АКАДЕМИЯ НАУК СССР

В. А. КОВДА

СОЛОНЧАКИ И СОЛОНЦЫ

ИЗДАТЕЛЬСТВО АКАДЕМИИ НАУК СССР

АКАДЕМИЯ НАУК СССР
ПОЧВЕННЫЙ ИНСТИТУТ ИМЕНИ В. В. ДОКУЧАЕВА

В. А. КОВДА

СОЛОНЧАКИ И СОЛОНЦЫ

ИЗДАТЕЛЬСТВО АКАДЕМИИ НАУК СССР
МОСКВА 1937 ЛЕНИНГРАД

Ответственный редактор Директор Почвенного института им. В. В. Докучаева АН СССР

акад. Л. И. ПРАСОЛОВ

Технический редактор Э. С. Пинкус Ученый корректор В. В. Гепло в

Сдано в набор 15/XII 1936 г. Подписано к печати 29/IV 1937 г. Объем п. л. 15½ (18 физ.).
Формат 72 × 110½. В 1 п. л. 46500 печ. зн., уч. авт. л. 22,73. Тираж 1225 экз. Уполн. Главлита № Б-8944.
РИСО № 360. АНИ № 337. Зак. № 5189.

1-я Образцовая типография Огиза РСФСР треста „Полиграфкнига". Москва, Валовая, 28.

ПРЕДИСЛОВИЕ

Засоленные почвы занимают на территории Советского Союза значительную площадь. Так, ориентировочные подсчеты проф. В. П. Бушинского (1922 г.) показали, что площадь засоленных и солонцеватых почв различного типа достигает в СССР 25% поверхности (исключая Кавказ). Более поздние подсчеты акад. Л. И. Прасолова (1931, 1932 гг.), проведенные на новом картографическом материале, позволили уточнить эту величину. Но и эти данные показывают, что различные засоленные почвы в СССР составляют до 10% от всей поверхности суши.

Географическое распределение засоленных почв совпадает с наиболее теплыми и богатыми солнцем областями Советского Союза, областями зернового, свекловичного хозяйства и хлопководства. Так, в зоне чернозема и каштановых почв — основных районах культуры зерновых площадь засоленных и солонцеватых почв достигает до 900 000—1 000 000 кв. км. В борьбе за выполнение лозунга тов. Сталина 7—8 млрд. пудов зерна урожая ежегодно планомерная мелиорация солонцов на полях колхозов и совхозов должна занять свое место на ряду с другими приемами поднятия урожая зерновых культур.

В основных районах хлопководства Средней Азии и Закавказья площадь засоленных почв вместе с каменистыми пустынями достигает также величин порядка 900 000 кв. км — 1000 000 кв. км. Кроме того, часто неправильная техника искусственного орошения и незнание почвенного покрова при проектировке и постройке ирригационных сооружений приводят к засолению почв ранее незасоленных. В некоторых районах орошаемого земледелия Ср. Азии и Закавказья площадь засоленных при орошении почв достигает до 30—40% освоенной территории.

Все это говорит за то, что задача изучения засоленных почв, разработка способов их мелиорации, выработка приемов профилактики засоления при орошении являются важнейшими вопросами советской агрономической науки и в особенности почвоведения.

Годы 1-ой и 2-ой пятилеток, приведшие нашу родину к окончательной победе социализма и создавшие исключительные условия для развития советской науки, вызвали обширные исследования засоленных почв в различных частях Советского Союза.

Автор, по поручению Института почвоведения Академии Наук СССР, в течение четырех лет работал над изучением засоленных почв Заволжья в связи с проблемой его мелиоративного районирования и орошения. За-

дачи, поставленные правительством и партией, удвоить, утроить урожайность в социалистическом земледелии, по-новому поставили методы изучения почв.

Чтобы поднять плодородие почвы, необходимо знать, как и в каком направлении почва развивается. Отсюда неизбежен единственно правильный метод изучения почв исторический, который автор старался сознательно применить в частном вопросе изучения засоленных почв. В итоге четырехлетних работ, которые продолжаются и дальше, переходя все больше в стационарные формы, у автора на засоленные почвы Заволжья сложились воззрения, сформулированные им в 1933 г. на Ноябрьской сессии Академии Наук, посвященной проблемам Волго-Каспия.

Настоящая работа является дальнейшим результатом обработки собранных материалов и вместе с тем попыткой развития и распространения изложенных тогда взглядов на основные группы известных к настоящему моменту засоленных почв. Здесь не ставится задача полного обобщения всего опубликованного и неопубликованного материала о засоленных почвах. Но вместе с тем автор старался подобрать и отметить последовательность и содержание всех тех работ и фактов, которые являлись новым шагом в изучении природы засоленных почв и в особенности стадий миграции солей и солончаково-солонцевого почвообразования.

В основу работы легли материалы личных исследований автора в Заволжье, а также выполненные им сводка, сопоставление и обработка опубликованных материалов других исследователей. Кроме этого, в работе использованы и обобщены неопубликованные результаты нижневолжских экспедиций Докучаевского института.

Наблюдения за режимом влажности и солей в солонцах Каспийской равнины проведены в Джаныбекском стационаре близ оз. Эльтон.

По разделу IV «Солонцы» работа финансировалась в 1935 г. Нижневолгопроектом, который в лице И. Ф. Садовникова горячо пошел навстречу нашему предложению углубленно проработать типы солонцов Заволжья. Большая часть химических исследований и анализов была выполнена в руководимой автором Лаборатории засоленных почв химиками Феофаровой, Гевельсон, Ковалевой, Королевой, Кадер, Мамаевой и Максимюк. Другая часть анализов выполнена под руководством С. С. Король в Аналитической лаборатории института химиками Комаровой, Калужской, Соболевой, Трейлих, Перикальской.

Всем названным товарищам автор выносит свою благодарность. Автор считает также своим приятным долгом принести благодарность акад. Б. А. Келлеру и акад. Л. И. Прасолову за ценные указания при выполнении настоящей работы.

ГЛАВА I

КРАТКИЙ ОБЗОР ИСТОРИИ ИЗУЧЕНИЯ ЗАСОЛЕННЫХ ПОЧВ

Начало изучения засоленных почв в России, первые попытки их разделения и описания уходят к средине 90-х годов прошлого столетия. Соответственно работам русских почвоведов, главным образом, в черноземных областях, первые описания засоленных почв относятся к солонцам, свойственным этим областям.

В 1894 г. П. А. Земятченский дает впервые исчерпывающее описание морфологии солонцов и устанавливает характерный для них столбчатый иллювиальный горизонт. В химизме этих солонцов П. А. Земятченский находит в качестве особенностей выщелоченность верхних горизонтов, присутствие углесолей и гипса в более глубоких горизонтах, подвижность органических соединений, переходящих в водную вытяжку (67).

По выщелоченности солей, дифференциации полуторных окислов и кремнекислоты, образованию иллювиального горизонта B и светлого горизонта A_2, описанные П. А. Земятченским солонцы рассматривались как образования, близкие к подзолам. Аналогию между процессами развития солонцов и подзолообразованием проводил в своих исследованиях того времени и К. Д. Глинка (183). Однако в группе засоленных почв для Полтавской губернии им же различаются «злостные солонцы» (ныне солончаки), характеризующиеся присутствием хлористых и сернокислых солей на поверхности, и «солонцы котловинок», для которых характерным оказалось присутствие сернокислых солей и соды.

К тому же времени относятся первые попытки связать образование засоленных почв Шипова леса и Старобельского участка с выходами третичных соленосных пород, речными террасами и движением солей в грунтовых, ключевых и поверхностных водах (Танфильев).

Следует отметить, что эти первые шаги в изучении засоленных почв связаны с именем В. В. Докучаева, который был непосредственным руководителем и редактором названных работ.

Отметим здесь же, что в своей классификации почв еще в начале 90-х годов В. В. Докучаев различал так называемые «вторичные солонцы» и «белясые» почвы, свойственные черноземным и каштановым степям; топографически они приурочены, по В. В. Докучаеву, к низинкам среди других почв и вторым террасам. Кроме того, в группе «аномальных, кос-

мополитных» почв им различались образующиеся в приречных, приозерных и приморских влажных низменностях соленые грязи-хаки, лиманные образования и марши.

Все же к началу текущего столетия почвоведение еще не различало в засоленных почвах солончаков и солонцов, употребляя часто эти названия как синонимы для одного и того же явления.

Однако некоторые черты учения о засоленных почвах формулировались соответственно общему уровню науки настолько глубоко и правильно, что во многих современных воззрениях можно проследить их прямое влияние и отражение.

Здесь необходимо особо отметить исследования Г. Н. Высоцкого, опубликованные в 1899—1905 гг. (1). Развивая гипотезу эолового происхождения солей в степях, Г. Н. Высоцкий уже тогда сформулировал принимаемые нами и поныне положения о грунтовой воде как основном факторе миграции солей от водоразделов к лощинам и рекам, о капиллярном передвижении растворов солей к поверхности почв и испарении их с образованием солончаков, о дренирующей роли оврагов, балок, рек и их роли в миграции солей, о роли смыва выцветов солей в рассолении почв и т. д. Им же введено к тому времени разделение солончаков на солончаки поверхностные и солончаки подпочвенные, когда капиллярные растворы испаряются в грунте, не достигнув поверхности, перехватываясь чаще всего корневой системой растительности.

Почти одновременно (1900 г.) А. Гордягиным были опубликованы результаты его экспедиций 1894—1898 гг. в Западной Сибири (2). А. Гордягин различал структурные солонцы — сухие и солонцы бесструктурные — мокрые.

Из тщательных описаний условий распространения, морфологии и аналитической характеристики засоленных почв можно легко видеть, что «мокрые солонцы» — это современные солончаки, а «структурные солонцы» — солонцы.

А. Гордягину принадлежит приоритет в установлении синонимики его и современной ему американской номенклатуры засоленных почв.

Обнаружив, что для структурных солонцов характерно присутствие в столбчатых горизонтах углекислых щелочей, Гордягин приходит к выводу, что щелочные солонцы Калифорнии, описанные Hilgard, и структурные солонцы Сибири являются гомологами.

Бесструктурным солонцам (солончакам ныне), как установлено было впервые Гордягиным, щелочная реакция не свойственна. При всем этом теоретические воззрения Гордягина были крайне далеки от современных. Найдя в бесструктурных солонцах (солончаках) признаки обогащения кремнекислотой, автор считал, что процесс их эволюции в известной степени близок к подзолистому.

Далек был А. Гордягин и от установления генетической связи между бесструктурными и структурными солонцами. Больше того, А. Гордягин горячо полемизировал с Выдриным и Ростовцевым, которые в итоге своих исследований в Алтайском округе пришли к выводу, что бесструктурные солонцы путем выщелачивания переходят через ряд стадий в «затвердевшие с поверхности солонцы». Оказав большое влияние на своих современ-

ников, Гордягин надолго задержал в то же время решение основной проблемы о генетической связи солончаков и солонцов.

Отчетливо различаются «мокрые солончаки» и «столбчатые солонцы» в исследованиях В. С. Богдана (1900 г.) на территории Валуйской опытной станции и прилегающей части Каспийской низменности (184). Генезис солончаков В. С. Богдан связывает с близким уровнем грунтовых вод в депрессиях. Образование солонцов и уплотнение их горизонта, по В. С. Богдану, обязано присутствию соды, способной растворять перегной. Тогда же В. С. Богданом вводится ряд представлений о возникновении микрорельефа и комплексности почв при опреснении засоленных равнин, об эволюции солонцов в сторону рассоленных каштановых почв.

К 1902 г. в понимание процессов образования солонцов вводится ряд новых представлений самарскими почвоведами С. С. Неуструевым и А. Бессоновым (185). Авторы различали в Новоузенском уезде: а) «структурные почвы», опресненные с поверхности, отличающиеся слоистостью верхнего рыхлого пористого горизонта и столбчато-призматическим строением следующего плотного, бурого горизонта; в) бесструктурные «мокрые солончаки», для которых типично большое содержание хлоридов и сульфатов на поверхности.

Генезис первых авторы поставили, пожалуй, впервые в связь с миграцией тонких коллоидальных глинистых частиц в нижние горизонты. Образование вторых отнесено на счет соленых озер и грунтовых вод. Со временем разделение самарскими почвоведами засоленных почв на структурные и бесструктурные вошло в сводки К. Д. Глинки и через него в международную литературу по почвоведению, в особенности в Венгрии (Sigmond).

Позже, в 1903 г., П. С. Коссович (3), обобщая современный ему материал и излагая свои воззрения на засоленные почвы, различал две группы солонцов:

1. К о р е н н ы е с о л о н ц ы, т. е. развившиеся на соленосных горных породах, содержащие в большом количестве нейтральные соли (нейтральные солонцы), которые выцветают на поверхности почвы (белые солонцы).

2. С о л о н ц ы в ы в е т р и в а н и я (щелочные солонцы, черные солонцы), содержащие преимущественно соду.

В этом разделении и номенклатуре явно заметно влияние американских почвоведов.

Очевидно, что под коренными солонцами понимались современные солончаки, а под солонцами выветривания, т. е. солонцами, измененными выветриванием, — современные солонцы.

Отметим здесь же, что Коссович, в отличие от преобладавшего тогда мнения об аналогичности солонцового процесса и подзолообразования, поставил образование обогащенного SiO_2 верхнего горизонта и обогащенного R_2O_3 иллювиального горизонта в зависимость от влияния соды, которая и обусловливает в солонцах «щелочное выветривание» минералов с выпадением аморфной кремнекислоты.

К тому же времени относятся исследования Л. И. Прасолова и С. С. Неуструева в Николаевском уезде (186). Авторы различают здесь солонцы

влажных котловин — солончаки, приуроченные к западинам с близкими грунтовыми водами и к берегам озер, и солонцы светлобурые, залегающие на выпуклых элементах поверхности террас речных долин в комплексе с незасоленными почвами. Здесь также для объяснения генезиса солонцов привлекается теория миграции глинистых частиц из поверхностного горизонта вниз.

Капитальным фактическим материалом в учении о засоленных почвах явились в 1907 г. исследования Н. А. Димо и Б. А. Келлера (4а). Н. А. Димо ввел ряд совершенно новых понятий и представлений в учение о засоленных почвах.

Солонцы полупустынных районов Сарепты б. Царицынской губернии авторами были расчленены по соотношениям горизонтов *A* и *B* и их морфологии на солонцы: корковые, корково-столбчатые, столбчатые, глубокостолбчатые.

Далее, в зональном аспекте Н. А. Димо различает солонцы черноземные, солонцы полупустынные. Эволюция солонцов автору рисуется в направлении, аналогичном подзолообразованию. При этом в отрицательных элементах рельефа при длительном выщелачивании формируются «типичные подзолы полупустыни», в которых современный читатель узнает солоди.

В числе солончаков Н. А. Димо различает «соры» — высыхающие озера и луговые мокрые солончаки. Генезис солончаков обязан влиянию грунтовых вод. При этом по скорости миграции солей в солончаках первое место занимают карбонаты, затем сульфаты и, наконец, хлориды. Этот ряд автором, очевидно, установлен для солончаков, периодически промываемых, и уже в работах по Средней Азии рисовался ему в обратном порядке.

В своих лекциях, читанных в 1911 г. при Географическом бюро и кратком «Введении в изучение почвоведения», составленном в 1912 г. и изданном в 1913 г. под названием «Почвообразование, характеристика почвенных типов и географии почв» (5), К. Д. Глинка различает в группе почв временноизбыточного увлажнения структурные солонцы и солонцы бесструктурные, или солончаки. Однако, несмотря на то, что К. Д. Глинка к этому времени обладает огромным фактическим материалом географических исследований Переселенческого управления, он чрезвычайно далек от установления генетической связи между почвами обеих групп. К. Д. Глинка дает обстоятельную по тому времени характеристику морфологии и химизма засоленных почв различных групп, рассматривая их все же как совершенно независимые образования. Примыкая к предшественникам, К. Д. Глинка различает по морфологии столбчатого горизонта солонцы: столбчатые, призматические и комковатые или глыбистые, а позже и ореховатые. Эти формы солонцов автор, однако, еще не пытался поставить в ряд общего солонцового процесса. По тону окраски солонца и географическим условиям он различал также солонцы черноземные, каштановые, бурые (типичные для соответствующих зон), не устанавливая и здесь генетической связи во времени между названными формами.

К. Д. Глинка описывает также и форму коркового солонца, рассматривая последний как солонец столбчатый, подвергнувшийся влиянию

поднявшихся к поверхности хлористых и сернокислых солей, разрушивших столбчатый горизонт. На ряду с этим К. Д. Глинке известны также и явления деградации солонцов и превращения их в «почву подзолистого типа», как он пишет, не различая еще подзолистые почвы и солоди.

Основными факторами образования солонца К. Д. Глинка считает в то время двууглекислую соду, являющуюся, по его мнению, главным образом, результатом минерализации органического вещества почвы, и промывание почвенных горизонтов нисходящими растворами.

Солончаки, называемые К. Д. Глинкой вслед за Гордягиным и самарскими почвоведами еще и «мокрыми бесструктурными, поверхностными солонцами», разделялись им на формы зональные — черноземный, каштановый солончак и пр., и на формы по характеру солей — галоидные, галоидно-сульфатные, сульфатные, карбонатные солончаки. Первоисточниками солей К. Д. Глинка считает, главным образом, продукты разложения органических веществ и, во-вторых, процессы выветривания. Соли сносятся в отрицательные элементы рельефа с высоких пунктов, поэтому солончаки связаны с отрицательными формами поверхности. Впрочем автор указывает и на грунтовые воды как фактор транспорта и скопления солей на поверхности почв.

Несмотря на то, что К. Д. Глинка рассматривает и солончаки и солонцы в одной группе почв временноизбыточного увлажнения, он так и не подошел к проблеме генетической связи обеих форм. Нужно все-таки отметить, что сообщая фактическую сторону вопроса, К. Д. Глинка указывает на отсутствие резких границ между солончаками и солонцами и на существование ряда переходных форм, имеющих смешанный облик.

Позже, после опубликования работ К. К. Гедройца, К. Д. Глинка во втором (1915 г.) и третьем (1926 г.) изданиях своего курса «Почвоведение» целиком уже разделяет идею генетической связи во времени солончаков и солонцов, считая, однако, возможным случай образования солонцов и без стадии классических солончаков при периодической смене восходящих солевых растворов, насыщающих натрием почвенную массу, пресными нисходящими растворами за счет атмосферных осадков.

