}$	$\text{HCO}_3^-$	$\text{Cl}^-$	$\text{SO}_4^{2-}$	$\text{Ca}^{2+}$ + $\text{Mg}^{2+}$	$\text{Ca}^{2+}$
Вариант 1						
0-26	0,10	1,35	10,35	10,45	1,20	1,10
26-50	0,35	9,80	3,00	22,00	2,00	1,60
> 50	0,30	5,30	3,40	16,00	12,00	8,10
Вариант 2						
0-27	0,50	4,75	2,55	18,75	3,50	1,20
27-55	0,40	3,00	0,70	21,15	0,85	0,75
55-77	0,20	3,00	0,50	20,45	1,10	0,50
Вариант 3						
1-22	-	1,45	0,85	23,50	15,20	4,25
22-33	-	0,90	0,65	20,25	6,25	2,60
33-60	-	1,20	0,55	20,75	8,95	5,00
Вариант 4						
1-10	0,80	15,35	12,50	13,65	2,50	1,50
10-60	0,45	3,00	3,45	11,40	2,90	1,90
> 60	0,10	5,20	0,70	24,00	21,75	1,80
Вариант 5						
3-5	1,65	6,05	0,80	17,05	1,00	0,50
5-29	-	2,25	0,80	18,00	1,15	0,50
29-60	0,25	2,75	0,95	10,30	2,20	1,50



Образец представления результатов водной вытяжки (таблица и рисунок):

Глубина, см	CO <sub>3</sub> <sup>2-</sup>	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Cl <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup> + K <sup>+</sup>	Сумма солей, %
	мг·экв/100 г почвы							
<b>Солончак лугово-болотный</b>								
0–1	3,20	9,64	12,44	18,20	0,10	1,40	18,20	63,18
1–29	4,80	11,48	16,08	22,08	0,50	2,00	22,08	79,02
29–41	0,40	2,60	3,44	9,51	0,45	1,45	9,51	27,36
41–50	0,48	3,72	5,24	6,14	0,6	1,30	6,14	23,62

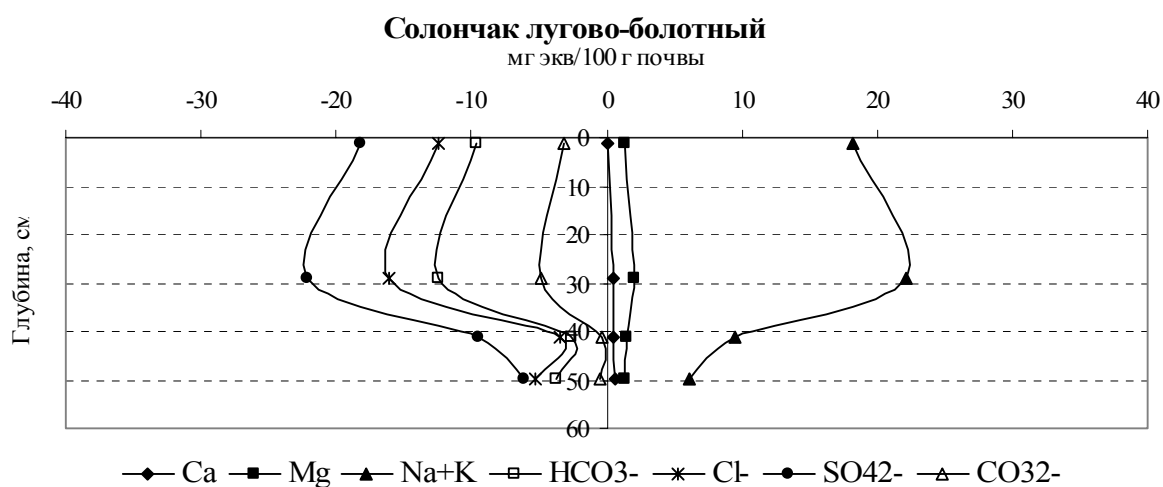


Рис. 8. График распределения легкорастворимых солей по почвенному профилю

Химизм засоления – гидрокарбонатно-натриевый.

Сумма токсичных солей – 0,50–1,61. Засоление щелочное, степень засоления – сильное и очень сильное.

Наибольшее содержание легкорастворимых солей на глубине 29 см.

Преобладает процесс осолонцевания.

