

Практическая работа № 4

ЗАСОЛЕННЫЕ ПОЧВЫ. УСТАНОВЛЕНИЕ СТЕПЕНИ И ХИМИЗМА ЗАСОЛЕНИЯ. ОБСУЖДЕНИЕ И ОЦЕНКА РЕЗУЛЬТАТОВ АНАЛИЗА ВОДНОЙ ВЫТЯЖКИ

Под засоленными понимают почвы, содержащие в своем профиле легкорастворимые соли в количествах, токсичных для растений-негалофитов.

К засоленным почвам относят солончаки, солончаковые и солончаковатые почвы. При этом к солончакам относят почвы, содержащие в слое 0 – 30 см более 0,6 % соды, или более 1,0 % хлоридов, или более 2 % сульфатов, а к солончаковым – почвы с тем же количеством солей, но залегающих глубже. Если в любой части профиля содержатся соли в меньших количествах, то почвы относят к солончаковатым.

При классификации засоленных почв по степени и химизму засоления важное значение имеет установление порога токсичности для среднесолестойких культур, под которым понимают предельное количество солей в почве, выше которого начинается угнетение роста и развития растений.

Наибольшей токсичностью среди анионов обладает CO_3^- , порог токсичности у которого проявляется уже при 0,001 % (0,03 ммоль /100 г почвы), у аниона Cl^- он составляет 0,01 % (0,3 ммоль /100 г почвы), у HCO_3^- – 0,06 % (1,0 ммоль/100 г почвы) и у SO_4^- – 0,08 % (1,7 ммоль / 100 г почвы).

К засоленным почвам относят также солонцы, имеющие солевые горизонты, но располагающиеся в подсолонцеватом горизонте на определенной глубине. Кроме того, в эту группу засоленных почв относят еще такыры – своеобразные глинистые засоленные почвы пустынь.

В результате неправильного орошения либо игнорирования специфичности почвообразовательного процесса в засушливых условиях

с близким залеганием минерализованных грунтовых вод или засоленных подстилающих пород при составлении мелиоративных проектов возникают вторично засоленные почвы.

Легкорастворимые соли, постоянно присутствующие в засоленных почвах, снижают их плодородие. Соли повышают осмотическое давление почвенного раствора, что ослабляет поступление воды в растения. Возникает явление физиологической сухости. При пониженной влажности водоудерживающая сила сильнозасоленной почвы почти в 4 раза больше, чем слабозасоленной.

Нарушение водного питания растений сопровождается ухудшением минерального питания. При высокой концентрации раствора часть питательных соединений находится в недиссоциированном состоянии и недоступна растениям.

Поступающие в растения ионы хлора, натрия и магния разрушают крахмал листьев и уменьшают интенсивность фотосинтеза. Все это замедляет рост, снижает урожайность, ухудшает качество продукции.

Вредное влияние солей на величину и качество урожая начинает сказываться при количестве солей около 0,1 %, но иногда растения выдерживают и большую концентрацию (0,5 – 1,5 %) – все зависит от их биологических особенностей и качественного состава солей.

Все сельскохозяйственные, плодовые культуры, древесные породы характеризуются различной солеустойчивостью. При этом следует иметь в виду, что любая классификация по солеустойчивости условна и должна уточняться в каждом регионе (табл. 10).

В засоленных почвах может присутствовать одно и то же количество солей, но в зависимости от состава этих солей почвы могут обладать разной степенью засоленности. Это обусловлено неравноценной токсичностью для растений легко-, средне- и малорастворимых солей. По степени растворимости в воде простые соли разделяются на легко-, средне- и малорастворимые.

Таблица 10

Группировка растений по солеустойчивости

Растения-галофиты	Наиболее солеустойчивые (хорошая солевыносливость)	Среднесолеустойчивые (средняя солевыносливость)	Наименее солеустойчивые (плохая солевыносливость)
Плодовые и древесные породы			
Тама-риксы, селитрянка, солянки (солерос, сарсазан и др.)	Гранат, финиковая пальма, саксаул, тополь черный, лох узколистный, вяз перисто-ветвистый, смородина золотистая, жимолость татарская	Маслина, гранат, виноград, инжир, шелковица, груша лесная, акация белая, гледичия, туя восточная, клен полевой, клен татарский, береза белая, береза повислая, береза пушистая	Груша, миндаль, абрикос, апельсин, лимон, персик, слива, орех грецкий, шиповник, яблоня, лиственница сибирская, тополь пирамидальный, бересклет бородавчатый
Полевые сельскохозяйственные и кормовые культуры			
—	Хлопчатник, пшеница мягкая (яровые и озимые формы), сахарная свекла, столовая свекла, сорго, рапс, тыква, пырей западный, волоснец канадский	Хлопчатник, сорго, тыква, пшеница яровая, ячмень, рожь, овес, просо, подсолнечник, рис, лен, томаты, морковь, лук, перец, люцерна, донник, житняк, суданская трава, райграс многолетний, лядвенец рогатый, ежа сборная, овсяница высокая, астрагал	Кукуруза, горох, огурцы, капуста, картофель, баклажан, вика, бобы, клевер (разные виды), лисохвост луговой

В. А. Ковда располагает легкорастворимые соли по степени их вредности в таком порядке:



Средне- и труднорастворимые соли (гипс, карбонаты кальция и магния) переходят в водную вытяжку только частично, что обусловлено составом и концентрацией образующегося (после растворения легкорастворимых солей) солевого раствора. Представление о содержании в почве водорастворимых солей дает анализ водной вытяжки, служащей основным методом исследования засоленных почв, позволяющим установить степень и характер их засоления.