Интересно, что в том же 1912 г. выходит знаменитая по своему значению в почвоведении статья К. К. Гедройца «Коллоидальная химия в вопросах почвоведения» (6). Эта статья, явившись как бы конспектом всех последующих работ К. К. Гедройца, на глубоком и многочисленном экспериментальном материале (последовательные водные вытяжки, искусственное засоление и отмывание черноземных почв и образование соды при этом) впервые экспериментально доказала генетическое происхождение солонцов из натриевых солончаков в процессе развития последних при выщелачивании. Впервые солончак и солонец рассматривались автором как стадия одного общего процесса смены засоления почв — рассолением.

В 1914 г. появляется известная обзорная работа Н. А. Димо (7) о засоленных почвах на территории России. Н. А. Димо выделял в числе солончаков по химизму: солончаки карбонатные (в северных областях), содовые (в северных районах черноземных степей), хлоридно-сульфатные и сульфатно-хлоридные (в районах юго-востока и Средней Азии).

Автор, как это понятно для того времени, не различал генетической связи между солончаками и солонцами. Однако солонцы, их морфология и состав солей были им обстоятельно разобраны и охарактеризованы. Н. А. Димо обратил внимание на то, что солонцы северных районов характеризуются присутствием лишь соды и щелочных солей органических кислот. В нижних горизонтах солонцов южных районов появляются гипс, сульфаты и хлориды натрия. Сода при этом исчезает, как не могущая существовать рядом с гипсом.

Поэтому, чем ближе уровень грунтовых вод, тем выше к поверхности солонца соли и менее развита его столбчатая структура. Крайними типами при этом являются корковый и корково-глыбистые солонцы. Н. А. Димо различал еще в степях Каспийской равнины так называемые кокпековые солонцы, очень богатые солями, но плохо морфологически выраженные. Это те солонцы, которые мы теперь относим к группе солончаковатых солонцов. Наиболее солидная для того времени обзорная сводка Н. А. Димо была снабжена, кроме того, данными о токсичности солей и о способах мелиорации солончаков (дренаж и промывка) и солонцов (гипсование).

Здесь же надо отметить блестящую работу П. С. Коссовича о круговороте серы и хлора на земном шаре. Эта работа впервые внесла в почвоведение геохимические представления, дав подлинно научный анализ миграции Cl' и SO''_4 в процессах выветривания и движения грунтовых вод, притока их с атмосферными осадками и выноса культурными растениями (8).

П. С. Коссович, опираясь на известные исследования F. W. Clarke и Th. Arldt, впервые убедительно показал, что выветривание массивных пород, вулканические выделения и соли, аккумулированные при «сгущении соляной кислоты в первозданном океане», явились источниками солевых масс в земной коре. Путем сравнительно простых расчетов П. С. Коссович показал значимость в почвообразовании атмосферного притока солей. Работы Коссовича оказали большое влияние на русское почвоведение вообще. Прослеживается оно также и на учении о засоленных почвах.

Позднее историко-генетические воззрения на генезис солонцов, повидимому, независимо от К. К. Гедройца, проявились очень ярко у Т. И. Попова в его работе «Происхождение и развитие осиновых кустов», напечатанной в 1914 г. (9). Однако Т. И. Попову, очевидно, осталось неизвестной опубликованная перед этим в 1912 г. статья К. К. Гедройца «Коллоидальная химия...», так как он целиком принимает объяснение генезиса солонцов, развитое К. Д. Глинкой, считая источником солей и в том числе соды минерализацию органических остатков, а основной причиной их аккумуляции в депрессиях — поверхностный сток. Однако Т. И. Попов отчетливо указывает на солончаковатость как на начальную стадию образования солонца.

Важно также отметить разделение Т. И. Поповым солонцов Воронежской губернии при их эволюции на солонцы столбчатые, солонцы с обнаженным горизонтом *B* (образующиеся в результате отмирания дернины и развевания горизонта *A* у солонцов депрессий), солонцы заболоченные,

солонцы деградированные «оподзоленные» (солоди?), болотные оподзоленные почвы — осоковых кочкарных болот. Все эти формы солонцов, по данным автора, последовательно сменяют во времени друг друга.

Обстоятельные материалы Т. И. Попова, снабженные подробными геоботаническими данными, к сожалению, совершенно не подкреплены аналитически.

В следующем 1913 г. идеи Гедройца проникают уже в среду почвоведов-географов. В. Г. Касаткин в своих исследованиях почв вдоль трассы б. Троицкой железной дороги в Сибири впервые применил теорию Гедройца к пониманию географии и генезиса засоленных почв трассы. Им же был переброшен мостик между химическими воззрениями Гедройца и геоморфологией засоленных почв (187).

А. И. Хаинский, исследуя и описывая почвы южной части Семипалатинского уезда (10) в 1916 г., выделил особую форму солончаков — «периодический солончак».

Этот солончак занимает как бы промежуточное положение между солончаками и солонцами и обусловлен сезонным колебанием грунтовых вод и связанной с этим перемежаемостью засоления и рассоления. Периодический солончак может даже иметь уплотненный, несколько темный комковатый структурный иллювиальный горизонт.

Следующим значительным вкладом в учение о засоленных почвах и в развитие историко-генетических воззрений на процессы почвообразования явилась обширная монографическая сводка Д. Г. Виленского «Засоленные почвы, их состав, происхождение, способы улучшения» (1924 г.).

Опираясь на теоретические воззрения К. К. Гедройца, на свой опыт изучения почв Поволжья и исходя из последовательных эволюционных дедукций, автор приходит к ряду новых существенных выводов.

I. Солончаки, давшие начало солонцам, сформировались в сухую послеледниковую эпоху, когда сухой и теплый климат, с одной стороны, обилие озер, высокий уровень воды в реках и высокий уровень грунтовых вод, с другой, — способствовали образованию местных скоплений водорастворимых минеральных солей в поверхностных горизонтах грунтов

II. Различные формы солонцов, известные в различных физико-географических условиях, «представляют собой отдельные стадии последовательного метаморфоза солончаков».

III. Взаимоотношение между (известными к тому времени) формами солончаков и солонцов охватывается следующей схемой:

1. Незасоленный грунт —>2. минеральные солончаки —>3. сухие минеральные солончаки —>4. комковатые и призматические хлоридно-сульфатные солонцы —>5. столбчатые хлоридно-сульфатные солонцы —>6. столбчатые содовые солонцы —>7. ореховатые солонцы.

IV Для сухих полупустынных степей первой стадией рассоления является такыр, — стадия, не установленная для более влажных и холодных областей.

V. Формы солонцов 5, 6, 7 под влиянием промывания могут подвергаться деградации, давая соответственно так называемые «беляки», «подзоловидные солонцы» и другие виды, являющиеся дальнейшими стадиями эволюции засоленных почв «деградированного ряда».

VI. Примыкая к принятым ранее воззрениям, факторами эволюции солончаков Д. Г. Виленский считал аккумуляцию солей при испарении капиллярных растворов грунтовых вод на поверхности почвы, а факторами эволюции солонцов — разрыв связи почвенных горизонтов с грунтовыми водами и промывание почвы.

Дальнейшим этапом изучения установленных ранее стадий солончаково-солонцового процесса явились изданные в 1925 г. (впоследствии переизданы) и 1928 г. работы К. К. Гедройца: «Почвенный поглощающий комплекс» и «Солонцы, их происхождение, свойства и мелиорация» (12,13).

В обеих работах автор развивает и глубже обосновывает свои идеи, высказанные в 1912 г. и получившие уже широкое и всеобщее признание.

Автор устанавливает четыре связанных генетически (во времени) между собою стадии солончаково-солонцового процесса: солончак—→солончак-солонец—→солонец—→солодь, допуская существование ряда переходных форм. Новым, очень существенным, но недостаточно использованным и до сих пор, является положение К. К. Гедройца о господстве в природе периодичности, определенного сезонного ритма, перемежаемости в засолении и рассолении, приводящем как к полному насыщению поглощающего комплекса Na, даже при малых концентрациях солей в грунтовых и поверхностных водах, так и к удалению из почвы продуктов реакций обмена. Солончак и солончаковатость различного типа (периодическая или однократная, связанная с грунтовыми и поверхностными водами или, наконец, связанная с материнской породой) рассматриваются автором как обязательный предшественник солонца и солонцеватости. Точно так же и солонец и солонцеватость являются обязательными предшественниками солоди и осолодения.

К. К. Гедройц впервые анализирует особенности и эволюцию солончаков кальциевых, натриевых, смешанных, устанавливая, естественно, совершенно особый несолонцовый цикл развития для кальциево-магнезиальных солончаков; при этом устанавливается для карбонатов кальция (меньше) и в особенности для гипса способность понижать выраженность или полностью исключать возможность возникновения и развития солонцовой стадии и стадии солоди в случаях большого их содержания в солончаках.

Особенно глубоко в этих работах рассматривается процесс образования и роль соды в засоленных почвах. Основным источником образования соды в природе автор, вопреки воззрениям Hilgard, Treitz и Глинки, считает поглощенный Na засоленных почв. Сода возникает только на стадиях солонцов и солонцеватых почв, когда из солончака уже вымыты хлориды и сульфаты Na настолько, что Ca и Mg карбонатов или H водных растворов углекислоты почвы могут заменить Na в поглощающем комплексе.

В связи с этим наиболее богатыми содой будут солонцы карбонатные, а факторами, увеличивающими содержание соды в солонце (величина вообще чрезвычайно изменчивая), будет все то, что увеличивает «растворимость углекислого кальция и количество водородного иона в почвенном растворе», т. е. углекислота.

Возникшая в солонцах сода способна к медленной миграции и образованию особых содовых солончаков и солонцов, глубинных осолонцованных горизонтов.

В этот же период 1928 г. концепция К. К. Гедройца была подтверждена еще раз С. И. Тюремновым в «производственном эксперименте» засоления почв южного участка Джафараханской опытной станции при орошении в 1916—1917 гг. и их рассолении в 1925 г. (Мугань, Закавказье, 14).

Исследования этого участка в начале орошения в 1916 г., затем в разгар засоления при орошении в 1917 г. и, наконец, спустя 9 лет, в 1925 г., после многолетней заброшенности, полностью подтвердили правильность воззрений К. К. Гедройца как на генетическую связь солонца и солончака, так и на источник соды в солонце.

Почвы приобрели после засоления и рассоления признаки солонцеватости, что в особенности проявилось на развитии высокой щелочности вообще и от нормальных карбонатов натрия в частности.

В закономерностях миграции солей С. И. Тюремнов отмечает ряд новых существенных особенностей.

1. Хлориды в грунтах передвигаются быстрее сульфатов, чем и объясняется «преобладание сульфатного засоления выше по р. Куре и хлоридного в низовьях». Это положение подтвердило соображения, высказанные ранее С. П. Кравковым и Н. А. Димо.

2. Интенсивность капиллярного накопления солей в грунтах не зависит от метеорологических условий сезона, оставаясь близкой к стабильной во все времена года.

3. Для глинистых грунтов характерно более медленное поднятие капиллярных растворов солей, однако, на значительно большую высоту, чем для грунтов супесчаных и песчаных.

4. Поверхность солончаков характеризуется абсолютным и относительным преобладанием $CaCl_2$ (отчасти $MgCl_2$), по сравнению с горизонтами глубинными, так как хлорид кальция, образующийся при обменных реакциях NaCl и почвы, мигрирует к поверхности почвы.

Из материалов С. И. Тюремнова можно установить, что в солончаковом процессе он различал:

а) стадию начального засоления, не достигшего постоянной, предельной точки поднятия солей. Эта стадия отличается преобладанием хлоридов и уменьшением суммы легкорастворимых солей снизу — вверх;

б) стадию «питающегося солончака», характеризующегося смыканием горизонта выпадения солей из раствора с поверхностью и образованием максимума солей на поверхности и уменьшением их к низу;

в) начальную стадию рассоления, обусловленную падением уровня грунтовых вод и промыванием, характерную относительным преобладанием сульфатов в верхней части профиля под хлоридами.

Автором установлено чисто эмпирически пять градаций степени засоления почв по сумме солей в процентах:

< 0.3 — незасоленные почвы,
0.3 — 1.0 — начальные, слабые стадии засоления,
1 — 2 — почвы засоленные,
2 — 3 — сильно засоленные почвы,
> 3 — солончаки.

Наконец, к 1930 г. исследования К. К. Гедройца подтвердились еще в большей степени экспериментами Д. Г. Виленского, произведенными в Харькове на полевых делянках, поверхность которых была обработана различными солями натрия.

После двух лет естественного опреснения на делянках развились карликовые солонцы с осолоделым горизонтом мощностью в 2 см и иллювиальным горизонтом мощностью в 5 см. Засоленная поверхность по уровню несколько опустилась относительно остальной территории (189).

К тому же времени (1927—1930 гг.) Д. Г. Виленский, основываясь главным образом на примере Украины, вводит в учение о засоленных почвах новое понятие и особую стадию в эволюции засоленных почв — их реградацию. Уже в своей первой сводке 1924 г. Д. Н. Виленский различал в классификации реградированные солончаки, возникающие в процессе заболачивания осолодевающих солонцов и смены рассоления засолением.

После исследований почвенного покрова в Присивашье со стороны Украины (Т. Таранец, 70) и солонцов террас Днепра, Д. Г. Виленский связывает реградацию солончаков с современным поднятием уровня Азовского и Черного морей. Изменения в гидрологическом режиме побережья и террас вызвало поднятие грунтовых вод и засоление солонцов и солодей. Автор различает три основных фазы (степени) реградации: слабую, среднюю, сильную, когда вторичная аккумуляция солей соответственно проявляется в подстолбчатом, столбчатом и поверхностном горизонтах. В этих (188) и последующих (190) работах Д. Г. Виленский уже склонен все солончаковатые солонцы на территории СССР рассматривать как результат реградации, что при такой всеобщей постановке уже трудно разделять, поскольку колебания базиса эрозии даже на Черноморском побережье весьма различны в северо-западной и юго-восточной частях. Тем более спорно это для таких замкнутых бассейнов, как Каспийское и Аральское моря, которые в четвертичное время в общем сокращают свои границы.

Работы К. Д. Глинки, а позже К. К. Гедройца и других советских почвоведов, разделявших воззрения К. К. Гедройца на засоленные почвы, оказали глубокое влияние на европейских и американских исследователей, полностью принявших учение К. К. Гедройца, о чем свидетельствуют и опубликованные работы этого периода и прямые указания в иностранной литературе (Arany).

В Западной Европе областями распространения засоленных почв являются: Венгрия, Балканы, отчасти Югославия, Чехословакия, Италия, Испания. И по размеру засоленной территории и по числу форм засоленных почв наибольшее значение имеет Венгрия.

Засоленные почвы здесь приурочены к так называемой Венгерской низменности, являющейся аккумулятивным очагом для солей. При этом, судя по указаниям Treitz и 'Sigmond, равнины, примыкающие к р. Тиссе и ее притокам, имеют почвы типа солонцов, а низменное междуречье Тисса — Дунай характеризуется развитием бесструктурных содовых солончаков, содовых соляных озер. Содовые солончаки близ озер или после их высыхания часто содержат в громадном количестве (25%) нормальные карбонаты щелочей (15) и их pH доходит до 9—10.

'Sigmond в литературной сводке о засоленных почвах «Salzböden» в «Handbuch der Bodenlehre», изданной в 1930/31 г. (15), различает в солончаково-солонцовом процессе четыре стадии:

I. Saline Böden — накопление щелочных катионов солей в количестве >12% м.-экв. и образование солончаков (Salinisation).

II. Saline alkali Böden — поступление в поглощающий комплекс не менее 12% м.-экв. K и Na (Alkalinisalion).

III. Desalinisirte alkali Böden (солонцы) — выщелачивание солей до количества 0.1—0.2% (Desalinisation).

IV. Degradierte alkali Böden — солоди с признаками ненасыщенности (Degradation).

Сопоставление этих стадий со стадиями К. К. Гедройца показывает полное совпадение их (исключая разделения 'Sigmond I и II стадий) и широкое применение автором воззрений К. К. Гедройца, к сожалению, без достаточной ссылки на это.

Отдавая должное заслугам венгерской школы почвоведов в сборе большого фактического географического и аналитического материала о засоленных почвах и в особенности в деле мелиорации засоленных почв и развитии опытных почвенно-мелиоративных стационарных работ (последнее на высоком уровне и сейчас), очень трудно согласиться с той хронологической схемой последовательности развития теоретического понимания процессов образования засоленных почв, которую несколько ранее, в 1929 г., на Международной конференции солонцовой подкомиссии развивал глава венгерской школы почвоведов 'Sigmond (16).

Из предшествующего обзора литературы с очевидностью следует, что к 1920 г. учение о засоленных почвах в том виде, как оно существует сейчас, уже сложилось благодаря работам Глинки, Коссовича, Гейдройца, Попова, Виленского. Однако, повидимому, не зная этих работ даже в 1929 г. и оставаясь еще на почве воззрений Глинки 1914 г., 'Sigmond в 1929 г. сообщает, что он «проверил и подтвердил» (verified) в своих работах 1923, 1926, 1927 гг. идеи Глинки о роли избыточного увлажнения и близких грунтовых вод в образовании засоленных почв, что им, 'Sigmond, установлено, что sziksoil (солонцы) и continental saline soil (континентальные солончаки) представляют почвы различного типа, в эволюции которых принимают участие три фактора: сухой климат, непроницаемая подпочва и метеорологические условия, приносящие почве периодическое переувлажнение. Таким образом, если в СССР к этому времени развиваются идеи эволюционной связи солончаков и солонцов, если установлен уже ряд частных стадий этого процесса и дано теоретическое обоснование мелиорации засоленных почв, то школа 'Sigmond в Венгрии в этот период далеко не подошла еще к концепции Гедройца даже 1912 г.

Необходимость подобного же разъяснения вызывает и вопрос о происхождении соды. В этом случае изложению учения К. К. Гедройца об образовании соды 'Sigmond предпосылает замечания о своих работах 1903 и 1906 гг., в которых им указывалось на нахождение соды в более или менее карбонатных засоленных почвах.

Можно подумать, что К. К. Гедройц лишь продолжил работы и указания своего предшественника, не дав ничего нового в этом вопросе. Между

тем из работ 'Sigmond читателю видно, что образование соды в солонцах не рассматривается им как существенная особенность солонцовой стадии. Сода и солонцовые свойства автором не связаны друг с другом.

В еще большей степени восприняты идеи К. К. Гедройца в американской литературе, принявшей русскую терминологию — solonchak, solonetz и учение об их генетической связи. Это влияние советского почвоведения началось особенно сильно с момента I Международного конгресса почвоведов и совместной экскурсии участников конгресса летом 1927 г. в Америке. Доклады советских ученых и непосредственный показ в поле на разрезах были восприняты глубоко. Переводы работ К. К. Гедройца на английский язык также дали определенное направление американскому почвоведению.