## Задание 2

Рассчитайте критическую глубину грунтовых вод, если наибольшая высота капиллярного подъема – 30 см, а глубина распространения основной массы корней культурных растений – 10–40 см, по формуле:

$$h_{кр} = h_{max} + a,$$

где  $h_{max}$  – наибольшая высота капиллярного подъема в исследуемых почвах;  $a$  – глубина распространения основной массы корней сельскохозяйственных растений.

### Задание 3

Оцените вероятную критическую глубину залегания соленых вод для городов по таблице, используя формулу:

$$L = 170 + 8t \pm 15,$$

где  $L$  – критическая глубина, см;  $t$  – среднегодовая температура, °С.

Город	Среднегодовая температура °С	Город	Среднегодовая температура °С
Алма-Ата	+9,0	Москва	+5,0
Архангельск	+1,1	Омск	+1,0
Бодайбо	-5,1	Санкт-Петербург	+4,7
Витим	-5,2	Сочи	+14,2
Владивосток	+4,4	Томск	+0,1
Ербогачен	-6,7	Улан-Удэ	-1,1
Иркутск	-0,4	Хатанга	-12,9
Киренск	-4,0	Чита	-2,2
Красноярск	+0,9	Якутск	-10,0

### Задание 4

Рассчитайте объем промывной воды ( $\text{м}^3/\text{га}$ ) по формуле:

$$Y = n_1 \cdot n_2 \cdot n_3 \cdot 400 \cdot x \pm 100,$$

где  $Y$  – объем промывной воды,  $\text{м}^3/\text{га}$ ;  $x$  – средний процент легкорастворимых солей в 2-метровой толще почвы;  $n_1$  – коэффициент, зависящий от механического состава: для песка = 0,5, для суглинка = 1,0, для глины = 2,0;  $n_2$  – коэффициент, зависящий от глубины грунтовой воды: при 1,5–2 м = 3, при 2–5 м = 1,5, при 7–10 м = 1,0;  $n_3$  – коэффициент, зависящий от минерализации грунтовых вод: при слабой = 1,0, при средней = 2,0, при рассолах = 3,0. При напорных грунтовых водах добавляется индекс  $n_4$  (от 1 до 2).

Исходные данные:

*Вариант 1:* песчаная почва; процент легкорастворимых солей – 0,5 %; уровень грунтовых вод – 5 м; минерализация грунтовых вод – 1 г/л.

*Вариант 2:* суглинистая почва; процент легкорастворимых солей – 0,5 %; уровень грунтовых вод – 5 м; минерализация грунтовых вод – 10 г/л

*Вариант 3:* глинистая почва; процент легкорастворимых солей – 3 %; уровень грунтовых вод – 5 м; минерализация грунтовых вод – 100 г/л.

### Задание 5

Вычислите дозу гипса для нейтрализации избыточной щелочности по формуле:

$$G = 0,086(S - 1) \cdot y \cdot h;$$

где  $G$  – доза гипса, т/га; 0,086 – коэффициент перевода моль в массу вещества;  $S$  – содержание  $\text{CO}_3^{2-} + \text{HCO}_3^-$  в водной вытяжке, моль/100 г почвы;  $y$  – плотность почвы, т/м<sup>3</sup>;  $h$  – расчетный слой, м.

Например:  $S$  – 10,5 моль/100 г почвы;  $y$  – 2,5 т/м<sup>3</sup>;  $h$  – 0,5 м.

### Задание 6

Подготовьте к защите реферат по выбранной теме:

1. Грунтовые воды как источник поступления солей в почву.
2. Роль атмосферных осадков в засолении почв.
3. Анализ водной вытяжки как метод определения солей в почвах.
4. Использование солончаков в сельском хозяйстве.
5. Использование солонцовых почв в сельском хозяйстве.
6. Вторичное засоление земель. Причины, стадии, распространение в мире.
7. Основные мероприятия по борьбе с вторичным засолением.
8. Вторичное засоление как следствие неэффективного орошения.
9. Мелиорация засоленных почв. Основные приемы и методы.
10. Промывка почв как основной метод рассоления почв.
11. Особенности мелиорации почв содового засоления.
12. Особенности мелиорации почв сульфидного засоления.
13. Особенности мелиорации почв карбонатного засоления.
14. Особенности мелиорации почв гипсового засоления.
15. Особенности мелиорации солонцовых почв.
16. Основные теории происхождения засоленных почв в Иркутской области.
17. Характеристика и распространение засоленных почв в Иркутской области.