В водной вытяжке обычно определяют сухой и прокаленный остаток, щелочность нормальных карбонатов (CO_3^{2-}) и бикарбонатов (HCO_3^-), хлор-ион (Cl^-), сульфат-ион (SO_4^{2-}), ионы кальция (Ca^{++}), магния (Mg^{++}), натрия (Na^+) и калия (K^+), т. е. почти весь состав легкорастворимых солей.

Результаты анализа водной вытяжки позволяют установить, во-первых, величину общего содержания легкорастворимых солей в почве, их качественный и количественный состав; во-вторых, выяснить, присутствуют ли среди солей токсичные соли и в какой концентрации; в-третьих, установить степень засоления и химизм (тип) засоления (табл. 11).

Таблица 11

Группировка почв по степени засоления

Степень засоления	Величина плотного (сухого) остатка, %
Незасоленные	< 0,3
Слабозасоленные	0,3 – 0,5
Среднезасоленные	0,5 – 1,0
Сильнозасоленные	1,0 – 1,0
Очень сильнозасоленные	> 1,0

Следует иметь в виду, что в плотный остаток могут входить не только водорастворимые соли, но и механические примеси. Водорастворимые соли могут быть токсичными или нетоксичными для растений.

Определив количественное содержание ионов в миллимолях на 100 г почвы и пересчитав их в проценты по величине какого-то одного преобладающего иона, на основании этих данных можно сделать определенные выводы о химизме и степени засоления, характере процесса засоления почв и его направленности.

Для практических мелиоративных целей важное значение имеет установление химизма (типа) засоления. Его определяют либо по преобладанию какого-то иона в водной вытяжке, либо по их определенному соотношению.

Качественная характеристика типа засоления в первую очередь дается по соотношению анионов ($\frac{Cl^-}{SO_4^{2-}}; \frac{SO_4^{2-}}{Cl^-}; \frac{HCO_3^-}{Cl^-+SO_4^{2-}}$) и в виде дополнения – по соотношению катионов ($\frac{Na^++K^+}{Ca^{++}+Mg^{++}}; \frac{Ca^{++}+Mg^{++}}{Na^++K^+}; \frac{Mg^{++}}{Ca^{++}}$).

В смешанных типах засоления преобладающий ион находится на последнем месте. Обычно в наименование типа засоления включают те анионы, количество которых больше 20 % от их общей суммы в миллимолях. Исключение составляет ион CO_3^{2-} , который включается в название, даже если его содержание менее 20 %, но более 0,03 ммоль/100 г почвы с добавлением к названию «с участием соды».

То же следует делать в отношении ионов HCO_3^- , если количество их в водной вытяжке превышает 1,4 ммоль/100 г почвы, а HCO_3^- больше $Ca^{++} + Mg^{++}$ (в миллимолях). Если повышенное содержание HCO_3^- обусловлено $Mg(HCO_3)_2$, тип засоления определяется как гидрокарбонатный.

При установлении типа засоления в различных горизонтах почв определяющее название для почвенного профиля дается по горизонту максимального соленакопления (табл. 12).

Таблица 12

Типы засоления почв, ммоль

Тип засоления	По анионам			Тип засоления	По катионам		
	$\frac{Cl^-}{SO_4^{2-}}$	$\frac{SO_4^{2-}}{Cl^-}$	$\frac{HCO_3^-}{Cl^-+SO_4^{2-}}$		$\frac{Na^++K^+}{Ca^{++}+Mg^{++}}$	$\frac{Ca^{++}+Mg^{++}}{Na^++K^+}$	$\frac{Ca^{++}+Mg^{++}}{Na^++K^+}$
Хлоридный	> 2	< 0,5	–	Натриевый	> 2	< 0,5	–
Сульфатно-хлоридный	2 – 1	0,5 – 1,0	–	Магниево-натриевый	1 – 2	0,5 – 1,0	> 1
Хлоридно-сульфатный	1 – 0,2	1,0 – 5,0	–	Кальциево-натриевый	1 – 2	0,5 – 1,0	> 1
Сульфатный	< 0,2	> 5,0	–	Кальциево-магниевый	< 1	> 1	> 1
Карбонатно-сульфатный	< 0,2	> 5,0	1	Магниево-кальциевый	< 1	> 11	< 1
Сульфатно-содовый	–	–	2	Магниевый	< 2	–	–

В зависимости от типа засоления группировка почв по степени засоления как по общему содержанию солей, определяемых по плотному остатку, так и по преобладающим ионам, будет иметь разные числовые придержки.