До этого учение о засоленных почвах США питалось в основном исследованиями крупнейшего американского исследователя-почвоведа и практика-агронома E. W. Hilgard (17). Hilgard различал континентальные и приморские засоленные почвы. Как увидим ниже, эти понятия были восприняты рядом русских и позже советских почвоведов, сохранив свою значимость и сейчас.

Hilgard различал в засоленных почвах две группы: white alkali soils (белые засоленные почвы-солончаки) и black alkali soils (черные засоленные почвы — содовые солончаки и солонцы). Эти разделения и терминология закрепились в американском почвоведении и посейчас, когда, с одной стороны, они получили советское содержание, а, с другой, — стали заменяться советскими названиями: солончак, солонец.

Знаток засоленных почв США W. P. Kelley в ряде случаев пользуется как этими категориями, так и основными идеями К. К. Гедройца о засоленных почвах. Однако неполное знание советской литературы о засоленных почвах вводит в заблуждение даже такого эрудита в этих вопросах, как W. P. Kelley.

Сюда нужно отнести почти обычный для его работ упрек К. К. Гедройцу в том, что он якобы утверждает о невозможности мелиорации карбонатных солончаков простым промыванием их поливными водами, хотя К. К. Гедройц дал классический анализ особенностей эволюции солончаков, насыщенных различными катионами, в том числе солончаков кальциевых, как с $CaCl_2$ и $CaSO_4$, так и с $CaCO_3$, отнеся солончаки последнего типа к «самомелиорирующимся», не дающим солонцов или дающим лишь слабые их формы.

Таким же примером может быть анализ механизма образования соды и обратного вытеснения Na. Известно, что К. К. Гедройц считал главным путем вытеснения Na из поглощенного комплекса замещение его Н. К этой точке зрения присоединяется Kelley и дает химические формулы механизма реакции, не ссылаясь, однако, на первоисточник.

Аналогичной попыткой является выступление на III Международном конгрессе в Оксфорде Kelley и Show (19) с утверждением о том, что почвы, определенные в 1927 г. К. Д. Глинкой и другими советскими почвоведами, как солонцы, содержат лишь 15—20% Na от емкости обмена и поэтому не являются солонцами, так как солонцы должны содержать обменного Na процентов 70—80. Основываясь на этом, Kelley и Show

утверждали о неопределенности понятия солонец и противоречивости между морфологами и химиками. Все это доказывалось очень неполными анализами.

Это выступление, естественно, не имело успеха и получило резкую ответную критику 'Sigmond, Hissink и советских делегатов.

Kelley пополняет систематику засоленных почв особыми формами и расширяет признаки, характеризующие эти почвы.

Black alkali soils, описанные впервые Hilgard, Kelley считает близкими к солонцам, но не идентичными им. Выделяются black alkali soils без характерной столбчатой структуры, значительно обогащенные содой с поверхности. Судя по всему, эти почвы надо отнести к группе содовых солончаков, которые всегда различались советским почвоведением и упоминались Гедройцем, Виленскими и другими.

White alkali soils (солончаки) Kelley разделяет на три основных вида:

а) свободные от растворимого CO_3;

б) Ca — Na солончаки, содержащие высокую концентрацию растворимых солей Ca;

в) тяжелые глинистые почвы.

Как мы видим, разделение солончаков совершенно не генетическое и для советских почвоведов устаревшее.

Существенным новым признаком засоленных почв, отличающим их от других, помимо растворимых солей и поглощенного натрия, по Kelley, является высокое содержание карбонатов и силикатов кальция. Последние являются результатом взаимодействия Ca и Mg с SiO_2, обычно растворенной в соде засоленных почв.

К сожалению, автор не устанавливает ни стадии процесса, для которого это характерно, ни механизма реакции. Значительно обстоятельнее развито у Kelley теоретическое обоснование мелиорации засоленных почв, к чему мы вернемся ниже.

Наши представления о засоленных почвах и связи их с соляными озерами значительно расширились к 1934 г. многолетними исследованиями И. П. Герасимова и Е. Н. Ивановой в Кулундинской степи (23). Авторы установили, что солевые аккумуляции Кулунды образовались при выветривании и почвообразовании в бассейне Кулундинской равнины, перераспределившись на ее поверхности почвенными и подземными водами и накопившись в озерах по мере испарения воды. В процессах этого «континентального соленакопления» степная растительность играет активную роль, накопляя в своей зольной части рассеянные ионы Cl', SO''_4, Na', Mg'' и др. и ведя при минерализации к обогащению ими наземных и подземных вод, мигрирующих в области испарения. На наш взгляд растительность при этом, не изменяя общего геологического процесса движения солей и их накопления, усложняет его добавочным биологическим циклом.

Солевой режим засоленных почв Кулунды тесно связан с сезонным режимом воды в профиле почв. Схематизируя вопрос, Герасимов и Иванова различают 2 основных аспекта в режиме почвенных и подземных вод: аспект максимального обводнения (весна), аспект минимального обводнения (наиболее сухая часть лета).

В таблице 1 с небольшими изменениями мы приводим схему Герасимова и Ивановой, рисующую распределение водных скоплений в обоих случаях.

Таблица 1

Схема распределения водных скоплений в системе почва—порода (выше верхнего водоупорного слоя)

А. Период максимального обводнения	В. Период минимального обводнения
Почва	Почва
Горизонт почвенных вод нисходящего направления (возможны линзы верховодки). ↓ ↓ ↓	Горизонт с переменной влажностью от максимально молекулярной до гигроскопической.
Почвенный слой грунтовой воды.	↑ ↑ ↑ Горизонт капиллярной воды.
Средний слой грунтовой воды.	Средний слой грунтовой воды.
Нижний слой грунтовой воды.	Нижний слой грунтовой воды.
Водоупорная порода.	Водоупорная порода.

Комплексности почвенного покрова Кулундинской степи соответствует комплексность грунтовых вод.

При этом авторы полагают, что «комплексность почвенного покрова создает комплексность почвенного слоя грунтовых вод», так как непокрытые растительностью «голые» пятна поверхности, испаряя сильнее почвенные воды, засоляются энергичнее. В периоды максимального обводнения, отдавая свои соли обратно в грунтовые воды, оголенные пятна обусловливают возникновение более засоленных пятен грунтовой воды.

Авторами было установлено также, что карбонатные, карбонатно-хлоридно-сульфатные и сульфатно-хлоридные озера Кулунды представляют связанные в пространстве и времени фазы развития остаточных эрозионных озер. При этом факторами этой эволюции являются источник питания озер (поверхностное, грунтовое) и проточность.

Радикально отличается от изложенных воззрений на происхождение и эволюцию засоленных почв точка зрения академика В. Р. Вильямса и его учеников. Наиболее подробно она изложена автором в его недавней работе о травопольной системе земледелия на орошаемых землях (24) и курсе почвоведения 1936 г.

Сущность этой концепции заключается в том, что на фоне общей эволюции лесных и степных областей в полупустыню и пустыню (Вильямс) в отрицательных элементах поверхности накопляются солевые продукты ежегодной минерализации растений, образуя солончаки. Малый круговорот зольных элементов, вызываемый различного рода полынями, солянками, камфоросмой и другими растениями, известными высоким (до 15%)

содержанием легкорастворимых солей, со временем, насыщая поглощающий комплекс Na, приводит к превращению незасоленной почвы в солонец, а последний вызывает поднятие солей, засоление солонца (Франциссон, Галкин) и образование солончака.

Процесс этот В. Р. Вильямсом назван «процессом деградации почвенного покрова черноземной зоны» в смысле разрушения органических остатков и перегноя, накопленных в почве раньше, и развития бесперегнойных, бесструктурных и солеиосных почв степей и пустынь.

Уже в почвах переходной зоны, по В. Р. Вильямсу, количество зольных элементов, переходящих в минеральную форму, достигает до 50 т на 1 га.

Специфические для засоленных почв соли и солевые горизонты есть прежде всего результат биологической деятельности растительности. Так, бобовые продуцируют при своем разложении $CaCO_3$, $CaSO_4$, Na_2SO_4 и K_2SO_4 и, что особенно важно, с помощью нитрификаторов нитраты Ca, K, Na. Глубококоренные растения типа бобовых, полыней и особенно кермеков, кроме того, перекачивают хлориды и сульфаты на поверхность почвы из нижних горизонтов. Минерализация злаков является источником подвижных форм кремнекислоты, мигрирующей вместе с водами и выпадающей на поверхность почв склона или «подов» и вызывающей осолодение почв. Биологическое усвоение NO_3, SO_4 ведет одновременно к образованию углекислых щелочей из катионного остатка и углекислоты воздуха. Известная часть соды и гипса образуется и при сезонных реакциях сульфата натрия с углекислым кальцием.

Необходимо отметить, что учение Вильямса о засоленных почвах, особенно его концепция о роли биологических факторов в образовании почвенных солей, далеко еще не использована почвоведением (153).

ГЛАВА II

ПРОИСХОЖДЕНИЕ СОЛЕЙ В ГРУНТАХ И ПОЧВАХ

ГИПОТЕЗЫ ПРОИСХОЖДЕНИЯ СОЛЕЙ

Долгое время, начиная с F. Bischof, C. Baer, C. Ochsenius, скопления солей на континентах рассматривались как осадки солей, растворенных в морской воде и выпавших на дно при испарении моря или его заливов.

Этих воззрений придерживался в Советском Союзе С. И. Тюремнов, рассматривавший океан как первоисточник солей для континента; впрочем для всех тех, кто «импульверизацию» считает основным фактором континентального засоления, океан является первоисточником солей.

Рассматривая вопрос происхождения солей в самом океане, G. Linck (26) отмечал, что общий запас солей в нем около 20 млн. км³, или около 45 биллионов тонн. Из них 34—35 биллионов т — NaCl, 3 биллиона т — $MgCl_2$, 2 биллиона т — $CaSO_4$, 1 биллион т — KCl.

Linck допускал, что хлористые соли океана появились в нем одновременно с его образованием, когда вместе с низвергавшимися массами атмосферных вод поглощались аммонийные и солянокислые пары. Впоследствии соляная кислота отнимала основания от минералов земной коры.

Затем из вулканических эманаций прибавлялись серная и угольная кислоты, также реагировавшие с минералами горных пород.

Современный состав солей океана создался в итоге длительного притока с континентов углекислых солей щелочей, образования их хлоридов и биологического разрушения аммонийных, ранее преобладавших в океане солей с накоплением азота в атмосфере.

Добавим, что, по воззрениям P. Treitz, соли в большой степени обязаны своим происхождением глубоким термальным источникам, широко распространенным в тектонически активных районах (86).

Так, соли, засоляющие почвы Венгрии, обязаны, по мнению Treitz. термальным источникам, выносящим как соли, так и растворенные газы. В качестве широко распространенного примера для Венгрии Treitz приводит анализ воды термального источника с глубины 500—1000 м с температурой 60—70°. Содержание солей равно 4.5 г/л, из них 3.15 NaCl и 1.11— Na_2CO_3.

Содержание газов в 100 объемах достигает: CH_4 — 85.6, N_2 — 7, CO_2 — 5, O_2 — 5.

Повидимому, с этим источником солей необходимо в ряде случаев, действительно, считаться. Treitz полагает, что засоленность почв Испании и Египта обязана этим же источникам, так как обе стороны расположены в геологически дислоцированных активных районах.

Роли эманаций в образовании морских солей Linck придавал тем большее значение, что расчеты показывают, что одни процессы выветривания не могли явиться полным источником солей в океане, так как современная толща осадочных пород на земном шаре меньше той, которая должна была бы накопиться в случае образования солей только при выветривании массовых пород.

Повидимому, совершенно независимо от Linck П. С. Коссович (7), отдавая должную роль выветриванию массивных пород как источнику солей в океане, также указал на недостаточность этого источника. Расчеты Коссовича привели его к выводу, что если все морские соли являются только продуктами выветривания, то исходные материнские породы должны быть в несколько раз богаче хлором, чем известные нам кристаллические породы.

Поэтому и Коссович, с одной стороны, допускает происхождение части солей при образовании океана за счет сгущения паров соляной кислоты, а, с другой, — в большой степени в результате деятельности вулканических выделений. Учитывая роль первичной конденсации соляной кислоты и эманаций, Linck, как и Коссович, а позже и другие исследователи считали выветривание основным источником, дававшим в прошлом и дающим в настоящем большую часть солей в мировом океане. Здесь в особенности сыграли роль исследования основоположника геохимии Clarke, который показал химический состав земной коры, водной оболочки, речных вод и т. д. и, исходя из постоянного притока солей с континента в океан, исчислил его возраст около 100 млн. лет.

Засоленность пустынь Linck объяснял уже чисто вторичными процессами ветрового приноса океанических солей на материки и накопления их вследствие сухости климата. В этом отношении он лишь присоединился к гипотезе Požpny, сформулированной в 1878 г.

В России гипотеза эолового происхождения засоленности почв пустынь была сформулирована Высоцким в 1900 г. как теория круговорота солей между океаном и континентами (27, 28). Согласно этой, пожалуй, недостаточно оцененной гипотезе соли увлекаются в атмосферу потоками воздуха с поверхности океанов и прибережных солончаков и затем вместе с атмосферными водами выпадают на земную поверхность. Промываясь через грунт до грунтовых вод, соли с больших водо- и солесборных площадей мигрируют в реки и океаны, но по пути в условиях большой сухости аккумулируются в пониженных местах и, подымаясь капиллярными растворами к поверхности почвы, образуют солончаки. Лишь позже эти воззрения были вульгаризированы таким образом, что засоление при импульверизации проявляется на месте выпадения атмосферных осадков. Теория была принята и поддержана Н. А. Димо, С. С. Неуструевым, а позже Е. Н. Ивановой и, отчасти, И. П. Герасимовым.

Существует много указаний на содержание в атмосферных водах некоторых количеств легкорастворимых солей. F. W. Clarke считает, что

количество солей, выпадающих из атмосферы на поверхность земли («циклические» соли), достигает до 2—20 т/км². Однако эти количества, играя известную роль в процессах почвообразования, малы для того, чтобы вызвать развитие солончаков.

J. Walther произвел очень интересный опыт по изучению количества взвешенных в воздухе солей. Во время сильных западных ветров с Красного моря на синайские берега J. Walther пропустил с помощью аспиратора около 45 л воздуха через сосуд с раствором $AgNO_3$ для уловления Cl. Однако сколько-нибудь значительного количества хлоридов в воздухе установлено не было (29). Сходная попытка была предпринята в 1917 г. в Средней Азии Е. Лийдеманом (30). Эоловые наносы после «лёссовых бурь» были исследованы на воднорастворимые соли. Оказалось, что водные вытяжки извлекли из эолового наноса лишь 0.05—0.08% растворимых веществ.

F. W. Clarke, собрав различные данные о количествах NaCl, выпадающего с атмосферными осадками, указывает, что содержание солей и в частности Na в воздухе невелико и зависит, главным образом, от близости к морю, однако, оно несомненно, играет известную роль в геологии. Все это убедительно доказывает существование более мощного пути аккумуляции солей в пустынях, нежели одна импульверизация (31).

Произведенные Коссовичем (7) обстоятельные расчеты баланса хлора и серы в их круговороте между океаном, почвами и растениями показали, что для засоления почв только эоловым путем необходимы в качестве основного условия полная непромываемость грунтов и отсутствие образования грунтовых вод. Принимая годовой приток хлора и серного ангидрида равным 10+10 кг/га при условии потери половины этих количеств поверхностным стоком и сдуванием, Коссович считает, что для засоления толщи в 1 м до резко токсической концентрации (0.5%) необходимо всего лишь 12 000 лет, а для засоления хлором до 0.05% —1200 лет, что с геологической точки зрения не так много.

Условия полной непромываемости грунтов и отсутствия образования грунтовых вод практически, однако, нигде не существуют. Коссович, продолжая анализ вопроса, указывает, что вносимые этим путем соли легко могут выщелочиться нацело 50 000 кг воды, фильтрующимися в грунтовые воды.

Таким образом, для выноса приносимых в почвы солей с атмосферными осадками потребуется «поступление в грунтовые воды относительно небольшого количества осадков», в данном случае ежегодно около 5 мм.

В итоге создаются условия не только для полного выноса «импульверизированного» материала, но и выноса солей, образующихся при выветривании и притекающих извне. Так, П. Н. Чирвинский для бассейна р. Дона высчитал, что годовой приток солей за счет импульверизации равен 33 млн. пудов, а ежегодная отдача солей Доном в Азовское море равна 120 млн. пудов (32).

Этим совершенно не снимается самый факт эолового транспорта солей и их круговорота. Однако именно потому, что поступательное движение круговорота нигде не разорвано, эоловые агенты не могут явиться причиной засоления степей и пустынь на континентах.

Отрицая первичное значение импульверизации как источника и основной причины аккумуляции солей и образования солончаков, было бы ошибкой не считаться с фактами вторичного эолового перераспределения ранее аккумулированных солей. Подобные факты указываются для Закавказья Тюремновым, для Прикаспия — Зонном и Средней Азии — Розановым. Однако в этих случаях речь идет лишь о местном эоловом перераспределении солевых аккумуляций на очень ограниченной территории.

Таблица 2

Количество хлоридов и сульфатов, выпадающих с осадками на почвы (фунты на акр в год) [1]

	Cl	NaCl
Циренсестер (Англия)	—	36.10 за 26 лет
Ротамстед	14.40	24.00
Перугия (Италия)	—	37.95
Цейлон	180.67	—
Калькутта	32.83	—
Мадрас	36.87	—
Одесса	17.00	—
Барбадос	116.98	— за 5 лет
Британская Гвинея	129.24	195.00 » 20 »
Новая Зеландия	61.20	— » 4.5 года

Нормандия

NaCl — 37.5	Na_2SO_4 — 8.4
KCl — 8.2	K_2SO_4 — 8.0
$MgCl_2$ — 3.5	$CaSO_4$ — 6.2
$CaCl_2$ — 1.8	$MgSO_4$ — 5.9

Исследователи, не придававшие значения эоловой аккумуляции солей в пустынях, но видевшие в океане первоисточник солей, считали, что солончаки и соляные озера обязаны своим появлением либо образованию их непосредственно на осадочных породах морского происхождения, либо выщелачиванию солей из осадочных морских пород и их аккумуляции в бессточных ваннах. Этим воззрениям начало было положено J. Walther (29), давшим впервые картины континентальной миграции и аккумуляции солей в бессточных областях пустынь. В. В. Докучаев, И. К. Пачесский, А. Н. Бекетов, E. Krause, Döring и др. считали соленосность особенностью, присущей всем осадочным породам морского происхождения. Судя по очень немногочисленным отрывочным данным Andrée, Архангельского, Berz, Van-Bemelen, Hissink, морские осадки, действительно, при седиментации поглощают некоторое количество солей, растворенных в воде (см. ниже). Это количество солей крайне незначительно и может создать лишь очень кратковременную солончаковатость седимента. Но выщелачивание морских солей из осадочных пород на больших территориях, приток их в котловины и накопление там вследствие испарения, несомненно, являются источником образования засоленных почв во многих случаях.