## ВОПРОСЫ ДЛЯ САМОКОНТРОЛЯ

1. Засоленные почвы Иркутской области.
2. Химическая мелиорация.
3. Сельскохозяйственное использование солонцов.
4. Способы удаления солей.
5. Принципы составления карты засоления почв.
6. Химический состав солонцов и способы их мелиорации.
7. Автоморфные и гидроморфные солончаки и их мелиорация.
8. Мелиорация почв содового засоления.
9. Солевой баланс почв.
10. Щелочность почв.
11. Водные и механические способы удаления солей из засоленных почв.
12. Промывные нормы при освоении засоленных почв.
13. Биологическая мелиорация солонцов.
14. Влияние мелиорантов на засоление почв.
15. Минеральные подземные воды.
16. Почвенные и гидрогеологические условия Иркутской области.
17. Естественные и антропогенные факторы засоления почв.
18. Первичное и вторичное засоление почв.
19. Химические способы удаления солей.
20. Основные соли, участвующие в засолении.
21. Засоление почв при орошении.
22. Классификация засоленных почв, сравнение новой и старой классификации.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Аверьянов С. Ф.* Повышение продуктивности сельскохозяйственных земель путем орошения и осушения / С. Ф. Аверьянов, Е. Н. Минаева, В. А. Тимошкина // Природные ресурсы Советского Союза, их использование и воспроизводство. – М. : Изд-во АН СССР, 1963.
2. Авторское свидетельство СССР N 1611242, кл. А 01 В 79/00.
3. *Антипов-Каратаев И. Н.* Мелиорация солонцов / И. Н. Антипов-Каратаев. – М. : Изд-во АН СССР, 1953. – 559 с.
4. *Базилевич Н. И.* Опыт классификации почв по содержанию токсичных солей и ионов / Н. И. Базилевич, Е. И. Панкова // Бюл. Почв. ин-та им. В. В. Докучаева. – 1972. – Вып. 4. – С. 36–40.
5. *Бобков В. М.* Об устойчивости почв и грунтов к содовому засолению // Почвоведение. – 1969. – № 8. – С. 65–73.
6. *Виноградов Б.* Опустынивание – проблема степной зоны России [Электронный ресурс] / Б. Виноградов. – Режим доступа: <http://www.biodiversity.ru/programs/steppe/bulletin/step-34/vinograd.html>.
7. *Волобуев В. Р.* Промывка засоленных почв / В. Р. Волобуев. – Баку : Азернешр, 1948. – 147 с.
8. *Ганеев И. Г.* Ремедиация и рекультивация техногенно деградированных земель / И. Г. Ганеев, А. А. Кулагин // Вестн. ОГУ. – 2009. – № 6. – С. 554–557.
9. *Гедройц К. К.* Избранные сочинения / К. К. Гедройц. – М. : Сельхозгиз, 1955. – Т. 1. – 559 с.; Т. 2. – 616 с.
10. *Глазовская М. А.* Принципы классификации почв по их устойчивости к химическому загрязнению // Миграция загрязняющих веществ в почвах и сопредельных средах. – Л. : Гидрометеиздат, 1980. – С. 85–99.
11. *Глазовский Н. Ф.* Конвенция ООН по борьбе с опустыниванием и засухой // Изв. РАН. Сер. геогр. – 1995. – № 2. – С. 127–130.
12. *Горбунова Р. Г.* Использование потенциометрических и кондуктометрических методов при почвенных исследованиях в Таджикистане : автореф. дис. ... канд. с.-хоз. наук / Р. Г. Горбунова. – М., 1976. – 20 с.
13. Распространение и химизм соленых озер Прибайкалья и Забайкалья / А. А. Дзюба, А. К. Тулохонов, Т. И. Абидуева, П. И. Гребнева // География и природные ресурсы. – 1997. – № 4. – С. 65.
14. *Зайдельман Ф. Р.* Мелиорация почв / Ф. Р. Зайдельман. – М. : Изд-во МГУ, 1996. – 384 с.
15. Засоленные почвы России / Л. Л. Шишов [и др.]. – М. : Академкнига, 2006. – 854 с.
16. *Зимовец Б. А.* Определение степени и типа засоления почв по почвенным растворам и водным вытяжкам в сухостепной зоне Нижнего Поволжья / Б. А. Зимовец, З. Н. Кауричева // Орошаемые почвы и методы их изучения. – Ташкент, 1976. – С. 72–83.