Чем токсичнее ион, тем меньше порог устойчивости для растений, и наоборот. Для растений наиболее вреден содовый тип засоления, за ним следует хлоридный и сульфатно-хлоридный. Относительно менее вредными являются сульфатный и хлоридно-сульфатный типы засоления.

В почвенных растворах засоленных почв часто присутствуют анионы различной степени токсичности и в неодинаковых количествах. В практических целях бывает важно характеризовать засоление по действию не одного, а всех токсичных ионов, имеющихся в почве, т. е. по их «суммарному эффекту», который выражают в миллимолях хлора. При этом действие 1 ммоль Cl^- приравнивают по токсичности к 0,1 ммоль CO_3^- , или 1,5 – 3,0 ммоль HCO_3^- , или 5-6 ммоль SO_4^{2-} , т. е. $1 \text{Cl}^- = 0,1 \text{CO}_3^- = 1,5 - 3,0 \text{HCO}_3^- = 5 - 6 \text{SO}_4^-$.

Указанные в скобках цифры используют при сложных типах засоления, особенно при наличии гипса в почвах. Поскольку практически во всех засоленных почвах присутствуют ионы Cl^- и SO_4^{2-} , то по их соотношению устанавливают не только тип засоления, но и направленность процессов соленакопления и засоления почв (табл. 13).

Таблица 13

Классификация почв по степени засоления по «суммарному эффекту» токсичных ионов, ммоль иона Cl^-

Степень засоления	«Суммарный эффект» токсичных ионов, ммоль
Незасоленные	< 0,3
Слабозасоленные	0,3 – 1,0 (1,5)
Среднезасоленные	1,0 (1,5) – 3,0 (3,5)
Сильнозасоленные	3,0 (3,5) – 7,0 (7,5)
Очень сильнозасоленные	> 7,0 (7,5)

Это основано на том, что ионы Cl^- наиболее подвижны, его соединения более растворимы, чем сульфаты, и при движении почвенных растворов ион Cl^- опережает ион SO_4^{2-} . Так, если в верхних горизонтах засоленных почв отмечается преобладающее накопление хлоридов, то это свидетельствует о начальной стадии засоления, а если

в них больше сульфатов (хлориды как более подвижные вымылись, например, в нижележащие горизонты), то это говорит о рассолении или о перемежающемся засолении (табл. 14).

Таблица 14

Группировка почв по степени засоления при разном химизме засоления

Степень засоления	Хлоридный и сульфатно-хлоридный типы		Сульфатный и хлоридно-сульфатный типы			Содовый и смешанный типы засоления			
	Плотный остаток	Cl ⁻	Плотный остаток	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻⁻	Плотный остаток	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	HCO ₃ ⁻
Незасоленные	< 0,3	< 0,01	< 0,3	< 0,01	< 0,1	< 0,1	0,01	0,02	< 0,06
Слабозасоленные	0,3 – 0,5	0,01 – 0,05	0,3 – 1,0	0,01	0,1 – 0,4	0,1 – 0,3	0,01	0,05 – 0,1	0,1 – 0,2
Среднезасоленные	0,5 – 1,0	0,05 – 0,10	1,0 – 2,0	0,05	0,4 – 0,6	0,3 – 0,5	0,01	0,2	0,2 – 0,3
Сильнозасоленные	1,0 – 2,0	0,1 – 0,2	2,0 – 3,0	0,10	0,6 – 0,8	0,5 – 0,7	0,02	0,2	0,3 – 0,4
Очень сильнозасоленные	> 2,0	> 0,2	> 3,0	–	> 0,8	> 0,7	0,02	0,2	> 0,4

Определив в водной вытяжке ионный состав засоленных почв, следует иметь полное представление о количественном и качественном составе солей, поскольку токсичность отдельных анионов нейтрализуется связыванием их с катионами в нетоксичные соли, которые часто обладают слабой степенью диссоциации. Поэтому общая сумма солей, определенная по плотному остатку, не всегда свидетельствует об их неблагоприятных концентрациях. Влияние отдельных солей на растительность обусловлено именно токсичностью или нетоксичностью отдельных ионов, образующих эти соли. Так, ионы хлора, натрия, магния относятся к ряду токсичных, образующих и токсичные соли. Ионы бикарбонатов, карбонатов и сульфатов сами по себе токсичны, но при соединении с катионами они в одном случае образуют токсичные соли натрия и магния, в другом – нетоксичные соли кальция.

Определив ионы засоленных почв, необходимо провести связывание их в соответствующие так называемые гипотетические соли и определить, какие из них токсичные, какие нетоксичные. В первую

очередь связываются катионы и анионы с образованием карбонатов и бикарбонатов в эквивалентных отношениях в такой последовательности:



В этом ряду солей отсутствует карбонат кальция (CaCO_3), поскольку произведение его растворимости составляет ничтожно малую величину ($4,8 \cdot 10^{-9}$) даже по сравнению с MgCO_3 ($1,0 \cdot 10^{-5}$). После того как все катионы и анионы, образующие карбонаты и бикарбонаты, будут связаны, начинают объединяться катионы и анионы с образованием сульфатных солей.