---

[1] Заимствовано из F. W. Clarke (31).

Такое воззрение разделяет и знаток засоленных почв США F. S. Harris (33), указывающий (ссылаясь на Weed, Traphagen, Stewart, Peterson, Greaves и др.), что засоленность почв штатов Utah, Colorado, Arizona, Nevada, Idaho и др. обязана большому содержанию солей в меловых, юрских и третичных породах. В составе солей имеются как хлориды и сульфаты, так и нитраты. Соленость осадочных толщ особенно возрастает в верхних свитах, видимо, отражая переход донных морских отложений к континентальным условиям конца периода, когда и развивается максимальное соленакопление.

Гипотеза происхождения солей из морских отложений, объясняя ряд явлений, не могла, однако, и не может осветить как различный тип соотношения солей в морской воде и воде континентальных озер или солончаках, так и образование солевых аккумуляций в областях господства не осадочных морских пород, а массивно кристаллических.

Таблица 3

Соотношение ионов в морских и континентальных солевых скоплениях

Ионы / Бассейны	Cl'	SO_4''	$K^{\cdot}$	$Na^{\cdot}$	
Океан	55.32	7 88	0.88	30.85	3.71
Арал	36.44	29.82	0.98	22.45	5.57
Каспий	41.79	23.78	0.63	24.57	5.94
Солончак с оз. Тажи (Заволжье)	20.00	31.20	—	—	4.20

Кроме этого, самое накопление солей в морских отложениях, являясь следствием причин более общего порядка, нуждается в объяснении, как это показано раньше. Тем не менее для вторичных циклов миграции солей (см. ниже) содержание солей в древних морских отложениях может являться существенным источником их при выщелачивании и перераспределении.

Столь же узкое значение необходимо придавать и гипотезе о биологическом происхождении аккумуляций солей. Было бы неверно отрицать существенную роль в почвообразовании круговорота зольных элементов, который протекает в поверхностных горизонтах почвы и который вызван деятельностью растительности и микроорганизмов. Однако лишь для отдельных органогенных элементов и их соединений этот круговорот является решающим источником накопления. Так, накопление в верхних почвенных горизонтах фосфора, небольшие количества которого содержатся в земной коре первично в изверженных породах, обязано исключительно биологическому круговороту. Эрозия почвенных гумифицированных и обогащенных фосфором горизонтов, снос и отложение их в морских водоемах и реках, сложный диагенез в особых условиях морских донных осадков приводят к образованию фосфорнокислых аккумуляций типа фосфоритов. Однако, как справедливо указывает В. Р. Вильямс. аккумуляции фосфорнокислых солей в солончаковом процессе нам пока неизвестны.

В большей степени обязаны биологическому круговороту соли азотной кислоты (селитры). Азот, почти не представленный в составе массивнокристаллических пород, вступает в кору выветривания и почву лишь из атмосферы путем усвоения его микроорганизмами и с атмосферными осадками в виде окислов и аммиака. Минерализация органических соединений и превращение с помощью микроорганизмов белкового азота через аммиак в селитру происходит в почве. Далее, селитра мигрирует к бессточным пустынным областям, где и образуются селитряные аккумуляции типа чилийской селитры и селитряных солончаков США, Советской Средней Азии, Ирана, Египта, Монголии. Таким образом, несмотря на биологическую природу селитры в земной коре, аккумуляции ее обязаны не биологическим факторам, а геохимическим и гидрогеологическим (34).

Точка зрения сторонников биологической природы солевых аккумуляций (Вильямс, Бушинский, Франсессон) заключается в следующем. Соли, рассеянные в толщах пород, избирательно поглощаются специфическими видами галофильной растительности типа *Artemisia* и *Salicornia* и концентрируются в верхних горизонтах почвы; далее, они смываются поверхностными водами, сдуваются вместе с растительными остатками в депрессии поверхности, где и накопляются в виде солончаков, столь типичных в пониженных местах поверхности пустыни, полупустыни и степей.

Содержание солей в некоторых галофитах, действительно, достигает величин порядка 15—30% золы к сухому весу растения (*Statice*, *Anabasis*, *Petrosimonia*). При этом в составе золы большая доля приходится на хлориды и сульфаты щелочей. Водные вытяжки из солончаково-солонцовой флоры показывают большой сухой остаток и высокую щелочность.

Базируясь на факте значительного накопления солей в некоторых растениях, авторы гипотезы делают вывод о том, что эта растительность и является причиной аккумуляции солей и образования солончаков. Однако более глубокое сопоставление абсолютных количеств и состава солей в засоленных грунтах и почвах с солями, участвующими в биологическом круговороте, и сопоставление стадий эволюции почв и растительных ассоциаций говорят о том, что круговорот не может явиться первопричиной солончаковых аккумуляций солей.

Роль биологического круговорота несравненно сложнее и различна на различных частях эрозионного и аккумулятивного циклов.

Анализ существующего цифрового материала говорит не столько в пользу засоляющей роли растений, сколько, наоборот, в пользу их рассоляющего и рассолонцовывающего влияний.

В табл. 4 приведены, к сожалению, неполные анализы золы растений, собранных с ряда почв различных стадий рассоления и опреснения от соляных грязей оз. Эльтон до каштановой почвы его древней террасы (Б. А. Келлер). Таблица показывает, что содержание солей достигает колоссальных величин — до 50%, содержание хлора в водной вытяжке — до 24%, а SO_3 — до 8%. Это, действительно, указывает на то, что малый биологический круговорот вносит большие массы солей в поверхность почвы при минерализации растений и таким образом поддерживает ее засоленность.

Таблица 4

Состав золы растений засоленных почв берега оз. Эльтон (в %)
(Данные Б. А. Келлера)

Местообитание	Название растений	Зола	Ca	SiO_2	Содержание Ca в % от золы	В водной вытяжке из растения				
						сухое вещество	минеральный остаток	щелочность минерального остатка	Cl	SO_3
Светлокаштановая почва	*Stipa Lessingiana*	7.45	1.38	2.84	18.5	11.34	2.44	0.71	0.37	Следы
	Festuca sulcata	7.84	0.36	4.53	4.6	11.73	3.37	0.72	0.27	0.07
	Pyrethrum achileifolium . . .	15.21	0.18	3.70	1.2	20.61	7.64	2.11	0.52	0.14
	Kochia prostrata	11.74	0.99	2.55	8.4	23.13	5.74	2.71	0.59	0.89
	Artemisia maritima incana . .	9.98	0.55	1.74	5.5	25.24	5.41	1.38	0.58	0.43
	Artemisia pauciflora	11.70	0.71	2.65	6.0	38.88	7.49	2.47	0.75	0.30
Корково-столбчатый солонец	*Kochia prostrata*	15.68	0.82	5.92	5.2	23.70	5.71	1.98	0.73	0.12
	Artemisia pauciflora	12.47	0.67	3.11	5.3	35.86	7.22	2.48	1.07	0.31
	Camphorosma monspeliacum .	15.74	0.44	5.11	2.8	19.91	6.58	1.74	1.61	0.11
Солончаковая почва	*Artemisia maritima incana* . .	13.73	0.84	3.80	4.8	30.05	6.89	0.89	1.22	1.34
	Anabasis salsa	39.11	1.88	1.68	3.5	52.99	30.67	23.19	2.60	0.36
	» »	36.01	1.26	0.28	0.9	52.49	29.98	18.42	2.20	0.37
	Suaeda physophora	36.27	0.35	0.49	1.5	56.34	33.80	6.22	11.18	1.63
Резкий солончак	*Petrosimonia crassifolia* . . .	36.09	2.31	1.18	6.3	44.45	30.05	0.40	7.11	8.03
	» » . . .	36.54	1.30	1.14	3.8	44.16	30.48	0.76	7.41	7.52
	Suaeda (однолетнее)	49.95	0.55	0.38	1.1	63.60	45.07	6.43	18.02	2.84
	Atropis convoluta	7.45	0.21	3.20	2.8	18.34	4.65	0.48	1.03	0.03
Соляная грязь	*Halocnemum strobilaceum* . .	46.40	0.54	1.76	1.1	61.34	40.86	6.39	16.78	1.09
	Salicornia herbacea	50.67	0.64	1.62	1.2	71.96	46.84	4.57	24.43	0.19

Далее, из анализа таблицы следует, что некоторые растения перекачивают на поверхность преимущественно хлориды (*Suaeda*, *Halocnemum*, *Salicornia*), а другие, на ряду с хлоридами, и сульфаты (*Petrosimonia*), некоторые же аккумулируют большое количество щелочей, повидимому, в форме органо-минеральных соединений (*Anabasis*), переходящих при прокаливании в углекислые.

Обратившись к содержанию кальция, можно видеть, что оно очень колеблется при выражении его от сухого веса растений. Для выяснения роли кальция нами проделан расчет его в процентах от золы, позволяющий полнее оценить относительную его роль в зольном обмене (6-я графа, табл. 4). При этом делается вполне ясным возрастание содержания кальция в золе растений в направлении от соляных грязей и солончаков к солонцам и светлокаштановой почве.

Из этого следует новый, очень важный вывод о том, что смена солончаковых ассоциаций (галофитов) солонцовыми (полынно-солянковыми) и ассоциациями светлокаштановых почв (полынно-ковыльными) сопровождается усилением относительной роли в почве кальция, увеличивающимся по мере смен ассоциаций.

Это явление биологического накопления кальция имеет колоссальное значение в замещении обменного натрия, остающегося в солонцах от солончаковой стадии и в остепнении солонцов.

В противоположность возрастанию кальция в ассоциациях менее засоленных почв происходит постепенное замирание аккумуляции хлоридов и сульфатов щелочей. Это проявляется в уменьшении содержания в водной вытяжке Cl с 24.43 до 0.27—0.37%, SO_3 с 8.03% до следов и щелочности с 6.39—23.19 до 0.71—2.71% в направлении от галофитных ассоциаций к полынно-ковыльным.

Отсюда следует третье положение о том, что смена галофитных ассоциаций полынными и ковыльными обусловливает уменьшение аккумуляции хлоридов и сульфатов при зольном круговороте.

Сопоставляя изменения в составе золы рассмотренных ассоциаций с рассоленностью и выщелоченностью соответствующих почв, можно сделать следующий основной вывод: по мере развития эрозионного цикла и рассоления зольный обмен растительных ассоциаций и почв, поддерживая до некоторой степени солончаковатость почв, обусловливает путем увеличения отношения Ca : Na в пользу Ca прогрессивное накопление кальция в верхних горизонтах, подготовляя почву для рассолонцевания и остепнения.

Эти соображения предварительны и основаны на малом материале; они нуждаются в систематической проверке. Но уже и в настоящем виде убедительно опровергают приписывание растительности роли фактора солончакообразования.

Дополнительными подтверждающими данными по этому вопросу могут быть материалы, приводимые Hilgard, о составе золы растений засоленных почв США (17). Из табл. 5 видно это по мере перехода к растениям, требующим меньших количеств солей в почвах, в их золе возрастает содержание Ca и Mg и уменьшается содержание Cl и Na. Изучение материалов работы Т. Гевельсон (36) также показывает, что у видов *Arte-*

misia и *Statice*, взятых с более рассоленных почв, отношение Na к сумме Ca и Mg в водной вытяжке обычно меньшее, чем в профиле почвы, т. е. даже эти растения способствуют обогащению профиля почвы щелочными землями.

У нас нет никаких данных, говорящих о роли зольного обмена при обратной смене ассоциаций в условиях замирания эрозионного цикла и нарастания засоленности страны. Но гипотетически необходимо предположить в данных условиях не рассоляющую роль растений, а усиливающую естественный процесс засоления.

Таблица 5

Состав золы растений засоленных почв Америки (Hilgard, «Soils»)

Виды растений / Состав золы	*Atriplex semibaccata*	*Allenrolfea occidentalis*	*Sarcobatus vermiculatus*	*Distichlis spicata*	*Sporobolus airoides*	*Opuntia macrocenata* (кактус)	Люцерна (сено)
Оптимум солей в почвах (фунты на акр)	—	494320	58560	—	49000	—	—
% золы	19.37	12.03	13.81	11.61	7.99	24.18	9.85
K_2O	11.42	18.53	30.11	3.30	5.78	1.61	43.73
Na_2O	35.39	39.45	32.58	2.38	5.15	2.76	4.48
CaO	5.45	1.36	8.70	5.25	8.05	65.06	20.51
MgO	3.23	1.09	1.09	2.95	4.15	26.70	2.56
Mn_3O_4	0.22	—	—	0.16	0.25	—	—
$Fe_2O_3 + Al_2O_3$	3.33	7.06	—	2.22	2.39	1.19	2.95
SiO_2	16.24	11.81	4.00	78.73	66.79	0.81	5.87
P_2O_5	2.80	3.51	5.60	0.83	1.25	0.47	5.00
SO_3	2.64	4.93	5.90	3.20	4.52	0.64	6.92
Cl	24.33	15.30	11.00	1.40	2.13	0.21	10.25

Вопреки гипотезам морского, эолового и биологического происхождения засоленности пустынь, была выдвинута теория континентальной аккумуляции солей. Основные идеи этой теории, ныне широко воспринятой, заключались в том, что большая часть солевых аккумуляций внутриматериковых пустынь является результатом притока в бессточные ванны солей, освободившихся при выветривании массивно-кристаллических пород. Испарение в условиях континентального режима и бессточность страны явились условиями сохранения и накопления солей, приходящих с растворами. Еще Г. И. Танфильев указывал на то, что выветривание горных пород является важнейшим источником соленакопления в условиях континентального режима (37).

В Советском Союзе эта гипотеза была высказана Глинкой, Гедройцем и другими. Она использована и конкретизирована Ивановой и Герасимовым для Кулундинской степи и Прасоловым, Ковда и Лебедевым для Заволжья. В США эти же идеи значительно раньше были высказаны Hilgard, различавшим приморское и континентальное засоление; последнее в том случае, когда источником солей являются процессы выветривания.

Harris (33), опираясь на исследования и воззрения Clarke, Merill, Cameron, Dorsey, уже в 1920 г. формулирует положение о том, что первичным источником солей в коре выветривания являются первичные минералы, в составе которых присутствуют Cl и S.

В результате воздействия воды и других агентов весь Cl и бóльшая часть S переходят в кислоты, превращающиеся затем в соли щелочей и щелочных земель. При испарении растворов соли накопляются в бессточных областях. Хлориды при этом мигрируют быстрее сульфатов, что объясняется, по мнению Harris, образованием сульфидов металлов и меньшей растворимостью сульфатов вообще по сравнению с хлоридами. До последних лет вопрос о континентальном соленакоплении оставался все же в состоянии гипотетическом, и только в последние годы в итоге исследований Ферсмана он получил стройность (20, 21, 22, 38).

По А. Е. Ферсману, в основе миграции соединений в коре выветривания и почвах лежат процессы растворения — извлечения ионов из минералов при выветривании и процессы осаждения и накопления их в определенных физико-географических условиях.

А. Е. Ферсман связывает последовательность извлечения ионов, быстроту их миграции и способность некоторых из них накопляться в бессточных внутриматериковых впадинах в виде солевых масс с величиной энергетических коэффициентов (эк) ионов, ионными радиусами, валентностью, прочностью кристаллической решетки соединений (табл. 6).

Таблица 6

Последовательность извлечения ионов при выветривании, по А. Е. Ферсману

Порядок извлечения	I		II		III		IV	
	ионы	эки	ионы	эки	ионы	эки	ионы	эки
Ионы	$Cl'Br'$	0,23	$Na^{\cdot}$	0,45	SiO_4''	2,75	$Fe^{\cdot\cdot\cdot}$	5,15
	$N°O_3'$	0,18	$K^{\cdot}$	0,36			$Al^{\cdot\cdot\cdot}$	4,25
	SO_4''	0,66	$Ca^{\cdot\cdot}$	1,75				
	CO_3''	0,78	$M^{\cdot\cdot}$	2,10				

Подвижность образующихся соединений, накопление их в виде солей тем больше, чем меньше энергетические коэффициенты ионов и солей, меньше ионный радиус и валентность.

Отсюда следует, что хлориды, нитраты, сульфаты, карбонаты щелочей и частью щелочных земель и должны являться основными солями, образующими в коре выветривания и засоляющими бессточные области.

Процессы осаждения и накопления солей будут носить обратный характер. Дольше других в растворе (грунтовых и наземных водах) останутся ионы с наименьшими энергетическими коэффициентами, т. е. преимущественно катионы одновалентные и двухвалентные и анионы одновалентные.

Соответственно они же будут накопляться в конечных областях миграции растворов, внутриматериковых впадинах, пустынях, озерах, океане. Дальнейшая судьба солей рисуется нам в следующем виде.

В своем движении с подземными и наземными водами от областей господства элювиального процесса к основному конечному резервуару солей — океану — соли задерживаются и накопляются по пути в наносах, почвах, озерах.

Все превращения растворимых солей в период движения их на материке составляют отсюда к о н т и н е н т а л ь н у ю ф а з у м и г р а ц и и с о л е й и и х н а к о п л е н и я в п о ч в а х, чрезвычайно разнообразную по формам и решающую по размерам.

Превращения солей в морском — океаническом — водоеме и накопление в различных условиях моря представляют ф а з у м о р с к у ю. Накопленные в морских условиях (донные осадки, марши, лагуны) или в условиях континентальных соли, перекрываясь механическими отложениями, подвергаясь различным формам метаморфизма и, наконец, опускаясь на различную глубину в земной коре, могут выключаться из процесса на промежутки, равные геологическим эпохам. И лишь затем под влиянием поднятий земной коры и денудации погребенные солевые скопления вступают во вторичный цикл, растворяясь, мигрируя и накопляясь вновь.

Эти циклы на протяжении геологического существования земного шара повторялись неоднократно [1].

Такую именно сложную историю пережили и переживают солевые аккумуляции верхнего силура (США), цехштейна, мела, юры, особенно миоцена и в ряде случаев четвертичного периода.

Процессы засоления почв представляют часть этих циклов и связаны преимущественно с фазой континентальной миграции и накопления солей.

ОСНОВНЫЕ ЧЕРТЫ ГЕОХИМИИ ЭЛЕМЕНТОВ И ПРОИСХОЖДЕНИЕ СОЕДИНЕНИЙ, УЧАСТВУЮЩИХ В ЗАСОЛЕНИИ ПОЧВ

Основными элементами, соединения которых обусловливают возникновение засоленных почв, являются Ca, Mg, Na, K, Cl, S, C, N, B, Si. Кроме этого, в последнее время работами Отдела экспериментального почвоведения установлено участие Li, а также J и Br. Миграция этих элементов и накопление их в засоленных почвах протекают в форме следующих главнейших солей: хлориды NaCl, KCl, $MgCl_2$, $CaCl_2$; сульфаты — Na_2SO_4, $MgSO_4$, K_2SO_4; карбонаты — Na_2CO_3, $NaHCO_3$, $KHCO_3$; нитраты — $NaNO_3$, KNO_3; бораты — $Na_2B_2O_4$.