17. *Иванов И. И.* Солевой баланс почвы // Мелиоративная энциклопедия. – М. : Росинформагротех, 2004. – Т. 3. – С. 196.
18. *Казакова Л. А.* Комплексная мелиорация орошаемых солонцовых и засоленных почв Нижнего Поволжья : дис. ... д-ра биол. наук / Л. А. Казакова. – Волгоград, 2007. – 319 с.
19. *Карнаухов Н. И.* О биогенном процессе содонакопления в заболоченных почвах юга Средней Сибири // Изв. Биол.-геогр. науч.-исследоват. ин-та при ИГУ. – Иркутск : Вост.-Сиб. кн. изд-во, 1969. – С. 3–22.
20. *Карнаухов Н. И.* Мелиорация почв / Н. И. Карнаухов. – Иркутск : Изд-во ИГУ, 1977. – 89 с.
21. *Карнаухов Н. И.* Мелиорация солонцов / Н. И. Карнаухов. – Иркутск : Изд-во ИГУ, 1980. – 95 с.
22. *Карнаухов Н. И.* Земельные мелиорации в Иркутской области / Н. И. Карнаухов, К. В. Морозова // Почвы Иркутской области, их использование и мелиорация. – Иркутск, 1979. – С. 113–126.
23. *Керзум П. А.* Система бонитировки почв Таджикской ССР // Бонитировка почв Таджикистана. – Душанбе, 1974. – С. 5–108.
24. *Кирейчева Л. В.* Промывка почв // Мелиоративная энциклопедия. – М. : Росинформагротех, 2004. – Т. 3. – С. 57.
25. Классификация и диагностика почв СССР. – М. : Наука, 1977. – 224 с.
26. Классификация и диагностика почв России. – Смоленск : Ойкумена, 2004. – 342 с.
27. *Ковда В. А.* Солончаки и солонцы / В. А. Ковда. – М. ; Л. : Изд-во АН СССР, 1937. – 243 с.
28. *Ковда В. А.* Происхождение и режим засоленных почв / В. А. Ковда – М. ; Л. : Изд-во АН СССР, 1946. – Т. 1. – 568 с.; 1947. – Т. 2. – 375 с.
29. *Ковда В. А.* Почвы аридной зоны // Почвы аридной зоны как объект орошения. – М., 1968. – С. 5–30.
30. *Ковда В. А.* Основы учения о почвах / В. А. Ковда. – М. : Наука, 1973. – Кн. 1. – 447 с.; Кн. 2. – 467 с.
31. *Ковда В. А.* Проблемы опустынивания и засоления почв аридных регионов мира / В. А. Ковда. – М. : Наука, 2008. – 415 с.
32. *Козлов В. Е.* Меры предупреждения засоления орошаемых земель в Бурятской АССР / В. Е. Козлов, И. А. Ишигенов. – Улан-Удэ : Бурят. кн. изд-во, 1960. – 39 с.
33. *Корзун М. А.* Почвы Иркутской области / М. А. Корзун, В. А. Кузьмин // Почвы Иркутской области, их использование и мелиорации. – Иркутск, 1979. – С. 17–36.
34. Корреляция таксономических выделов Классификации и диагностики почв СССР (1977) с таксономическими выделами новой классификации почв России (2004). [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.soils.narod.ru/appendices/korr/korr1977.html>.