В последнюю очередь связываются катионы и анионы хлоридов.



В приведенных рядах солей токсичными являются: Na_2CO_3 , MgCO_3 , NaHCO_3 , $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$, Na_2SO_4 , NaCl , MgCl , CaCl , а нетоксичными – $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$, CaSO_4 .

Пересчитав миллимоли солей в проценты и соотнеся их с суммой солей в плотном остатке, определяют относительный процент токсичных солей в общей сумме солей, что является важным экологическим показателем засоленных почв.

Пример расчета и обсуждения результатов химического состава водной вытяжки

Результаты анализа водной вытяжки типичного мощного тяжело-суглинистого солончака представлены в табл. 15.

Таблица 15

Результаты анализа водной вытяжки солончака
(числитель – ммоль, знаменатель – %)

Глубина взятия образца, см	Плотный остаток, %	Анионы				Катионы		
		CO_3^{--}	HCO_3^-	Cl^-	SO_4^{2--}	Ca^{++}	Mg^{++}	Na^+
0 – 5	1,3	1,6	1,9	6,2	23,3	0,6	0,2	33,7
		0,078	0,176	0,280	1,118	0,012	0,0024	0,775
5 – 15	1,7	1,8	1,9	6,3	15,3	0,9	0,2	23,5
		0,054	0,176	0,220	0,734	0,018	0,0024	0,540
30 – 35	1,3	1,2	4,1	7,6	8,6	0,6	0,2	19,4
		0,066	0,250	0,266	0,412	0,012	0,0024	0,445
65 – 75	0,8	1,0	3,4	4,7	3,7	0,3	0,2	11,2
		0,06	0,207	0,164	0,177	0,06	0,0024	0,257

На основании расчета отношения ионов $\frac{\text{Cl}^-}{\text{SO}_4^{2-}}$ или $\frac{\text{SO}_4^{2-}}{\text{Cl}^-}$, преобладающих в составе водной вытяжки, можно сделать вывод о том, что тип засоления почвы хлоридно-сульфатный, так как об этом свидетельствуют расчеты послойного содержания: слой 0 – 5 см $\frac{\text{Cl}^-}{\text{SO}_4^{2-}} = 6,2 : 23,3 = 0,27$; слой 5 – 15 см $\frac{\text{SO}_4^{2-}}{\text{Cl}^-} = 6,3 : 15,3 = 0,41$; слой 30 – 35 см $\frac{\text{SO}_4^{2-}}{\text{Cl}^-} = 7,6 : 8,6 = 0,88$; слой 65 – 75 см $\frac{\text{SO}_4^{2-}}{\text{Cl}^-} = 4,7 : 3,7 = 1,27$. Следует отметить, что пересчет миллимолей ионов в проценты производится путем умножения миллимолей каждого иона на его миллиграммовое или граммовое значение: $\text{CO}_3^- - 0,03$; $\text{HCO}_3^- - 0,061$; $\text{Cl}^- - 0,0355$; $\text{SO}_4^{2-} - 0,048$; $\text{Ca}^{++} - 0,02$; $\text{Mg}^{++} - 0,012$; $\text{Na}^+ - 0,023$; $\text{K}^+ - 0,039$. Кроме того, анализируемая почва имеет и натриевый тип засоления исходя из соотношения катионов ($\text{Na}^+ + \text{K}^+ > \text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++}$).

По данным анализа на количественное содержание плотного остатка анализируемая почва является очень сильнозасоленной в верхнем 5-сантиметровом слое (солончак), в средней части профиля – сильнозасоленной и в нижней – средnezасоленной. Подобное распределение солей предполагает, что почва находится на стадии прогрессивного засоления.

Далее необходимо перевести связывание ионов в гипотетические соли в миллимолях и процентах на примере слоя 0 – 5 см.

Самыми токсичными ионами являются ионы CO_3^- . В первую очередь произойдет связывание анионов CO_3^- с катионами Na^+ с образованием соды Na_2CO_3 в эквивалентных отношениях, т. е. 1,6 ммоль CO_3^- связываются с 1,6 ммольями Na^+ с образованием 5,2 ммоль Na_2CO_3 ($0,138 \% = 5,2 \cdot 0,0265$, где 0,0265 – миллиграммовое значение Na_2CO_3). При этом ионы CO_3^- связались полностью, а несвязанного Na осталось еще 31,1 ммоль ($33,7 - 1,6$).

Поскольку ионы CO_3^- связались все, то из оставшихся анионов, прежде всего анионы HCO_3^- , свяжутся в эквивалентных отношениях с катионами Ca^{++} с образованием бикарбоната кальция ($0,6 + 0,6 = 1,2$ ммоль = $0,049 \%$). Ионы Ca^{++} связались полностью, а несвязанное количество $\text{HCO}_3^- = 1,3$ ммоль ($1,9 - 0,6$) соединится с таким же количеством натрия с образованием 4,6 ммоль ($0,39 \% = 4,6 \cdot 0,084$) NaHCO_3 .