Есть все основания считать, что к этим солям присоединяются силикаты — Na_2SiO_3, K_2SiO_3 и гуматы щелочей.

---

[1] По мнению G. Linck, таких циклов освобождения солей и их погребения было не меньше 4 соответственно 4 циклам горообразования.

Органическая связь анионных и катионных элементов, с одной стороны, и высокая растворимость большинства их соединений,— с другой, обусловливают значительную общность их геохимии в земной коре и общую роль в явлениях накопления солей и засоления почв.

Не ставя перед собой задачи полного анализа геохимической истории засоляющих почвы элементов и их соединений, рассмотрим основные черты их геохимии в той степени, которая обеспечит как достаточное разъяснение происхождения солей, так и некоторые особенности их дифференциации в пространстве.

Кальций (Ca). Ат. вес 40.08. Содержание в земной коре 3.35%, в массивных породах — CaO — 5.08%. Первично кальций является одним из важнейших элементов в главной кристаллизации в силикатной оболочке.

Он широко распространен в основных и средних магмах, входя в состав авгитов, роговых обманок, плагиоклазов, и часто преобладает над магнием в таких основных и ультраосновных породах, как базальты, габбро, перидотиты.

Легко выщелачиваемый из пород при их выветривании водами, содержащими CO_2, кальций в качесте главнейших соединений дает $CaCO_3$ и $CaSO_4$.

Оба соединения отличаются ничтожной растворимостью и дают широко распространенные отложения кальцитов, известняков, мергелей, гипсов.

В особых, довольно редких условиях, кроме них, может накапливаться хлористый кальций $CaCl_2$. Так, по указаниям Н. С. Курнакова и его учеников и по некоторым соображениям Б. П. Кротова (39), в соляных озерах длительного усыхания $CaCl_2$ накопляется в растворе, в итоге обменных реакций, при доломитизации донных отложений $CaCO_3$ (реакция Мариньяка — $2CaCO_3+MgCl_2=CaCO_3.MgCO_3+CaCl_2$). По наблюдениям С. И. Тюремнова на Мугани, $CaCl_2$ накопляется в поверхностных горизонтах солончаков вследствие обменных реакций между Na хлористого натра, подымающегося от грунтовых вод к поверхности, и поглощенным кальцием грунта (14, 22).

При процессах длительного рассоления $CaCl_2$ иногда в значительных количествах накопляется в грунтовых водах депрессий (падин) Каспийской равнины.

Магний (Mg). Ат. вес 24.32. Содержится в земной коре в количестве несколько меньшем, чем Ca (2.35%). Магний появляется в солях при выветривании следующих главнейших магнезиальных минералов: биотит, оливин, амфиболы, пироксены, авгиты, являющихся преимущественно минералами главной кристаллизации. Первичные магнезиальные минералы, таким образом, связаны в основном с теми же породами, что и кальциевые.

При выветривании магнезиальных минералов вначале образуется гидросиликат (серпентин $Mg_3Si_2H_4O_9$) магния, который затем реагирует с CO_2 атмосферы и вод, сравнительно быстро переходит в коллоидную $MgH_2(CO_3)_2$, а затем в кристаллическую форму гельмагнезита $MgCO_3$. Однако последующие взаимодействия с сульфатами и хлоридами приво-

дят к образованию широкоизвестных в соляных озерах и почвах $MgSO_4$ (кизерит) и $MgCl_2$.

Имеются указания (Г. Берг, 40) на то, что внутриматериковые моря и озера и усыхающие морские заливы в ряде случаев под влиянием притока речных и родниковых вод, с одной стороны, и выпадения из раствора наименее растворимых солей $CaCO_3$ и $CaSO_4$, — с другой, обогащаются магнезиальными солями.

При этом сначала в растворе будут находиться и $MgSO_4$, и $MgCl_2$. Дальнейшее усыхание озера поведет к выпадению кизерита $MgSO_4$ и оставлению в растворе лишь $MgCl_2$. Естественно, что на береговых солончаках и химизме прилегающих грунтовых вод будет очень отражаться содержание магния в озере.

Н а т р и й (Na). Ат. вес 22.997. Содержание в земной коре 2.4—2.63%. Геохимия Na значительно отличается от геохимии щелочных земель Na, по распространенности в земной коре занимает 6-е место после O, Si. Al, Fe и Ca. Основным минералом, с которым связан Na и выветривание которого является главным источником многочисленных солей Na, является известково-натриевый полевой шпат — плагиоклаз — наиболее распространенный минерал земной коры (40.2%). В значительных количествах Na входит в состав альбитов — чистого или почти чистого натриевого полевого шпата.

Выветривание указанных и некоторых других натриевых минералов (нефелин) является основным первичным источником солей Na в коре выветривания и почвах. При выветривании алюмосиликатов вначале происходит гидролитическое отщепление гидросиликата натрия $NaHSiO_3$, который, обладая резкощелочной реакцией, энергично присоединяет CO_2 воздуха, давая Na_2CO_3 и $n(SiO_2).mH_2O$ — аморфный гель кремнезема (Р. Браунс, 41; Г. Берг). В таких случаях образующаяся сода или троны (Na_2CO_3 . $NaHCO_3$) могут явиться источником содовых аккумуляций и засоления. Как показали исследования Ковда и Быстрова на нефелине. этот путь образования соды имеет большое значение (42).

Источником соды в последующих циклах вместе с этим могут явиться: 1) обменные реакции между Na почвенных коллоидов солонцов и Ca, Mg или H почвенных растворов при рассолонцевании солонцов (реакция Гедройца), а также 2) реакция хлоридов, сульфатов и нитратов натрия с углекислым кальцием мергелей или известняков при постоянном оттоке продуктов реакции. Существование этой реакции признавал Бертолле. позже Hilgard и, наконец, Б. Л. Ронкин. Отток соды имеет место либо при ее выпадении из раствора на холоду, либо при фильтрационном и капиллярном движении солей через карбонатную толщу, как это показали опыты С. Долгова в ВИУАА и Л. Мамаевой в Лаборатории экспериментального почвоведения Почвенного института им. Докучаева; 3) воздействие газообразной углекислоты на NaCl, $NaNO_3$, Na_2SO_4 с образованием соды при больших количествах CO_2 (реакция Г. Шульце); 4) присоединение растворенной в воде CO_2 к сернистому натру, образующемуся при восстановлении сернокислого натра — реакции, обусловившей, по мнению Гуккера, сбразование знаменитых залежей троны в Египте (Wady Natrun). Существование этой реакции и большую роль ее в образовании соды допускают

Кашинский и Е. Н. Иванова (43); 5) разложение нитратов в анаэробных условиях с потерей окислов азота, с присоединением углекислоты к оставшемуся натрию и образованием соды. Реакция экспериментально воспроизведена Aladjem (Harris, 33) и допускается Б. Л. Исаченко для озер Кулундинской степи; 6) минерализация органоминеральных соединений Na, как это вероятно, по исследованиям Cameron (33), для *Sarkobatus* и, повидимому, для таких растений, как *Anabasis*.

Большая часть освобождающегося при выветривании Na связывается позже ионами хлора, поступающими в раствор при выветривании основных и ультраосновных пород, с образованием очень распространенной соли NaCl.

Весь однажды образовавшийся хлористый натрий в последующей геологической истории земной коры остается, по мнению Г. Берга, навсегда в виде NaCl, который при соприкосновении с лавой не разлагается, а сублимируется. Благодаря высокой растворимости NaCl со значительной быстротой мигрирует к конечным бассейнам — океану, морям, внутриматериковым бессточным областям. Основными резервуарами NaCl и являются те же воды океана и морей; исходя из современного содержания NaCl в океане, Clarke исчисляет возраст океана равным 100 000 000 лет, считая, что все соли пришли в океан при выветривании горных пород.

Однако, помимо выветривания, первичным источником NaCl являются и вулканические выделения, образующиеся у выхода фумаролл корки хлористого натрия и пары соляной кислоты (см. выше).

Меньшая, но значительная часть натрия мигрирует в форме сернокислых солей Na_2SO_4 и аккумулируется в виде мирабилита $Na_2SO_4.10H_2O$, тенардита Na_2SO_4 и комплексных солей — глауберита $Na_2SO_4.CaSO_4$ и др. Сульфат натрия образуется также при воздействии серной кислоты, получающейся при выветривании некоторых сульфидов (пирит) или окислении серы, сернистых газов и т. д. на углекислые и хлористые соли Na и натронные алюмосиликаты.

Хлористые, сернокислые и углекислые соли натрия являются главнейшими соединениями засоленных почв как в смысле их количества, так и в смысле региональном и генетическом.

Они же и особенно хлористый и сернокислый натрий являются главнейшими солями солончаковых почв, морей и соляных озер.

Однако иногда заметную роль в засолении почв и некоторых озер играют бораты и нитраты натрия ($Na_2B_4O_7.10H_2O$, $NaNO_3$).

Борнокислый натрий первично образуется, во-первых, при взаимодействии ионов бора, поступающих в раствор при выветривании силикатов бора (турмалин) изверженных пород с Na, находящимся в растворе, а, во-вторых, прямым воздействием паров и растворов борной кислоты, выделяющихся при вулканических явлениях, на соединения натрия.

Происхождение аккумуляций нитратов натрия еще требует своего исследования. В условиях земного шара азот в массивных породах почти не находится. Поэтому процессы выветривания первично не могут явиться источником нитратов Na. Очевидно, их образование связано с деятельностью усвояющих N и нитрифицирующих бактерий.

К а л и й (K). Ат. вес 39.10. Содержание в земной коре 2.35%. Геохимия калия очень близка к геохимии натрия. Калий первично является в основном элементом кислых магматических пород. При этом главнейшими калийными минералами являются калийный полевой шпат — ортоклаз, калиевая слюда — мусковит; в виде примесей K содержится также в составе биотита, плагиоклаза, альбита.

Характер выветривания и образующихся при выветривании калийных минералов солей и геохимия их аналогичны натриевым солям.

Необходимо отметить, что в связи с поглощением калия организмами, различного рода биолитами и более прочной, чем Na, адсорбции коллоидами, солевые скопления калия вообще в значительных размерах встречаются реже.

Несмотря на почти одинаковое содержание Na и K в изверженных породах (2.97% и 2.57%), калий благодаря этому накопляется в морских водах гораздо меньше натрия.

Основными солевыми соединениями калия являются KCl, K_2CO_3, KNO_3, K_2SO_4. Эти соединения принимают участие в развитии засоленных почв, однако, по сравнению с другими солями они имеют значение подчиненное. Впрочем, отмечаются случаи засоления почв поташом (А. Н. Розанов — Казахстан) и калийной селитрой. В составе солевых аккумуляций соли калия встречаются в виде ряда двойных солей типа карналита $KCl.MgCl_2.6H_2O$, каинита $KCl.MgSO_4.3H_2O$, глазерита $(KNa)_2SO_4$ и др.

Х л о р (Cl). Ат. вес. 35.457. Содержание в составе земной коры 0.19%. Хлор и ниже описываемый бор первично являются элементами остаточной кристаллизации магм. В магматических породах хлор присутствует, главным образом, в двух основных формах: в виде рассеянной примеси, составного элемента хлорапатита $Ca_5(PO_4)_3Cl$ и содалита $3NaAlSiO_4NaCl$.

В жильных образованиях хлор встречается в виде пироморфита $(PbCl).Pb(PO_4)$, лиматезита $(PbCl).Pb(PbAsO_4)$ и ванадита $(PbCl).Pb(VO_4)_4$.

Выветривание пород, содержащих хлор, освобождает его ионы, которые впоследствии связываются натрием в NaCl. Так как калий в значительной степени задерживается организмами и глинами, то в растворах коры выветривания геохимия хлора связана почти полностью с натрием. Кроме того, хлор появляется в коре выветривания и путем вулканических газообразных выделений в виде Cl или HCl. G. Linck считает, что в ранние периоды геологического существования земного шара значительная доля хлора появилась в океане именно этим путем, связавшись с Na уже позже, по мере притока последнего с континентов при выветривании.

С е р а (S). Ат. вес 32.06. Содержание в земной коре 0.06%. Сера в массивно-кристаллических породах находится, главным образом, в виде сернистых металлов — сульфидов. Сульфиды, помимо их концентрации в образованиях остаточной кристаллизации магмы (пневматогенных и гидротермальных), образуют, по воззрениям Таманна и Гольдшмидта, внутреннюю оболочку, расположенную между внешней силикатной корой и гипотетическим железным ядром земли. В коре выветривания серни-

стые металлы образуют путем восстановления и смены его окислением серу, серную кислоту и соли серной кислоты, в числе которых наиболее распространенными являются сернокислые натрий и кальций. Кроме этого основного пути образования солей серной кислоты, некоторую роль играет также окисление мелких капелек самородной серы, рассеянной иногда в толще пород.

Значительную роль в образовании солей серной кислоты играют и вулканические выделения серы в виде SO_2, H_2S, окисляемых до серной кислоты, присоединяющей позже катионы.

Хлор и сера являются элементами, переходящими в раствор при выветривании и мигрирующими в осадках с наибольшей быстротой по сравнению со всеми прочими элементами.

Б о р (B). Ат. вес 10.82. В составе земной коры занимает 0.001%. В первичном виде он находится в остаточных кристаллизациях, главным образом, в виде сложного боралюмосиликата турмалина, встречающегося в пегматитовых и аплитовых жилах гранитов. Некоторое количество бора связано с другими, сравнительно редкими, силикатными минералами — бороаскинитом и людвигитом.

Известные соли щелочей и щелочных земель борной кислоты образуются при выветривании названных минералов, которое протекает достаточно быстро.

Бор характеризуется некоторой летучестью своих соединений. Поэтому часть борнокислых солей ведет свое происхождение от газообразной борной кислоты, выделяющейся из фумаролл (HBO_3).

Борнокислые соли обладают достаточной растворимостью и подвижностью. Основными солями борной кислоты, играющими роль в процессах засоления, являются бура или тинкал — $Na_2B_4O_7.10H_2O$, борацит — $Mg_7C_2B_{16}O_{30}$, солеманит — $Ca_2B_9O_{11}.5H_2O$, боронатрокальцит — $NaCaB_5O_9.8H_2O$.

А з о т (N). Ат. вес 14.008. В составе земной коры занимает 0.03%. Атмофильный элемент, который в условиях земного шара находится в основном в несвязанном состоянии в атмосфере — 75.54%. В составе массивных пород азот почти отсутствует.[1] Засоляющие в некоторых условиях почвы азотнокислые соли натрия и калия, повидимому, являются продуктами: а) усвоения атмосферного N и нитрификации; б) окисления атмосферного азота электрическими разрядами; в) вулканических выделений хлористого и углекислого аммония, возникающих, по мнению Wolf, путем присоединения атмосферного N к Cl и H, выделяющимся при извержениях в парах и газах (44). Гипотеза Оксениуса о происхождении селитры из гуано, очевидно, не может разделяться в настоящий момент. Основным условием накопления нитратов, по нашему мнению, является низкая денитрификация в пустынях, обладающих вследствие сухости, господством окислительного режима.

У г л е р о д (C). Ат. вес 12. Содержание в земной коре 0.03%. Углерод и его геохимия представляют интерес в вопросах изучения засоленных

[1] G. Linck полагает, что первоисточником N в атмосфере явились магматические выделения газообразного N и NH_4Cl (26a).

почв потому, что ряд солей, характерных для данных почв, являются солями угольной кислоты: Na_2CO_3, $NaHCO_3$, K_2CO_3 и др. Содержащийся в магматических породах свободный углерод в виде алмаза и графита, благодаря устойчивости последних, не может оказаться значительным источником углекислоты в коре выветривания и почве.

Незначительные количества углерода, связанного в карбиде железа и некоторых карбонатовых силикатах (канкринит — $6NaAlSiO_3.CaCO_3$) также не являются основным источником углекислых солей.

Главным, первичным источником углерода в атмосфере являются газообразные выделения CO_2 и CO из расплавленных магм.

Значительная часть CO_2 атмосферы после возникновения на земле жизни участвует в биологическом круговороте углерода. Огромные массы CO_2 связаны в виде известняков (в 25 000 раз больше, чем в атмосфере. Вернадский), участвуя в циклах седиментации, метаморфизации и в последующих новых вулканических и плутонических выделениях CO_2.

Углекислота обладает довольно высокой растворимостью в воде и интенсивно участвует в выветривании горных пород, широко взаимодействуя с гидролитически образующимися гидросиликатами Na, K, Mg, Ca. При этом и образуются бикарбонаты и карбонаты щелочей и щелочных земель. Наибольшей распространенностью отличаются бикарбонат и карбонат натрия, играющие решающую роль в образовании содовых солончаков и солонцов.

Еще более распространен карбонат кальция, $CaCO_3$,— соединение, которое благодаря ничтожной растворимости не может рассматриваться как засоляющее.

Возвращаясь к вопросу, поставленному в начале настоящей главы о происхождении засоляющих почвы и грунты солей, в итоге всего рассмотренного необходимо сказать следующее.

I. Первичными источниками солей в земной коре являются:

а) вулканические и плутонические газообразные выделения (из лав, фумаролл, магм) и продукты их изменений;

б) соли и газы, растворенные в термальных источниках;

в) продукты окисления некоторых элементов атмосферы и некоторые ее газы;

г) растворимые продукты выветривания массивных пород.

II. При этом газообразные продукты выделяются в форме:

а) элементов (S, Cl), окисляемых далее или растворяющихся в водах;

б) окислов (SO_2, CO, CO_2, B_2O_7), растворяющихся в воде и превращающихся далее в кислоты, реагирующие с породами и присоединяющие катионы;

в) кислот (HCl, H_2S, HBO_3) и, наконец,

г) просто солей (NaCl, NH_4Cl).

III. Атмосфера является первичным источником лишь для солей азотной, азотистой и угольной кислот.

IV. Основным по массе современным первичным источником всего многообразия солей является процесс выветриавния массивных пород и образования при выветривании карбонатов, сульфатов, хлоридов, боратов.

Круговорот солей между океаном и континентами является дополнительным источником солей на континентах (циклические соли).

V. Существенным источником образования соды являются обменные, химические, физико-химические и биохимические реакции при почвообразовании и в озерах.

VI. Условием образования солевых аккумуляций и развития засоленных почв является длительное сочетание притока солей в бессточную страну и сухости ее климата.