35. *Кузьмин В. А.* Почвы предбайкальского участка БАМ // Почвенно-географические и ландшафтно-геохимические исследования в зоне БАМ. – Новосибирск : Наука, 1980. – С. 11–98.
36. *Кузьмин В. А.* Почвы Предбайкалья и Северного Забайкалья / В. А. Кузьмин. – Новосибирск : Наука, 1988. – 174 с.
37. *Лобова Е. В.* Площади почв Мира по материкам / Е. В. Лобова, А. В. Хабаров. – М. : Знание, 1980. – 44 с.
38. *Лопатовская О. Г.* Почвенные эколого-мелиоративные комплексы Черемховского Приангарья / О. Г. Лопатовская, В. Н. Михайличенко. – Новосибирск : Наука, 2002. – 94 с.
39. *Любимова И. Н.* Солончак // Мелиоративная энциклопедия. – М. : Росинформагротех, 2004. – Т. 3. – С. 200.
40. *Макеев О. В.* Дерновые таежные почвы юга Средней Сибири: генезис, свойства и пути рационального использования / О. В. Макеев. – Улан-Удэ : Бурят. кн. изд-во, 1959. – 347 с.
41. *Максименко В. П.* Химические мелиоранты / В. П. Максименко, Т. Л. Волочкова // Мелиоративная энциклопедия. – М. : Росинформагротех, 2004. – Т. 3. – С. 363.
42. *Мартынов В. П.* О солонцеватости и осолоделости некоторых почв Иркутской области // Изв. Сиб. отд-ния АН СССР. – 1958. – № 2. – С. 129–133.
43. *Мартынов В. П.* Почвы горного Прибайкалья / В. П. Мартынов. – Улан-Удэ, 1965. – 165 с.
44. Методические рекомендации по мелиорации солонцов и учету засоленных почв / сост. Е. И. Панкова. – М. : Колос, 1970. – 112 с.
45. *Минашина Н. Г.* Токсичные соли в почвенном растворе, их расчет и классификация почв по степени засоления // Почвоведение. – 1970. – № 8. – С. 92–105.
46. *Минашина Н. Г.* Солеотдача // Мелиоративная энциклопедия. – М. : Росинформагротех, 2004. – Т. 3. – С. 196.
47. *Минашина Н. Г.* Метод водной вытяжки и баланс солей в промываемых почвах / Н. Г. Минашина, Г. К. Гаврилова // Науч. тр. Почв. ин-та им. В. В. Докучаева. – М., 1976. – С. 106–112.
48. *Муратова В. С.* Содержание токсичных солей в водных вытяжках и почвенных растворах гипсоносных почв Голодной степи / В. С. Муратова, В. Ю. Маргулис // Почвоведение. – 1971. – № 12. – С. 87–99.
49. *Муха В. Д.* Агрочвоведение / В. Д. Муха, Н. И. Картамышев, Д. В. Муха. – М. : Колос, 2004. – 528 с.
50. *Надеждин Б. В.* Лено-Ангарская лесостепь: Почвенно-географический очерк / Б. В. Надеждин. – М. : Изд-во АН СССР, 1961. – 328 с.
51. *Николаев И. В.* Почвы Иркутской области / И. В. Николаев. – Иркутск : ОГИЗ, 1949. – 404 с.

52. *Оболдина Г. А.* Щелочность // Мелиоративная энциклопедия. – М. : Росинформагротех, 2004. – Т. 3. – С. 400–401.

53. *Ольгаренко Г. В.* Химическая мелиорация // Мелиоративная энциклопедия. – М. : Росинформагротех, 2004. – Т. 3. – С. 361–363.

54. *Орлов Д. С.* Быстрый метод определения солонцеватости почв с помощью стеклянного электрода / Д. С. Орлов, А. Альзубайди // Агрохимия. – 1965. – № 2. – С. 135–141.

55. Природное и антропогенное засоление почв бассейна Аральского моря / Е. И. Панкова, И. П. Айдаров, И. А. Ямнова, А. Ф. Новикова. – М. : Почв. ин-т им. В. В. Докучаева, 1996. – 187 с.

56. Патент РФ N 2034900, кл. А 01 В 79/02, 1995 – прототип.

57. *Пестов Л. Ф.* Засоление почвы // Мелиоративная энциклопедия. – М. : Росинформагротех, 2004. – Т. 1. – С. 516.

58. *Пестов Л. Ф.* Засоленность природных вод // Мелиоративная энциклопедия. – М. : Росинформагротех, 2004. – Т. 1. – С. 517.

59. *Полуэктов Е. В.* Солеустойчивость растений / Е. В. Полуэктов, Н. А. Иванова // Мелиоративная энциклопедия. – М. : Росинформагротех, 2004. – Т. 3. – С. 197.

60. *Полынов Б. Б.* Определение критической глубины залегания уровня засоляющей почву грунтовой воды // Избр. тр. – М. : Изд-во АН СССР, 1956. – С. 424–443.

61. *Постряков А. Н.* Влияние загрязнения высокоминерализованными нефтепромысловыми сточными водами на свойства черноземов Предуралья : автореф. дис. ... канд. биол. наук / А. Н. Постряков. – Уфа, 2007. – 22 с.

62. Почвы Иркутской области : отчет Иркутского филиала Ин-та ВостСибГИПРОЗем. – Иркутск, 1983. – Рукопись. – 223 с.

63. *Рудницкая Н. В.* Минерализация природных вод (Минерализованные воды) // Мелиоративная энциклопедия. – М. : Росинформагротех, 2004. – Т. 2. – С. 176.

64. *Сугаченко А. А.* Эколого-мелиоративные особенности почвенного покрова Приольхонья / А. А. Сугаченко, О. Г. Лопатовская, Г. В. Кондратьева // Материалы II междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 75-летию кафедры почвоведения ИГУ. – Иркутск, 2006. – С. 480–483.