Анионы HCO_3^- также теперь связались полностью, а катионов натрия осталось 28,8 ммоль. Единственной солью среди сульфатных солей является предположительно Na_2SO_4 . Это следует из того, что гипс не может образоваться, поскольку ион Ca^{2+} полностью связался в бикарбонаты.

Следовательно, анион SO_4^{2-} (23,3 ммоль) в полном объеме связывается с таким же количеством натрия с образованием 46,6 ммоль (1,65 %) Na_2SO_4 . Поскольку анион SO_4^{2-} в этом ряду полностью связался, то, естественно, не может образоваться и сульфат магния. Предпосылкой для образования хлорида натрия является то, что в вытяжке еще реально находятся составляющие эту соль ионы. Несвязанного натрия осталось меньше, чем хлора, поэтому 5,5 ммоль натрия соединятся с 5,5 ммоль хлора с образованием 11,0 ммоль (0,65 % = $11 \cdot 0,0585$) NaCl .

Неиспользованного хлора осталось еще 0,7 ммоль, но лишь 0,2 ммоль его соединяются с 0,2 ммоль Mg^{2+} с образованием 0,4 ммоль (0,0095 %) MgCl_2 , а 0,5 ммоль остались неостребованными (неиспользованными), т. е. в остатке, что вполне возможно (но может быть обусловлено и аналитическими погрешностями анализа). Для большей наглядности все исходные и полученные результаты лучше представить в виде сводных таблиц для каждого горизонта.

Для слоя 0 – 5 см данные расчетов представлены в табл. 16.

Таблица 16

Последовательность связи ионов в гипотетические соли по результатам анализа водной вытяжки

Результаты анализа водной вытяжки в слое 0 – 5 см		Гипотетические соли (последовательность связи сверху вниз)		
Ионы	ммоль	Формулы солей	ммоль	%
CO_3^-	1,6	Na_2CO_3	5,2	0,138
HCO_3^-	0,6	$\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$	1,2	0,049
HCO_3^-	1,3	NaHCO_3	4,6	0,39
SO_4^{2-}	23,3	Na_2SO_4	46,6	1,65
Cl^-	0,6	NaCl	11,0	0,65
Mg^{++}	0,2	MgCl_2	0,4	0,01
Na^+	33,7	–	–	–

Для пересчета миллимолей солей в проценты приводим миллиграммовое значение для различных солей:

Na_2CO_3	0,0265	$\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$	0,036	NaCl	0,0585
MgCO_3	0,021	CaSO_4	0,034	MgCl_2	0,0233
$\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$	0,0405	Na_2SO_4	0,0355	CaCl_2	0,0278
NaHCO_3	0,094	MgSO_4	0,03		

Расчет гипотетического состава солей

При стандартном определении компонентов водной вытяжки содержание щелочей не определяется прямыми методами, а рассчитывается по разности ΣK^+ и $\text{Na}^+ = \Sigma$ анионов, выраженной в мг-экв./100 г – Σ катионов, выраженной в мг-экв. /100 г. Получив это значение, можно перейти к расчету и оценке характера засоления по гипотетическому составу солей, мг-экв. /100 г.

Схема пересчета ионного состава вытяжки на гипотетические соли такова:

- 1) бикарбонат-ион HCO_3^- соединяют с кальций-ионом в $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$;
- 2) если остается излишек HCO_3^- , его соединяют с магний-ионом и натрий-ионом в $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$ и $\text{Na}(\text{HCO}_3)$;
- 3) остаток кальция (после соединения с HCO_3^-) связывают с сульфат-ионом SO_4^{2-} в CaSO_4 ;
- 4) если после этого остается избыток кальция, то его связывают с ионом хлора в CaCl_2 ;
- 5) если после соединения SO_4^{2-} с кальцием остался избыток SO_4^{2-} , то его соединяют с Mg^{2+} в MgSO_4 и с Na^+ в Na_2SO_4 ;
- 6) если после соединения Mg^{2+} с HCO_3^- и SO_4^{2-} остался магний, то он соединяется с Cl^- в MgCl_2 .

Полученные данные позволяют оценить характер засоления грунта и дать название грунту по преобладающему типу засоления. Образовавшиеся гипотетические соли группируем в токсичные и нетоксичные.

Токсичные: Na_2CO_2 , NaHCO_3 , Na_2SO_4 , NaCl , MgCl .

Нетоксичные: $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$.

Общая сумма солей составляет 1,89 %. Из них токсичные соли составляют 2,89 %, или 97,9 % всего количества солей, и лишь 1,7 % – нетоксичные соли (рис. 3).