ГЛАВА III

СОЛОНЧАКИ И УСЛОВИЯ ИХ ОБРАЗОВАНИЯ

Формирование солончаков тесно связано с образованием осадочных отложений различной природы и механического состава.

Поэтому почти все типы осадочных отложений чисто континентальных (делювий, пролювий, речной аллювий), озерных и коллювиальных, морских (береговых и донных) в известных условиях дают засоленные формы как глубинного, так и поверхностного засоления — солончаки. Дальнейшая судьба солончаков тесно связана с эволюцией поверхности и толщи данного седимента — с его поднятием, эрозионным расчленением и дренированием. Поэтому систематику солончаков целесообразно связать с типами тех осадков, на которых они образуются.

КОНТИНЕНТАЛЬНОЕ ЗАСОЛЕНИЕ

В соответствии с рассмотренными ранее положениями в процессах континентальной миграции и аккумуляции солей необходимо различать п е р в и ч н ы е ц и к л ы, связанные с поступлением солей из выветривающихся толщ массивно-кристаллических пород, вулканических и плутонических газовыделений, и ц и к л ы в т о р и ч н ы е (и последующие) — с перераспределением и транспортом солей из осадочных пород, ранее накопивших соляные массы. Обе группы циклов различаются не только в формально-историческом смысле, но, повидимому, и развитием ряда специфических форм солончаков, свойственных лишь одному циклу, и совершенно особым путем образования этих форм.

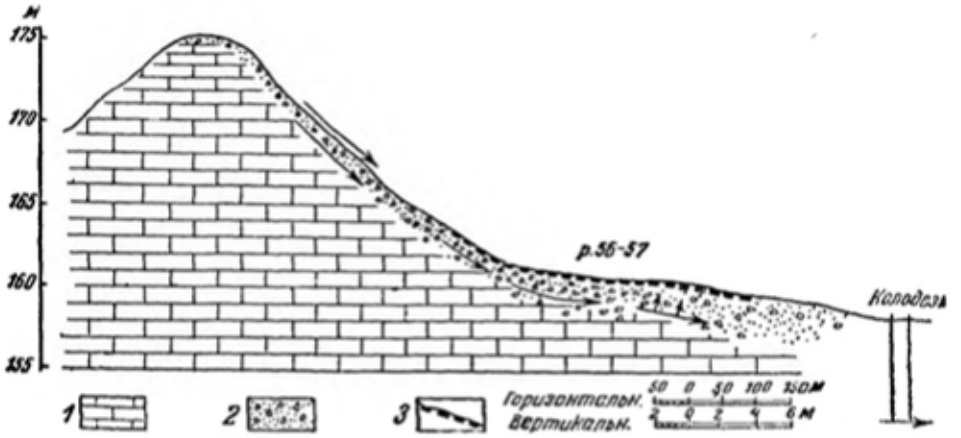
Однако наиболее распространенные формы континентальных солончаков: делювиально (пролювиально)-грунтовые, аллювиально-грунтовые, коллювиальные, являются общими для первичных и вторичных циклов миграции солей формами, особенности которых для каждого цикла при современных знаниях не различимы.

Делювиально-пролювиальное засоление

Делювиально-пролювиальные солончаки могут развиваться в обоих циклах миграции солей. Временные наземные и подземные воды типа делювиальных и пролювиальных потоков, промывая и разрушая массивные (в первичном цикле) или осадочные более или менее соленосные породы

захватывают при своем движении вместе с мелкоземом все растворимые соли. Откладываемый этими водами мелкозем при испарении несущих и пропитывающих его растворов обогащается солями. В рамках геологического времени постоянный приток и испарение делювиальных растворов вызовут развитие солончаковатости, а затем и солонцеватости нижних частей делювиальных шлейфов (Поволжье, Общий Сырт), либо конусов выноса пролювия (сазы и сазовые солончаки в Казахстане и Киргизии).

Воздействие притекающих растворов слабой концентрации вызывает часто развитие лишь глубинной солонцеватости, создавая впечатление, что развитие ее минует стадию солончаковатости. Подобного типа



Фиг. 1. Схематический профиль засоления делювиального шлейфа.

1—меловой известняк; 2—делювий; 3—покров солончаковатых почв

солонцеватые почвы часто развиты на склонах сыртовых равнин Заволжья, примыкающих к соленосным меловым известнякам Общего Сырта, отдающим при денудации свои соли (Озинский район).

На схематическом профиле фиг. 1 изображается случай засоления в Озинском районе Заволжья делювиального скелетного суглинистого шлейфа близ изолированного останца размывания, сложенного меловыми известняками и мергелями меловой системы. Меловые известняки содержат заметное количество солей, которые при выветривании и выщелачивании переходят в растворы сточных вод и грунтовой верховодки, падающей от останца вниз по поверхности мелового известняка. Из сточных поверхностных вод и грунтовой делювиальной верховодки соли насыщают как транспортируемый делювий, так и сформированный делювиальный плащ. Для характеристики засоленности меловых известняков, юрских и пермских глин, а также продуктов выветривания и толщи засоленных делювиальных отложений, залегающих у подножий останцев, в табл. 7 приводится анализ водных вытяжек.

Широко распространены в Заволжье солончаковатые солонцы делювиального засоления в виде колец на делювиальных подножиях многочисленных, сложенных пермскими глинами, соленосными известняками и даже третичными кварцитами, останцев на равнинах Общего Сырта.

Таблица 7

Состав водорастворимых соединений мелового известняка, юрских и пермских глин, продуктов их выветривания и солонцов делювиального плаща у подножий останцов (в %)

Образец	Глубина в см	Сухой остаток	Общая щелочность	Cl′	SO_4''	Ca··	Mg··	SO_4 [1] в 10% Na_2CO_3 вытяжке
Продукты выветривания пермских глин и юрских известняков на горе Богдо	С поверх.	Не опр.	Не опр.	1.07	0.35	Не опр.	Не опр.	Не опр.
Меловой известняк останца в Озинском районе	10	»	»	0.09	Ясные следы	»	»	»
Продукты выветривания мелового известняка на останцах (образец мела т. Григорьева)	С поверх.	»	»	0 01	»	»	»	»
Солончаковатый солонец на засоленном делювиальном шлейфе останца (разрез т. Григорьева)	0—5	0.12	0.05	0.01	Следы	»	»	»
	15—20	0.67	0.05	0.23	0.07	»	»	»
	25—30	1.91	0.04	0.38	0.71	»	»	»
	45—50	2.22	0.03	0.36	0.46	»	»	»
	80—85	1.78	0.02	0.22	0.46	»	»	»
	115—120	0.84	0.02	0.13	0.35	»	»	»
Соленосная юрская глина останца Общего Сырта (образец т. Скрябина)	0—5	0.10	0.05	0.01	Нет	0.02	—	Нет
	160—165	0.54	0 04	0 19	0.08	0.02	0.03	0.03
Солончаковатый солонец на засоленном делювиальном шлейфе останца юрских глин на Общем Сырте (разрез т. Скрябина)	0—5	0.10	0.04	0.01	0.01	0.01	—	0.01
	30—35	0 53	0.03	0.16	0.12	0.02	0.01	Следы
	45—50	1.08	0 03	0.45	0.17	0.04	0 02	0.04
	85—90	1.50	0.02	0 19	0.12	0 12	0.05	Следы
	145—150	1 65	0.02	0.43	0.63	0.33	0 05	0.56

[1] Гипс определяется по SO_4'', растворимой в соде (содовый метод). Анализы произведены в Лаборатории массовых анализов Почвенного института Академии Наук СССР.

Такого же типа засоленные почвы встречены нами у подножий горы Богдо в Каспийской равнине, где источником засоления является делювиальный транспорт солей, ранее аккумулированных в пермских глинах, слагающих Богдо (Cl до 1.07%; SO_4 до 0.35%).

Несколько иначе представлено делювиальное засоление в некоторых районах Среднего Заволжья (Кинельский район). Здесь делювиальными и овражными водами размываются крайне соленосные толщи акчагыльских отложений, лежащих в основании сыртов. Воды, обогащаясь солями акчагыльского яруса и сбрасываясь на третьи надпойменные террасы р. Кинель, при испарении образуют поверхностные солончаки в плоских сглаженных руслах на фоне почти полной опресненности почв и грунтов района.

Типы делювиального засоления в Заволжье описаны автором раньше, в другом месте (45). Оригинальным и ярким примером делювиального засоления являются исследованные аспирантом М. А. Глазовской солончаковатые солонцы на склонах Усть-Урта к Каспию в районе залива Кайдак. Сильно засоленный делювий лежит здесь непосредственно на относительно пресных олигоценовых глинах (46). Движение делювиальных вод и солей обычно сопровождается и движением их во временных горизонтах делювиальной грунтовой верховодки, отдающей растворенные в ней соли в период сухости при испарении в грунт и почву.

Наиболее типичной формой подобного засоления грунтов и почв являются сазы и сазовые солончаки в Средней Азии и Казахстане. Сазовые солончаки расположены на пролювиальных выносах из горных долин и ущелий. Грунтовые воды, фильтрующиеся с гор в толще пролювия,

Таблица 8

Данные анализа водных вытяжек из солончака Дальверзина (в %)

Глубина в см	Сухой остаток	Щелочность от CO_3''	Щелочность общ. HCO'_3	Cl'	SO_4''	$Ca^{\cdot\cdot}$	$Mg^{\cdot\cdot}$
0—8	1.02	Нет	0.03	0.06	0.55	0.09	0.01
8—18	1.30	—	0.03	0.07	0.75	0.08	0.03
30—40	2.58	—	0.01	0.52	1.64	0.24	0.05
63—730	4.26	—	0.01	0.63	1.82	0.26	0.07
85—95	2.61	—	0.01	0.33	1.13	0.21	0.04
130—14	0.79	—	0.01	0.17	0.32	0.05	0.02
185—195	0.40	—	0.03	0.03	0.25	0.13	0.01
250—260	0.26	—	0.04	0.01	0.03	0.11	Следы
320—330	1.54	—	0.01	0.01	0.86	0.25	0.03
Грунтовая вода в г/л	1.97	—	0.62	0.19	0.69	0.05	0.02

выходя в отдельных точках поверхности конусов выноса при переходе крутых склонов в более пологие, вызывают заболачивание (сазы) и часто сильное засоление поверхности — сазовые солончаки. Эти явления описаны К. Д. Глинкой (47), затем С. А. Кудриным и А. Н. Розановым (48) и др.

Сазы и сазовые солончаки встречены как в области сероземов, так и значительно выше, в горных областях среди каштановых почв.

Геоморфология и гидрогеология их развития определяется сочетанием перехода крутого склона в равнину или более пологий склон, а также — слабого дренажа территории и медленного оттока грунтовых вод при их более или менее интенсивном притоке.

Описанные С. А. Кудриным и А. Н. Розановым солончаки и солончаковые сероземы Дальверзинской степи на делювиальных и пролювиальных отложениях подножий Кураминских возвышенностей также являются типичными представителями рассматриваемой формы солончаков (табл. 8).

Можно полагать, что аналогичными по генезису солончаками являются и солончаки, описанные в 1912 г. Л. И. Прасоловым на шлейфах склонов Боргойского хребта в юго-западной части Забайкалья (49).

Аллювиально-грунтовое засоление

Широко распространенным является засоление покрова аллювиальных (речных или озерных) террас испаряющимися грунтовыми водами. Таковы солончаки первых террас рек Заволжья, низовий р. Кубани — в плавнях, тугайные солончаки Средней Азии на террасах рр. Аму-дарьи и Сыр-дарьи, дельтовые солончаки рр. Урала, Эмбы, Днепра, на террасах и дельтах рр. Инда, Нила, Колорадо, Терека, Аракса, Лены и многих других.

Обычная приуроченность солонцов ко второй и третьей террасам позволяет предполагать, что в сравнительно недавнем прошлом при соответственно более высоком уровне базиса эрозии аллювиально-грунтовые солончаки были распространены еще шире: вторая и третья террасы с солонцами в почвенном покрове рр. Иртыша, Лены, Волги, Дона, Днепра. Дуная и др.

Глубина, с которой грунтовые воды могут засолять поверхность, определяется сухостью климата, механическим составом грунта и его строением. Чем тяжелее механический состав, монолитнее строение грунта, тем относительно выше подымаются засоляющие поверхность пленочно-капиллярные растворы грунтовых вод. Однако практически пределом поднятия солей от поверхности грунтовых вод в некоторых условиях является величина 7—9 м, как это установлено нами для Заволжья, Е. Н. Ивановой и И. П. Герасимовым — для Кулунды и Каракалпакии, С. В. Зонн — для дельты р. Терек (50). При этом, очевидно, имеет место не только передвижение солей с капиллярными водами, но и с той формой воды, которая названа А. Ф. Лебедевым пленочной. Обычно же глубина засоляющей поверхность грунтовой воды равна 1.5—2.0—3.0 м. Эта глубина, впрочем, достаточно типична и для всех других форм засоления почв, где принимают участие грунтовая вода и капиллярные растворы.

Исследования Джафарханской опытной станции показали, что в условиях орошения высота капиллярного поднятия солей достигает 2.5—3 м (Н. А. Беседнов). Внутри группы аллювиально-грунтовых солончаков различается ряд частных случаев.

Подпочвенный солончак

Подпочвенный солончак характеризуется пресными верхними горизонтами и аккумуляцией солей на некоторой глубине в горизонте предельного поднятия капиллярных растворов. Этот солончак возникает в случае залегания грунтовых вод ниже их критической глубины.

На начальных стадиях, по мнению С. И. Тюремнова, глубинный солончак характеризуется: а) преобладанием в солях хлоридов, которые быстрее мигрируют, ранее достигают горизонта аккумуляции и поэтому накопляются относительно больше, чем сульфаты; б) в профиле почвы — уменьшением суммы солей к поверхности (табл. 9). Поздние стадии глубинного солончака будут утрачивать эти признаки, поскольку содержание сульфатов начнет постепенно возрастать за счет накопления гипса.

Таблица 9

Данные анализа солончака Джафарханской опытной станции (в %)

Глубина в см	Сухой остаток	Прокаленный остаток	Cl'	SO_3''	CaO	MgO
1—5	0.13	0.07	0.004	0.004	0.02	0.01
12—15	0.09	—	0.004	0.003	0.02	Следы
40—48	0.15	0.10	0.04	0.010	0.02	0.01
57—63	0.20	0.17	0.08	0.020	0.02	0.01
80—90	0.69	0.52	0.26	0.100	0.08	0.04
110—120	0.66	0.56	0.26	0.080	0.04	0.03
150—160	0.95	0.80	0.30	0.190	0.07	0.04

Первичный солончак

В случае постепенного поднятия грунтовых вод или вообще залегания их выше критической глубины испарение капиллярных растворов будет протекать на поверхности почвы. Такой солончак отличается образованием максимума солей на поверхности и уменьшением их с глубиной, относительным преобладанием в солях поверхностного горизонта хлоридов над сульфатами по сравнению с грунтовыми водами, новообразованием и накоплением хлористого кальция в самых верхних горизонтах солончака. Последнее явление связано с обменными реакциями между натрием поднимающихся растворов NaCl и поглощенным кальцием грунта и почвы с вынесением образующегося $CaCl_2$ на поверхность. Некоторым примером подобного солончака может служить анализ разреза почвоведа Никитина (из Средней Азии, 51), приводимый в табл. 10.

Еще более разительный пример этого явления приводит С. И. Тюремнов, впервые описавший и объяснивший подобные солончаки на Мугани (14) (табл. 11). Интересно, что эта закономерность накопления солей кальция на поверхности и в выцветах солей ранних солончаков сохраняется отчетливо и в солончаках Якутии.

Таблица 10

Данные анализа водных вытяжек солончака террасы р. Аму-дарьи (в %)

Пункт	Глубина в см	Плотный остаток	Растворимый перегной	Общ. щел.	Cl	SO_3	CaO	MgO
В 2—3 км западнее Кунья-Ургенч	1—1	13.78	0.13	0.01	6.59	0.21	0.88	0.53
	20—10	4.85	0.07	0.01	1.81	0.93	0.58	0.34
	50—30	1.55	0.02	0.01	0.30	0.59	0.30	0.07
	205—60	2.94	0.04	0.01	0.84	0.81	0.39	0.18
	205—215	4.10	0.02	0.01	0.59	0.58	0.22	0.15

Таблица 11

Состав солей в водной вытяжке разреза № 13 (в %)

Глубина в см	$CaCO_3$	Na_2SO_4	$MgSO_4$	$CaSO_4$	NaCl	$MgCl_2$	$CaCl_2$
1—6	—	—	0.082	—	0.532	0.173	0.932
12—17	—	—	0.033	—	0.371	0.163	0.401
25—30	0.004	—	0.036	—	0.308	0.151	0.244
45—55	—	—	0.072	—	0.532	0.293	0.397
95—105	—	—	0.355	—	0.167	0.080	0.646
115—120	0.002	—	0.120	—	0.395	0.045	0.142
150—160	0.013	—	0.165	0.153	0.580	—	0.001

Так, исследования А. А. Красюк (52) показали, что солончаки первой террасы р. Лены (близ с. Павловского), имея на глубине 80—85 см CaO и MgO по 0.004%, накопляют в горизонте 0—10 см CaO —0.399% и MgO — 0.373% (табл. 12).