65. *Толпешта И. И.* Активности ионов и электропроводность водной вытяжки целинных и мелиорированных почв Джаныбекского стационара / И. И. Толпешта, Т. А. Соколова, М. Л. Сиземская // Почвоведение. – 2000. – № 11. – С. 1365–1367.

66. *Угланов И. Н.* Мелиорация почв / И. Н. Угланов. – Иркутск : Изд-во ИГУ, 1991. – 126 с.

67. *Угланов И. Н.* Физико-химические и мерзлотно-гидрогеологические особенности пойменно-надпойменных территорий Приангарья / И. Н. Угланов, А. А. Скуратовский, О. Г. Лопатовская // Тез. докл. Всесоюз. совещ.



по подземным водам Востока СССР. – Иркутск ; Южно-Сахалинск, 1988. – С. 98–99.

68. *Устинов М. Т.* О содоустойчивости черноземов // Черноземы: свойства и особенности орошения. – Новосибирск, 1988. – С. 71–73.

69. *Устинов М. Т.* Содоустойчивость почв // Мелиоративная энциклопедия. – М. : Росинформагротех, 2004. – Т. 3. – С. 193–194.

70. *Хисматуллин Ш. Д.* Засоленные почвы речных долин лесостепных районов Верхнего Приангарья : автореф. дис. ... канд. биол. наук / Ш. Д. Хисматуллин. – Иркутск, 1962. – 29 с.

71. *Хисматуллин Ш. Д.* Материалы к классификации засоленных почв лесостепных районов Верхнего Приангарья // Очерки по географии и генезису почв средней Сибири. – М., 1964. – С. 139–153.

72. *Хисматуллин Ш. Д.* Вопросы рационального использования засоленных почв Иркутской области // Почвы Иркутской области, их использование и мелиорация. – Иркутск, 1979. – С. 76–87.

73. *Хитров Н. Б.* Система показателей для краткой характеристики засоленных почв // Почвоведение. – 1986. – № 4. – С. 67–79.

74. *Шамсутдинов З. Ш.* Галофиты России, их экологическая оценка и использование / З. Ш. Шамсутдинов, И. В. Савченко, Н. З. Шамсутдинов. – М. : РАСХН, 2000. – 399 с.

75. *Шамсутдинов З. Ш.* Методы экологической реставрации аридных экосистем в районах пастбищного животноводства [Электронный ресурс] / З. Ш. Шамсутдинов, Н. З. Шамсутдинов. – Режим доступа: <http://docs.sibecocenter.ru/programs/step/SB/11/06.html>

76. *Bergmann J. F.* Soil salinization and Welsh settlement in Chubut, Argentina // Cah. Geogr. Quebec. – 1971. – N 35.

77. Diagnosis and improvement of saline and alkaline soils: USDA Agriculture handbook. – 1954. – N 60. – 160 p.

78. *Dregne H. E.* Soils of arid regions / H. E. Dregne. – N. Y. Amsterdam : Elsevier, 1976.

79. *El-Gabaly M. M.* Problems and effects of irrigation in the Near East region // Arid land irrigation in developing countries. – Oxford : Pergamon press, 1977.

80. *Kovda V. A.* Principles of the theory and practice of reclamation and utilization of saline soils in the arid zones // Proc. Teheran symp. “Salinity problems in the arid zones”. – P. : UNESCO, 1961. (Printed in Switzerland).

81. *Pels S.* Standart M. Environmental changes due to irrigation development in semiarid parts of New South Wales, – Australia, 1975.

82. *Whitney R. S.* The effect of carbon dioxide on soil reaction / R. S. Whitney, R. Gardner // Soil Sci. – 1943. – Vol. 55, N 2. – P. 127–141.

83. UN conference on desertification. – Nairobi (Kenia), 1977.

*Учебное издание*

**Лопатовская** Ольга Геннадьевна  
**Сугаченко** Анна Александровна

**МЕЛИОРАЦИЯ ПОЧВ. ЗАСОЛЕННЫЕ ПОЧВЫ**

Подготовлено к печати: *Г. А. Никифорова*  
Компьютерная верстка: *И. В. Карташова-Никитина*

Темплан 2010. Поз. 37

Подписано в печать 20.05.2010. Формат 60x90 1/16  
Уч.-изд. л. 4,2. Усл. печ. л. 5,8. Тираж 50 экз.  
Заказ 45

Издательство Иркутского государственного  
университета

664003, г. Иркутск, бульвар Гагарина, 36,  
тел. (3952) 24-14-36