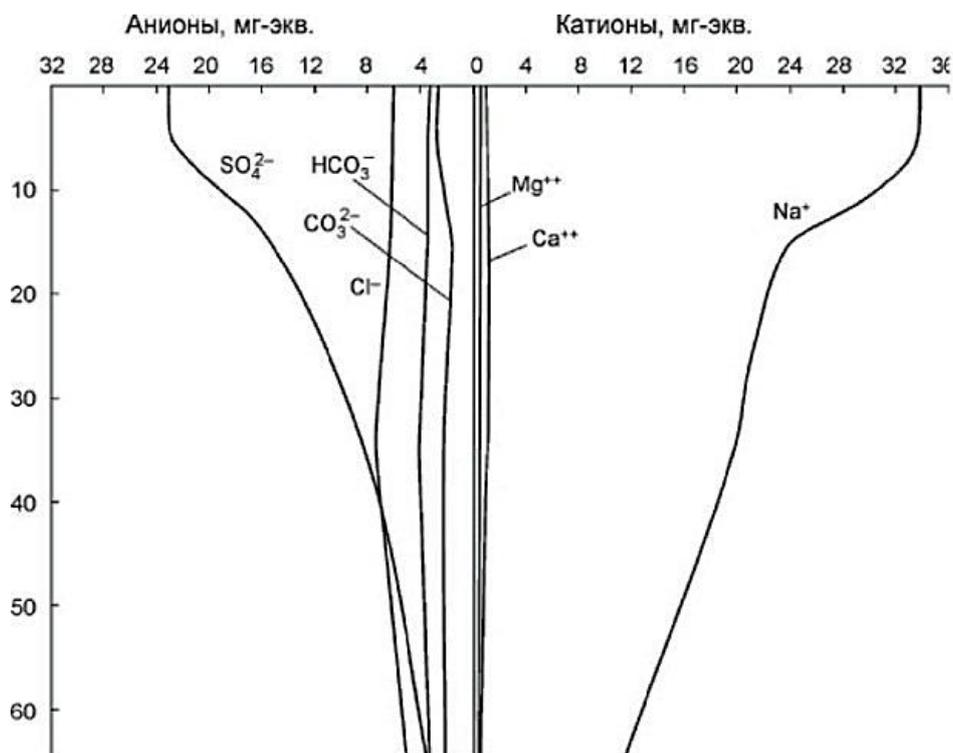


Рис. 3. Солевой профиль типичного мощного тяжелосуглинистого солончака (по результатам анализа водной вытяжки)

В связи с тем что в этом горизонте сода (Na_2CO_3) составляет более 2 ммоль (а именно 5,2 ммоль), она должна включаться в название типа засоления. Результаты анализов водной вытяжки остальных горизонтов рассчитываются аналогично. Для наглядного изображения ионов по профилю проводят графическое изображение данных водной вытяжки в миллимолях по слоям.

В соответствии с приведенным порядком расчета гипотетического состава солей выбрать номер варианта и провести самостоятельный расчет.

Вариант 1

Глубина почвы, см	Сухой остаток, %	Водная вытяжка, ммоль						
		CO_3^-	HCO_3^-	Cl^-	SO_4^{2-}	Ca^{++}	Mg^{++}	Na^+
0 – 6	11,96	0,4	0,8	26,9	139,7	11,9	9,7	146,2
6 – 25	4,50	0,2	0,7	10,9	51,0	10,5	7,9	44,4
25 – 50	2,29	0,1	0,5	5,6	27,7	8,1	3,1	22,7
50 – 75	1,18	Нет	0,6	1,5	14,8	6,5	1,6	8,8
75 – 100	1,20	Нет	0,6	1,4	13,7	5,9	1,6	8,2

Вариант 2

Глубина почвы, см	Сухой остаток, %	Водная вытяжка, ммоль						
		CO ₃ ⁻	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺
0 – 1	0,10	Нет	0,9	0,2	0,2	0,2	0,2	0,9
1 – 8	0,61	Нет	1,6	4,2	3,3	0,5	0,3	8,3
8 – 20	1,05	Нет	2,6	11,8	2,1	0,5	0,9	15,1
20 – 40	1,87	Нет	2,5	15,3	11,7	4,4	5,3	19,8
40 – 60	2,40	Нет	2,2	13,5	21,7	12,5	6,7	18,2

Вариант 3

Глубина почвы, см	Сухой остаток, %	Водная вытяжка, ммоль						
		CO ₃ ⁻	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺
0 – 3	0,05	Нет	0,5	0,2	0,1	0,2	0,2	0,4
3 – 17	0,39	Нет	1,2	4,6	0,4	0,4	0,4	5,4
17 – 27	0,54	Нет	1,2	5,8	1,8	0,7	1,6	6,5
27 – 40	1,62	Нет	1,0	14,8	10,7	4,5	6,9	15,1
40 – 60	1,80	Нет	0,9	11,6	16,4	8,0	7,9	13,0

Вариант 4

Глубина почвы, см	Сухой остаток, %	Водная вытяжка, ммоль						
		CO ₃ ⁻	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺
0 – 18	0,713	Нет	0,39	0,08	8,17	6,79	1,14	0,71
36 – 48	0,609	Нет	0,36	0,20	6,91	3,86	2,66	0,95
48 – 60	0,438	Нет	0,43	0,31	5,14	2,01	1,34	2,53
60 – 78	0,436	Нет	0,36	0,31	4,97	1,87	1,03	2,74
78 – 98	0,693	Нет	0,39	0,48	8,01	1,95	0,77	6,16