Таблица 12

Данные анализа водной вытяжки из солончака I террасы р. Лены (в %).
(Анализ К. К. Гедройца)

Глубина в см	Плотный остаток	Прокаленный остаток	Потеря от прокаливания	Общая щелочность	SiO_2	SO_3	Cl	R_2O_3	CaO	MgO	Органич. вещество в см³ 0.05 *N* $KMnO_4$
0—10	3.009	2.389	0.620	0.039	0.003	0.978	0.550	0	0.399	0.373	84
20—30	0.442	0.350	0.092	0.057	0.004	0.073	0.119	0	0.016	0.025	67
50—60	0.094	0.067	0.027	0.029	0.003	0.015	0.015	Следы	0.008	0.008	23
80—85	0.100	0.060	0.040	0.020	0.005	0.015	0.015	0.012	0.004	0.004	46

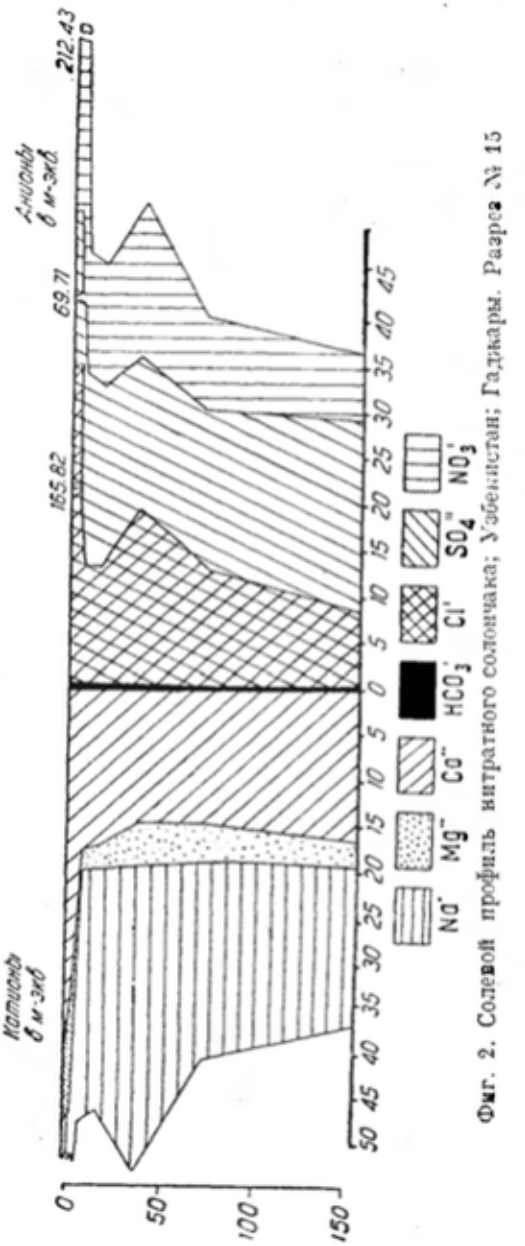
Нитратный солончак

Особой разновидностью аллювиально-грунтовых первичных солончаков являются нитратные и хлоридно-нитратные. Уже J. Walther отмечает

типичность для многих пустынь некоторых скоплений нитратов. Просмотр аналитических данных по составу селитряных аккумуляций Чили, Бенгалии, Венгрии, США убеждает в том, что совместно с селитрой приходят и аккумулируются хлориды и отчасти сульфаты.

Исследования Wetzel (53) показывают, что селитряные аккумуляции Чили и в настоящее время питаются по солончаковому типу нитратными соленосными грунтовыми водами. Исследование Селяковым селитряных месторождений Советской Средней Азии привело нас к выводу, что они представляют своеобразные хлоридно-нитратные солончаки, сформированные на аллювии Сырдарьи и других рек Средней Азии (Ковда и Селяков, 34).

Селитру вместе с хлоридами в этих солончаках принесли грунтовые воды с водосборных площадей гор, где атмосферное электричество, фиксация азота микроорганизмами и нитрификация органического азота осадочных пород являются постоянным источником нитратов. Слабость денитрификации, характерная для пустынь и связанная с прекрасной аэрируемостью грунтов и высоким окислительным потенциалом, обусловливает сохранение нитратов в грунтах и водах. Капиллярное движение растворов от грунтовой воды к поверхности приводит к образованию нитратных солончаков. При рассмотрении анализов (табл. 13) есть основание полагать, что нитраты в этих условиях движутся в грунте не медленнее, а возможно и быстрее хлоридов. Содержание нитратов в нитратных солончаках Средней Азии достигает 10 — 18% NO_3' (фиг. 2). Там, где в солончаках заметно накопляются сульфаты, нитраты исчезают и хлоридно-нитратный солончак замещается сульфатно-хлоридным. Видимо, это связано с тем, что перио-



Фиг. 2. Солевой профиль нитратного солончака; Узбекистан; Гаджары. Разрез № 15

Таблица 31

Органическое вещество, азот и водорастворимые соединения в селитряных солончаках Средней Азии (в %)[1]

№ разреза, местоположение	Глубина в см	Водная вытяжка								Гумус	Орган. азот
		NO_3'	Cl'	SO_4''	HCO'_3	$Ca^{\cdot\cdot}$	$Mg^{\cdot\cdot}$	$Na^{\cdot}$ по вычисл.	сухой остаток		
№ 1. Казалинск; древний аллювий р. Сырдарьи. Бугор	Корка	5.95	5.42	1.65	0.07	0.76	0.06	5.61	20.30	—	—
	0—5	2.54	1.53	1.03	0.03	0.59	0.07	1.67	7.66	1.71	0.10
	10—15	1.50	1.18	0.66	0.08	0.38	0.07	1.11	5.60	2.06	0.13
	35—40	1.25	0.88	0.21	0.09	0.16	0.04	0.91	3.84	1.50	0.09
	65—70	0.61	0.42	0.95	0.07	0.39	0.04	0.46	3.09	1.01	0.06
	115—120	0.18	0.24	0.94	0.10	0.25	0.05	0.33	2.29	0.53	0.04
	185—190	1.60	1.57	0.91	0.07	0.40	0.13	1.37	6.59	0.57	0.03
	310—320	0.04	0.39	0.43	0.10	0.03	0.01	0.35	1.48	—	0.02
	390—420	0.03	0.40	1.23	0.03	0.30	0.06	0.44	2.57	—	—
	530—540	0.03	0.05	0.17	0·08	0.04	0.01	0.08	0.40	—	0.02
Грунтовая вода в г/л		0.09	4.70	4.04	0.20	0.65	0.47	—	14.28	—	—
№ 15. Узбекистан; Гаджары, холм на древней аллювиальной террасе	Корка	8.15	3.35	1.80	0.03	0.78	0.11	5.11	20.05	1.13	0.06
	0.5—3	5.02	2.53	1.50	0.03	0.69	0.15	2.91	13.43	0.96	0.05
	5—10	0.82	0.45	1.00	0.04	0.35	0.03	0.63	3.56	0.64	0.05
	15—20	0.82	0.46	0.94	0.03	0.34	0.03	0.62	3.51	0.64	0.04
	35—40	1.05	0.68	0.78	0.03	0.29	0.06	0.77	3.92	0.79	0.04
	70—75	0.61	0.45	0.83	0.03	0.29	0.05	0.51	3.10	—	—
	150—155	0.45	0.29	1.00	0.03	0.33	0.04	0.39	2.78	0.48	0.04
№ 17. Там же, подножие холма	Налет	9.11	1.14	25.35	Не опред.	Не опред.	Не опред.	Не опред.	Не опред.	Не опред.	
	Корка	12.63	20.04	2.09	»	»	»	»	»	»	0.05
	0.2—3	5.06	10.94	2.46	»	»	»	»	»	»	0.05
	3—8	0.70	1.37	1.63	»	»	»	»	»	»	0.06
	15—20	0.14	0.30	0.99	»	»	»	»	»	»	0.07
	30—35	0.28	0.76	1.08	»	»	»	»	»	»	0.06
	45—50	0.27	0.97	0.27	»	»	»	»	»	»	0.07
	75—80	0.11	0.45	0.15	»	»	»	»	»	»	Не опред.
Грунтовая вода в г/л		0.003	0.04	0.19	0.26	0.09	0.03	»	0.56	»	»

[1] Анализы произведены в Лаборатории массовых анализов Почвенного института Академии Наук СССР химиками Калужской и Комаровой

дичность смены засоления и рассоления, приводящая к относительному обогащению сульфатами, ведет к вымыванию нитратов и их денитрификации.

Судя по литературным данным, нитратные солончаки широко распространены среди засоленных почв США в штатах Utah, Colorado, Arizona, Virginia, California, в почвах долины р. Сан-Себастьяно, Боливии, Колумбии, Аргентине (Clarke, 31; Harris, 33; Stewart and Peterson, 54), где содержание нитратов достигает 15—25%. Имеются также указания на образование селитряных солончаков в низовьях р. Киянгсу в Китае (55).

Солончак периодический

Обменные реакции поглощенного кальция грунта и почвы происходят не только с NaCl, но и с Na_2SO_4. В последнем случае образуется гипс, который может также накопиться при взаимодействии Na_2SO_4 с $CaCO_3$ или вновь образовавшимся $CaCl_2$. Таким образом, сульфаты переходят в менее подвижные формы. Происходит закрепление сульфатов в виде гипса. Если опускание базиса эрозии вызовет падение уровня грунтовых вод и обусловит начало выщелачивания солончака, то нисходящие растворы вынесут из поверхности хлориды как более растворимые. Отношение $Cl : SO_4$ по сравнению с таковым в грунтовой воде изменится в пользу сульфатов. Произойдет их относительное накопление. С другой стороны, вымывание сульфатов Na будет отставать также от хлоридов, что, в свою очередь, при периодическом засолении и рассолении поведет к их относительному и абсолютному накоплению.

Периодическое, даже сезонное поднятие и опускание грунтовых вод поведет, таким образом, к все возрастающему накоплению сульфатов в соленосных поверхностных горизонтах. Это относительное преобладание сульфатов над хлоридами особенно сильно заметно при сравнении их отношений в грунтовой воде и почве (табл. 14).

Таблица 14

Данные анализа водных вытяжек из периодического солончака поймы р. Сыр-дарьи (в %)[1]

Глубина в см	Плотный остаток	Раств. перегной	Щелочность общая	Cl	SO_3	CaO	Mg	$\frac{Cl}{SO_3}$
Корка	61.76	0.51	0.25	1.17	32.84	0.75	0.61	1 : 28.0
0—2	23.29	0.23	0.17	1.07	11.58	0.17	0.49	1 : 10.8
2—10	2.08	0.02	0.05	0.24	0.90	0.21	0.06	1 : 3.6
10—20	0.63	0.02	0.05	0.06	0.27	0.03	Следы	—
40—50	0.40	0.01	0.09	0.03	0.13	0.01	»	—
95—100	0.33	—	0.05	0.02	0.13	Следы	»	—
115—125	0.26	—	0.07	0 01	0.04	0.01	»	—
Грунтовая вода в г/л	0.12	—	0.01	1.01	0.06	0.02	—	1 : 6

[1] Н. А. Димо.

Солончаки рассоляющиеся — «гипсовые»

Дальнейшее падение уровня грунтовых вод и систематическое вымывание легкорастворимых солей (NaCl, Na_2SO_4) солончака может привести к тому, что в составе солей останется лишь гипс. Стадия «гипсового солончака» — одна из ранних стадий рассоления. Подобного типа луговые «гипсовые солончаки» часто встречаются на речных террасах на Дону, в Ставропольщине, в Азиатской части Союза (Аболин, 75) и отличаются высоким плодородием, так как гипс при его низкой растворимости совершенно безвреден.

ОЗЕРНО-КОЛЛЮВИАЛЬНОЕ ЗАСОЛЕНИЕ

Коллювиальное засоление

Типичной формой солончаков для Каспийской равнины степей Западной Сибири (Кулунда), Туркмении (Узбой, Саракамыш), Закавказья (низовая Турьяна и Геок-Чая, Ахчала, Карачала), Египта (низовья Нила), Венгерской низменнсти, Ирана (низменность Kewire), Северной Америки (Utah, Bonnewill, Lahontan) и т. д. и т. п. являются солончаки коллювиальные и приозерные, расположенные в бессточных депрессиях тектонического (Эльтон, Баскунчак, Индерское озеро), просадочного или остаточно-эрозионного происхождения (Кулундинские озера). Широко распространены также коллювиальные и приозерные солончаки в областях иссякания «слепых» рек, куда ежегодными половодьями — «разливами» — сбрасываются как мелкозем, так и соли, приносимые реками. Таковы солончаковые низовья рек Большой и Малый Узень в Заволжье, Кумы, Эмбы и Мургаба, Сары-су, Чу, Эрмек (Аравия), Тарин в Лопнорской пустыне (Тибет) и многие другие.

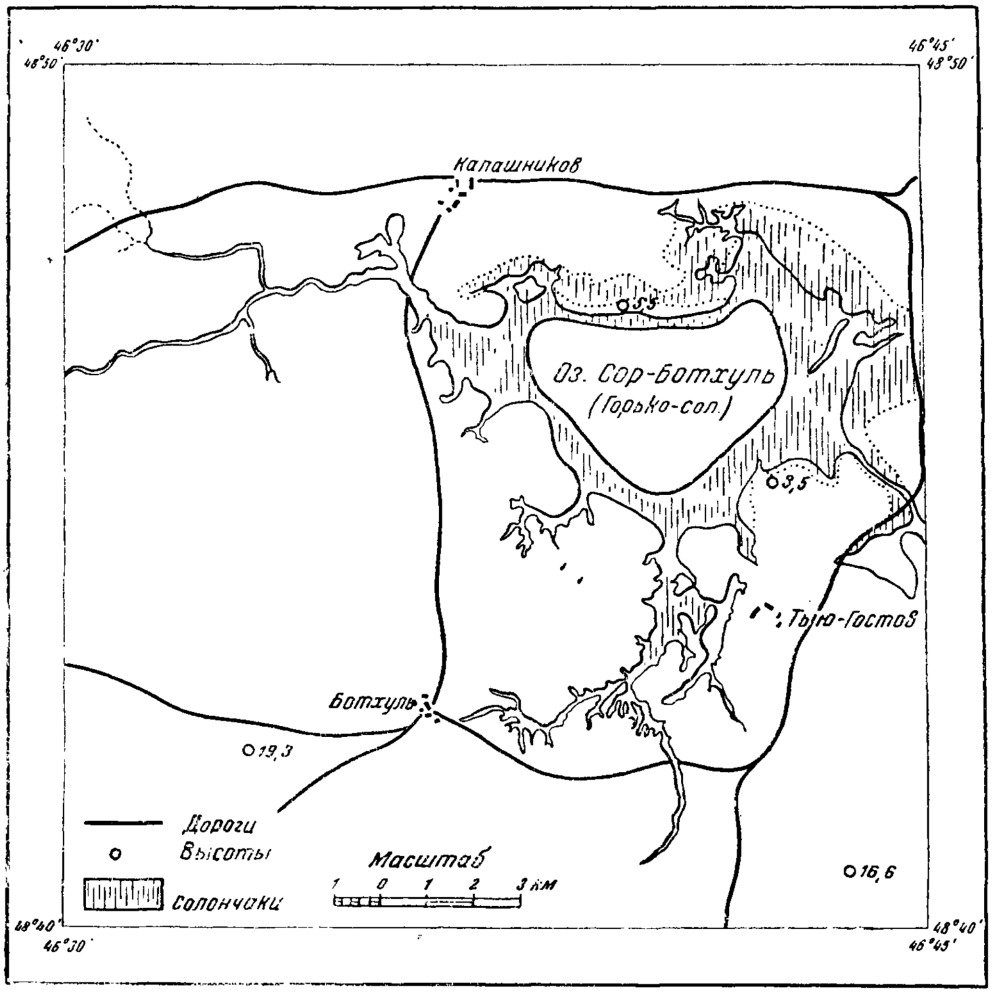
В обоих случаях котловины приобретают значение местного базиса эрозии и базиса аккумуляции солей. В первом случае аккумулируется материал с ближайших окрестностей и водосбора котловины (фиг. 3).

Во втором случае источником солей могут быть районы, удаленные и находящиеся в верхнем течении рек. Ниже приводится описание исследованного нами засоления «слепыми» реками почв Каспийской равнины.

Реки М. и Б. Узень, Горькая и Кушум прервали свою связь с Каспийским бассейном, превратившись в бессточные «слепые». Таким образом, в низовьях их образовалась область аккумуляции транспортирующихся сюда механических элементов и солей, которые дренируются этими реками как в сыртовой области, так и в области Каспийской равнины.

На фиг. 4 (стр. 50) представлены концентрации солей в р. Малый Узень, которые сбрасываются в ее низовья. На протяжении 200 км (села Августовка, Таловка, Нижняя Казанка) концентрации солей возрастают вниз по течению. Если эти концентрации у с. Августовка составляют 3 г/л, то дальше они повышаются до 4 г/л, а в области планации, куда сбрасываются солевые растворы сети, они достигают 12—8 г/л.

Расчеты почвоведа С.В. Быстрова, по данным водомерных пунктов на рр. Чижа I и Чижа II показали, что только чижинские разливы

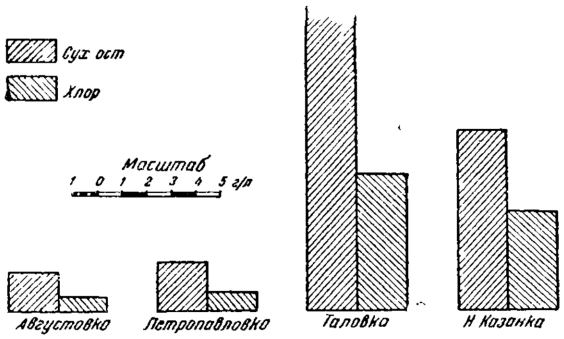


Фиг. 3. Засоление местной бессточной котловины. Каспийская равнина, Заволжье

в Каспийской равнине ежегодно получают около 90 тыс. т солей. Таким образом эта область из рассолявшейся с недавнего времени превратилась в область интенсивного засоления. Характерно, что рыбы, в массовом количестве населяющие здешние засоленные озера и плёсы, относятся к пресноводным формам.

Депрессии того или иного генезиса при коллювиальном засолении отличаются идеальной равнинностью днищ, затянутых соленосным влажным глинистым наносом, затронутым почти обычно процессами десульфуризации. Часто тонкий слой концентрированной рапы в первую половину лета или после дождей покрывает плоское днище депрессии. Периоды сухости обычно приводят к полному высыханию рапы и образованию снежно-белого соляного покрова. Растительность

на поверхности этих солончаков отсутствует. Подобного рода солончаковые депрессии в Средней Азии и Сибири носят название «сор», «шор», в Египте немцы назвали их Salzpfanne, Saline, в США — американское Lake. Переходной формой к сорам и шорам являются соляные грязи «хаки» Каспийской равнины и Salzsumpfe Средней Азии, описанные немцами в Африке.



Фиг. 4. Минерализованность вод р. М. Узень, сбрасываемых в Каспийскую равнину

Соляные грязи — это коллювиальные солончаки, в которых рапа не обособляется от мелкозема.

По наблюдениям Ковда и Лебедева (56), в Каспийской равнине между хаками, сорами, озерами и солончаками существует во многих случаях генетическая связь по типу: пресные озера или лиманы → соляные озера → соры → соляные грязи «хаки» → → солончаки. Этот тип эволюции характерен, повидимому, и для других областей. Однако не исключено и обратное соотношение солончаков, соров и озер.

По химизму коллювиальные солончаки обычно относятся к группе хлоридно-сульфатных и сульфатно-хлоридных. Условия, при которых происходит развитие солончаков различного химизма, не изучены и ждут своего исследователя. Есть все основания полагать, что среди коллювиальных солончаков могут развиваться солончаки нитратные и боратные.