Вариант 5

Глубина почвы, см	Сухой остаток, %	Водная вытяжка, ммоль						
		CO ₃ ⁻	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺
0 – 0,5	9,826	Нет	0,75	10,32	125,15	8,58	21,17	106,47
0,5 – 5	7,895	Нет	0,75	10,77	98,00	5,72	21,29	82,51
5 – 18	2,400	Нет	0,38	3,84	30,36	3,45	5,67	25,46
18 – 40	1,673	Нет	0,51	1,33	22,80	4,05	4,34	16,25
40 – 59	1,176	Нет	0,48	0,51	15,93	3,52	2,50	10,90

Вариант 6

Глубина почвы, см	Сухой остаток, %	Водная вытяжка, ммоль						
		CO ₃ ⁻	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺
0 – 2	3,152	0,90	3,02	1,63	39,60	0,42	0,09	44,64
2 – 32	0,855	0,70	5,10	1,50	5,56	0,63	0,34	11,89
32 – 55	0,575	1,40	4,20	0,88	1,71	0,50	0,20	7,49
55 – 70	0,445	0,90	3,90	0,75	1,25	0,35	0,10	6,35
90 – 110	0,375	0,80	3,25	0,75	1,42	0,35	0,23	5,64

Вариант 7

Глубина почвы, см	Сухой остаток, %	Водная вытяжка, ммоль						
		CO ₃ ⁻	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺
0 – 30	0,44	Нет	0,28	0,40	0,71	0,55	0,35	6,49
30 – 40	0,70	Нет	0,44	9,73	1,17	0,95	0,80	9,59
40 – 50	0,81	Нет	0,36	11,39	1,94	1,30	1,30	11,09
50 – 60	0,70	Нет	0,39	9,90	1,56	1,35	1,25	9,25
60 – 70	0,72	Нет	0,38	9,67	1,83	1,30	1,20	9,38

Вариант 8

Глубина почвы, см	Сухой остаток, %	Водная вытяжка, ммоль						
		CO ₃ ⁻	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺
0 – 3	5,7	0,1	0,7	32,5	51,0	25,2	4,7	54,4
3 – 10	51,8	0,9	4,9	65,0	650,0	57,0	4,5	659,3
10 – 20	62,8	0,6	1,8	16,2	852,0	25,5	3,0	842,1
20 – 40	2,1	Нет	0,6	5,4	23,7	11,6	2,6	15,5
40 – 80	1,9	Нет	0,2	5,6	22,6	12,6	1,9	13,9

Вариант 9

Глубина почвы, см	Сухой остаток, %	Водная вытяжка, ммоль						
		CO ₃ ⁻	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺
0 – 2	18,6	Нет	0,4	243,7	51,0	18,0	6,0	271,1
2 – 7	14,3	Нет	0,5	105,1	106,	23,4	7,1	181,7
7 – 12	25,5	Нет	0,3	218,3	168,9	18,4	4,6	364,5
12 – 25	4,7	Нет	0,3	25,3	39,6	12,7	3,7	48,8
25 – 50	3,1	Нет	0,4	15,6	28,7	13,5	1,9	29,3

Вариант 10

Глубина почвы, см	Сухой остаток, %	Водная вытяжка, ммоль						
		CO ₃ ⁻	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺
0 – 16	0,203	0,03	0,92	0,87	0,92	0,30	0,10	2,34
16 – 33	0,338	0,70	1,64	0,96	1,65	0,20	0,05	4,70
33 – 6	0,635	Нет	0,43	0,99	7,35	2,62	0,25	5,90
65 – 100	1,057	0,07	0,44	1,55	12,99	2,75	0,55	11,75
100 – 145	0,902	0,03	0,39	1,16	11,18	3,25	0,50	9,01

Вариант 11

Глубина почвы, см	Сухой остаток, %	Водная вытяжка, ммоль						
		CO ₃ ⁻	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺
0 – 5	2,32	3,20	3,30	0,87	7,10	0,40	0,35	13,72
5 – 22	1,26	3,23	1,12	0,50	3,85	0,30	0,26	8,14
45 – 55	0,81	1,90	1,00	0,44	1,79	0,25	0,13	4,75
70 – 80	0,47	0,53	1,14	0,56	10,43	0,32	0,25	12,09
100 – 120	0,28	0,23	2,32	0,81	9,27	0,12	0,25	12,26

Вариант 12

Глубина почвы, см	Сухой остаток, %	Водная вытяжка, ммоль						
		CO ₃ ⁻	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺
0 – 2	7,56	2,07	3,19	4,60	92,89	0,45	0,35	101,95
2 – 12	2,68	2,07	2,85	4,37	25,17	0,45	0,20	33,81
12 – 26	1,14	2,00	1,84	3,92	8,34	0,25	0,25	15,60
26 – 45	0,76	1,63	1,27	1,44	5,91	0,25	0,15	9,85
45 – 72	0,12	0,23	0,74	0,33	0,37	0,25	0,10	1,22

Вариант 13

Глубина почвы, см	Сухой остаток, %	Водная вытяжка, ммоль						
		CO ₃ ⁻	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺
0 – 11	0,489	Нет	1,00	0,80	2,10	0,75	0,70	2,45
11 – 31	0,790	Нет	1,25	0,95	3,30	0,75	0,82	3,93
31 – 53	0,734	Нет	1,75	1,50	3,80	0,50	1,05	5,50
53 – 75	0,504	Нет	1,84	1,25	1,49	0,30	1,00	3,28
75 – 100	0,491	Нет	1,96	0,40	1,49	0,35	0,90	2,60

Вариант 14

Глубина почвы, см	Сухой остаток, %	Водная вытяжка, ммоль						
		CO ₃ ⁻	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺
0 – 0,6	0,16	Нет	0,49	0,28	0,9	1,25	0,41	0,09
5 – 15	0,39	Нет	0,82	0,28	3,38	1,70	1,23	1,55
50 – 55	3,38	Нет	0,49	5,07	43,94	10,20	8,30	31,00
100 – 105	2,73	Нет	0,49	3,10	34,40	11,25	8,23	18,51
140 – 145	2,30	Нет	0,49	2,54	29,00	11,65	5,35	15,03

Вариант 15

Глубина почвы, см	Сухой остаток, %	Водная вытяжка, ммоль						
		CO ₃ ⁻	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺
0 – 10	0,99	2,06	9,69	0,31	0,27	1,05	0,99	10,29
20 – 30	1,26	5,03	9,49	0,31	0,35	1,85	0,49	12,84
55 – 65	0,92	1,89	18,75	0,42	0,29	1,45	0,58	19,32
90 – 95	0,78	3,73	13,47	0,42	0,15	1,35	0,66	15,76
115 – 125	0,55	1,89	11,60	0,42	0,10	1,25	0,41	12,35

Вариант 16

Глубина почвы, см	Сухой остаток, %	Водная вытяжка, ммоль						
		CO ₃ ⁻	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺
0 – 10	0,27	Нет	1,00	2,45	0,73	0,40	0,15	3,63
10 – 20	0,70	Нет	0,52	10,32	0,87	0,55	0,48	10,68
20 – 30	1,20	Нет	0,48	17,23	1,64	1,40	1,95	16,00
30 – 40	1,21	Нет	0,49	16,53	2,19	1,65	2,75	14,81
40 – 50	1,21	Нет	0,48	16,92	2,21	1,90	2,90	14,81

Вариант 17

Глубина почвы, см	Сухой остаток, %	Водная вытяжка, ммоль						
		CO ₃ ⁻	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺
0 – 12	0,06	Нет	0,44	0,08	0,21	0,10	0,08	0,55
12 – 22	0,26	Нет	0,84	2,09	0,31	0,10	0,08	3,06
22 – 45	0,68	Нет	0,72	9,22	1,25	0,30	0,25	10,64
45 – 60	0,89	Нет	0,52	12,41	1,98	0,65	1,07	13,19
60 – 120	1,16	Нет	0,43	11,05	6,66	2,40	2,47	13,27

Вариант 18

Глубина почвы, см	Сухой остаток, %	Водная вытяжка, ммоль						
		CO ₃ ⁻	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺
0 – 1	0,10	Нет	0,9	0,2	0,2	0,2	0,2	0,9
1 – 8	0,61	Нет	1,6	4,2	3,3	0,5	0,3	8,3
8 – 20	1,05	Нет	2,6	11,8	2,1	0,5	0,9	15,1
20 – 40	1,87	Нет	2,5	15,3	11,7	4,4	5,3	19,8
40 – 60	2,40	Нет	2,2	13,5	21,7	12,5	6,7	18,2

Вариант 19

Глубина почвы, см	Сухой остаток, %	Водная вытяжка, ммоль						
		CO ₃ ⁻	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺
0 – 3	0,05	Нет	0,5	0,2	0,1	0,2	0,2	0,4
3 – 17	0,39	Нет	1,2	4,6	0,4	0,4	0,4	5,4
17 – 27	0,54	Нет	1,2	5,8	1,8	0,7	1,6	6,5
27 – 40	1,62	Нет	1,0	14,8	10,7	4,5	6,9	15,1
40 – 60	1,80	Нет	0,9	11,6	16,4	8,0	7,9	13,0

Вариант 20

Глубина почвы, см	Сухой остаток, %	Водная вытяжка, ммоль						
		CO ₃ ⁻	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺
0 – 20	2,42	Нет	0,25	23,44	0,26	0,17	Нет	0,49
20 – 40	2,03	Нет	0,28	14,02	1,35	0,15	0,04	2,27
40 – 60	1,94	Нет	0,28	11,64	10,75	1,10	0,21	1,89
60 – 80	2,16	Нет	0,30	7,90	14,42	6,10	0,20	11,77
80 – 100	2,58	Нет	0,26	8,32	17,50	2,62	0,48	17,87

Контрольные вопросы

1. Что такое водная вытяжка?
2. Каков механизм засоления почвы?
3. Назовите источники солей в почве.
4. Что такое сухой остаток?