Таблица 15 [1]

Данные анализа водных вытяжек из солончака днища сора Ботхуль (в %)

Глубина в см	Сухой остаток	Щелочн. общая	Cl'	SO_4''	$Ca^{\cdot\cdot}$	$Mg^{\cdot\cdot}$	$Na^{\cdot}$ по вычислен.	SO_4 гипса	CO_2
0—5	5.39	0.02	2.19	1.22	0.34	0.23	1.21	5.92	3.65
30—35	4.03	0.02	1.19	1.22	0.31	0.11	0.87	6.77	5.15
60—65	3.97	0.02	1.26	1.21	0.29	0.10	0.88	7.56	3.56
140—145	2.76	0.03	1.41	0.22	0.03	0.07	0.88	0.23	—
200—210	1.79	0.63	0.90	0.15	0.01	0.03	0.53	0.22	3.70
Грунтовая вода в г/л	124—54	0.25	59.15	6.79	1.73	Много	—	—	—

Некоторую картину состава солей сорового солончака первого типа может дать анализ водной вытяжки разреза, заложенного почвоведом Нижневолжской экспедиции Института почвоведения С. Селяковым в днище сора Ботхуль в Каспийской равнине близ станции Сайхин Рязано-Уральской жел. дор. (табл. 15).

[1] Анализы выполнены в Лаборатории массовых анализов Института почвоведения Академии Наук в 1933 г.

По аналогии с озерами, согласно Ивановой и Герасимову, можно допускать, что химизм возникающих в депрессиях коллювиальных солончаков будет определяться:

1) характером их питания — поверхностные воды, грунтовые или поверхностные и грунтовые совместно;

2) засоленностью окружающего бассейна;

3) проточностью самой котловины;

4) длительностью аккумуляции солей в котловине.

Та или иная гипсоносность и солончаковатость и обычная карбонатность грунтов водосборного и солесборного бассейна как при поверхностном, так и особенно при смешанном поверхностном и грунтовом питании котловин дают смешанные хлоридно-сульфатно-карбонатные формы солончакового коллювия.

При этом ранние стадии аккумуляции солей будут отличаться преобладанием нитратов и хлоридов, приносимых с солесборной площади быстрее сульфатов.

Более поздние стадии будут отличаться попутным накоплением сульфатов.

Химизм чёточных котловин-озер при временной весенней проточности их во время переполнения весенними водами осложнен в своей эволюции еще больше. В цепи таких депрессий конечно-сточные котловины будут сульфатно-хлоридными, иногда даже бескарбонатными, а начальные дадут ряд форм различного соотношения хлоридов, сульфатов и карбонатов с возрастанием содержания сульфатов и карбонатов вверх, по цепочке озер котловин (Иванова и Герасимов).

Причина этой дифференциации заключается в том, что весенние сбросные воды, унося к конечным депрессиям хлориды, не захватывают некоторой части сульфатов и карбонатов щелочей, выпавших из раствора при зимних холодах и не успевающих раствориться при низкой весенней температуре.

Озерное засоление

В озерном засолении, как и в морском, различается засоление прибрежное (приозерное) и донное. Мы совершенно не располагаем материалами, чтобы охарактеризовать эти формы засоления сколько-нибудь подробно. Бесспорно, что прибрежные озерные солончаки по числу форм будут несравненно богаче приморских уже по одному тому, что химизм и концентрации солей в озерах значительно разнообразнее, чем в морской воде.

Химизм изолированных соляных озер зависит в основном от характера питания (поверхностное, грунтовое или смешанное), засоленности водосборной площади, продолжительности накопления и режима солей (последовательное выпадение из растворов карбонатов, гипса, хлористого натрия, сернокислого магния).

Донное озерное засоление, как это будет видно ниже, может значительно отличаться от донного морского. Причины этого лежат в том, что соленая озерная вода, или рапа, часто будучи более концентрированной, чем морская, отдает в донные отложения озер

значительно больше солей, чем получает морской седимент. Так, например, сухой остаток водной вытяжки из донных отложений Эльтонского озера равен 22.27% (57), Сакского озера (Крым) 9—17—22% (58), оз. Медвежье (Сибирь)—8.85% (59), причем в этом числе не меньше половины NaCl. Эти количества превышают соответственные величины у морских отложений.

Гораздо существеннее, однако, то, что озерные донные отложения часто имеют целые прослои или горизонты солей в толще механических осадков; во многих случаях осадок переполнен кристалликами солей, более или менее равномерно смешанных с мелкоземом.

Таковы, например,отложения оз. Эльтон, представляющие на значительную глубину смесь грязевых отложений, перемежающихся с солевыми прослоями и горизонтами. Аналогичными примерами отложений горько-соленых озер могут служить песчано-глинистые соленосные толщи палеогена Центрального Тянь-Шаня или олигоцена и миоцена Турецкой Армении (Наливкин, 60).

С другой стороны, в отложениях соляных озер содержание углекислого кальция, повидимому, никогда не достигает таких величин, как в морских осадках (до 20—50%), оно остается в пределах 5—15% (исключая, конечно, отложения пресноводного мергеля).

Таким образом, донные отложения соляных озер имеют значительно больше шансов рзвиваться в дальнейшем по солонцовому типу.

В. И. Николаев, исследовавший ряд озер дельты Волги, приводит данные, которые показывают, что бо́льшая часть озер в той или иной степени отличается скоплениями донных солей, перемежающихся с илом и песком (61). В частности, высохшее днище Большого Басинского озера имеет с поверхности слой NaCl до 80 см общей глубины, с прослойками грязи и песка; ниже, до 90 см идет горизонт эпсомита, а затем снова грязевые отложения (61).

Таблица 16

Состав водной вытяжки из донных отложений Сакского озера (в %)

Глубина в см	Потеря при 80°	Сухой остаток	Cl'	SO_4''	$Ca^{\cdot\cdot}$	$Mg^{\cdot\cdot}$
0—3	52.99	10.96	5.53	1.49	0.29	0.45
3—33	42.38	11.19	3.80	3.28	1.02	0.44
33—63	38.28	13.53	4.05	4.36	1.46	0.44
63—93	35.93	12.82	4.28	3.97	1.30	0.46
93—116	32.94	13.24	4.35	4.21	1.45	0.42
116—148	31.62	14.83	5.53	4.07	1.38	0.47
148—180	31.91	17.48	6.14	5.22	1.85	0.43

Исследования С. А. Щукарева, С. К. Косман, О. Н. Косман показали (58), что в верхних горизонтах донных грязевых отложений около половины массы падает на воду, содержание которой, однако, с глубиной быстро падает; это связано, повидимому, с механическим уплотнением осадка и выжиманием воды. Сумма легкорастворимых солей с глубиной увеличивается, поэтому можно полагать, что уплотнение седимента и выжимание захваченных вод сопровождаются поглощением солей (табл. 16).

Изучение солянокислых вытяжек и пересчеты солей дали авторам возможность показать, что диагенез донных отложений в Сакском озере сопровождается возрастанием содержания хлоридов натрия и гипса при уменьшении содержания углекислого кальция (табл. 17). Механизм этих изменений остается неясным. Быть может, он обязан перемежаемости процессов десульфуризации и окисления, при которых образующаяся серная кислота растворяет карбонат кальция, переводя его в гипс. Конечно, это допущение исходит из предположения о неизменности условий Сакского озера. Однако совершенно не исключена возможность, что изменение характера соленосности отложений с глубиной отражает эволюцию химизма вод самого озера, либо его геологию [наличие глубинного соляного пласта (Мушкетов)].

Таблица 17

Состав солей в донных грязевых отложениях Сакского озера (в %)

Глубина в см	H_2O	NaCl	$MgSO_4$	$MgCl_2$	$CaSO_4$	$CaCO_3$	$MgCO_3$
0—3	52.5	7.9	1.0	1.0	2.2	12.8	—
3—33	39.8	5.2	1.0	0.9	12.1	7.5	0.1
33—63	34.8	5.6	1.1	0 9	16.4	8.7	—
63—93	31.8	5.9	1.1	0.9	19.9	7.8	1.1
93—116	27.6	6.0	0.9	0.9	22.8	7.0	1.6
116—148	27.9	7.8	1.0	1.1	17.8	9.7	0.1
148—180	27.7	9.0	1.0	0.9	20.2	8.2	0.2

Изученность процессов засоления донных осадков озер крайне ничтожна. Приведенные выше немногочисленные данные принадлежат химикам и бальнеологам и меньше всего геологам и почвоведам.

Между тем именно с озерами связано происхождение сильно засоленных материнских пород (исключая лагун), которые при последующем почвообразовании на них дают солончаки и солонцы в условиях удаленности и отсутствия влияния грунтовых вод при денудации поверхностных отложений.

Автор не имел никаких данных для характеристики прибрежноозерного засоления, которое, очевидно, является очень сложным и своеобразным.

В группе озерно-коллювиальных солончаков по химическому составу можно различать солончаки хлоридно-сульфатные и сульфатно-хлоридные, затем содовые, боратные и, весьма вероятно, нитратные; последние близки к описанным ранее.

Содовые солончаки и озера известны в Якутии, Забайкалье, Западной Сибири, на Украине, в Манчжурии, Венгрии, США. Это— области, переходные от степного режима к пустынному. С другой стороны, содовые аккумуляции известны и в областях пустынных: в Закавказье, Монголии, Египте, Чили, Иране, Турции. Обращает также внимание расположение содовых аккумуляций в дельтовых областях рр. Нила, Днепра, Сыр-дарьи.

Исходя из описанных выше возможных источников образования соды в коре выветривания, можно заключить, что случай гидролиза силикатов из минералов массивных пород при воздействии CO_2 воздуха может явиться источником соды в первичных циклах засоления, т. е. засоления, вызванного солями, первично появляющимися при выветривании массивных пород.

$$Na_2SiO_3 + 2H_2O \rightarrow 2NaOH + \boxed{SiO_2.H_2O}$$

$$2NaOH + CO_2 \rightarrow Na_2CO_3 + H_2O$$

По мнению Г. Берга, подобного происхождения содовые скопления — в озерах и солончаках США (40).

Исследование Р. Х. Айдиняна (62) засоленных почв Араздаянской степи (левобережье р. Аракса) привело его к мысли, что содовые растворы, засоляющие на ряду с другими солями почвы этой степи, являются результатом выветривания пород, которые слагают прилегающие горные цепи и содержат алюмосиликаты щелочей. Содовые солончаки Араздаяна содержат до 1.28% карбонатов и бикарбонатов натрия ($NaHCO_3$—0.91%, Na_2CO_3—0.37%) в верхнем горизонте и имеют pH до 9.4 (табл. 18, фиг. 5).

Таблица 18

Состав водной вытяжки и главные составные части содового солончака Араздаяна (в %)

Глубина в см	pH водной вытяжки	CO''_3	HCO'_3	Cl'	SO''_4	CO_2	$CaCO_3$ пересчет	Гумус
1—7	9.4	0.22	0.66	0.77	0.75	6.00	13.00	0.59
7—22	9.2	0.07	0.26	0.22	0.15	8.92	18.58	0.57
22—78	9.0	0.03	0.14	0.11	0.06	8.48	17.65	0.40
78—89	8.9	0.02	0.13	0.11	0.02	4.64	9.67	0 72
89—120	8.4	0.01	0.12	0.13	0.01	4.95	10.31	0.20

Хотя подобное образование соды распространено широко, все же обращает на себя внимание очень редкая приуроченность содовых скоплений к области массивных пород. Крупнейшие содовые аккумуляции приурочены к толщам осадочных пород в аккумулятивных областях.

Схема содообразования Hilgard, к которой присоединяются Браунс, Курнаков и его ученики, уже полностью связана с миграцией солей во вторичных циклах и именно предполагает встречу известняков, мергелей, карбонатных грунтов (лёсс) с растворами хлоридов и сульфатов натрия.

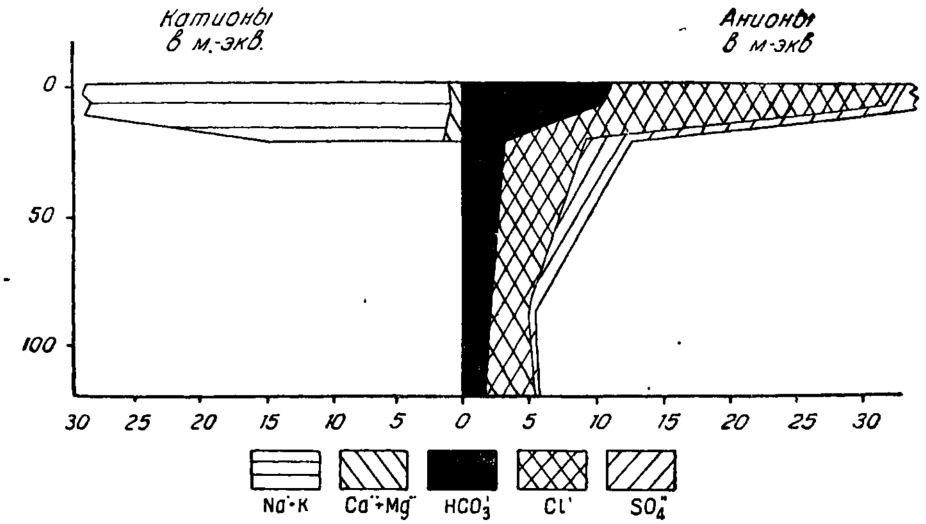
Сама по себе система

$$CaCO_3 + 2NaCl\ (Na_2SO_4) \rightleftarrows Na_2CO_3 + CaCl_2\ (CaSO_4)$$

при простом соприкосновении исходных реагентов не может итти сколько-нибудь значительно в сторону содообразования, ибо реакция будет направлена в сторону наименее растворимого соединения—$CaCO_3$. Поэтому в обыч-

ных условиях эта система дает лишь незначительное количество соды. Но было бы ошибкой не оценить роль этой системы в геохимических процессах при том многообразии условий, которые могут создаваться в коре выветривания.

Так, например, если представить себе постоянное прохождение растворов хлористого и сернокислого натра через известковый грунт, мергель или известняк и затем их испарение, то в области испарения прошедших



Фиг. 5. Солевой профиль содового солончака Араздаянской степи

растворов неизбежно будет накопляться сода и $CaCl_2$ или гипс с образованием содовых солончаков. Эта реакция должна особенно усиливаться на холоду.

Постоянный ток натронных растворов через известковые толщи может возникнуть как при капиллярном их поднятии и испарении на поверхности, так и при фильтрации под влиянием силы тяжести.

Можно полагать, что большинство содовых озер и солончаков пустынных областей (Египет, Чили, Индия) обязано именно этой схеме процесса. Подтверждение этому можно видеть и в том, что в указанных областях, повидимому, не развиваются солонцы, которые могли бы явиться источником соды.

В Египте содовые солончаки носят исключительно выраженный характер на равнинной песчаной поверхности берегов вокруг и между озер, расположенных в древнем рукаве Нила, Вади-Натрун. Солончаки с поверхности покрыты выцветами и друзами соды, выпавшими из испаряющихся капиллярных растворов (Б. Л. Ронкин, К. Бертолле, Андреосси, 63).

Б. Л. Ронкин считает, что в аналогичных условиях образуются содовые аккумуляции оз. Хайрпур (Khairpur) в полупустынных частях Западной Индии близ р. Инда. О влиянии озерной воды содовых озер на образование береговых солончаков в этих районах можно судить по данным M. Mehedin (Ронкин).

Таблица 19

Химический состав содовых аккумуляций Вади-Натрун (в %)

	Natrun Sultani Донная сода озер	Chorshef Выцветы на солончаках
$Na_2CO_3 + NaHCO_3$	87.98	85.86
NaCl	4.00	7.00
Na_2SO_4	0.59	1.20
Сумма	92.57	94.06

Содовые озера засоляют грунт с изменением соотношения солей в нем в пользу NaCl по сравнению с Na_2CO_3, что указывает на большую подвижность NaCl по сравнению с карбонатами Na (табл. 20).

Таблица 20

Содержание солей в озерной воде и в прибрежном грунте оз. Хайрпур (в %)

Соли	В озерной воде	В прибрежном грунте
Na_2CO_3	0.14	1.82
NaCl	0.18	13.45
$CaCO_3$	0.04	1.40
$MgCO_3$	0.05	—
$CaCl_2$	—	0 42
$MgCl_2$	—	1.36

Значительное число известных содовых аккумуляций озер и солончаков связано не столько с пустынным или полупустынным режимом, сколько с условиями степей. Таковы содовые аккумуляции Западной Сибири, Забайкалья, Венгрии, США и др. Описания Е. Н. Ивановой и Ин. П. Герасимова, 'Sigmond и его учеников, Kelley и наши наблюдения в Куйбышевском Заволжье указывают на то, что подобные содовые аккумуляции находятся в бессточных депрессиях среди массивов солонцов и солонцовых почв, т. е. почв, продуцирующих в процессе своей эволюции соду.

Это позволяет генезис содовых солончаков и озер в данных условиях связывать с вторичным накоплением соды, выносимой из солонцов при рассолонцевании.

Происхождение соды в этом случае объясняется установленными К. К. Гедройцем обменными реакциями между почвой, насыщенной натром, и углекислотой или углекислым кальцием:

$$(\text{погл. компл.})\text{-}Na_2 + H_2CO_3 \longrightarrow (\text{погл. компл.})\text{-}H_2 + Na_2CO_3$$
$$\text{или } (\text{погл. компл.})\text{-}Na_2 + Ca_2CO_3 \longrightarrow (\text{погл. компл.})\text{-}Ca + Na_2CO_3.$$

Выщелачивание образующейся при этом соды и перенос ее поверхностными водами в бессточные депрессии при последующем их испарении и создает содовые аккумуляции. Таков генезис содовых озер и береговых содовых солончаков Кулунды (Иванова, Герасимов), поймы низовий

Днепра, некоторых лиманов Заволжья, Венгрии. Содовые солончаки Венгрии хорошо описаны A. A. J. 'Sigmond, A. Herke, L. Pozdena под названием kalk- und sodahaltige Szikböden.[1]

Они обычно богаты по всему профилю углекислым кальцием и магнием. Содержание растворимых солей довольно значительное, в особенности на поверхности, где они дают обильные выцветы. Большая часть солей приходится на долю Na_2CO_3 и $NaHCO_3$. Реакция этих солончаков колеблется в пределах 8.5—10.5 pH.

Содовые солончаки Венгрии тесно связаны со «степными содовыми озерами», либо временными высыхающими водоемами Венгерской низменности. Они располагаются между этими озерами, особенно же на их берегах и на днище депрессий при высыхании воды. Повышенные районы низменности заняты, по указаниям 'Sigmond (64), солонцами и солонцеватыми почвами, что полностью объясняет происхождение соды в депрессиях и солончаках.

Картину засоленности содовых солончаков отчетливо показывают аналитические данные 'Sigmond и Herke (65) (табл. 21).

Таблица 21

Состав солей в содовом солончаке Венгрии (в %)

Глубина в см	pH	Сумма солей по электропроводности	Na_2CO_3	$CaCO_3$	Примечание
0—5	8.9	0.03	0.03	0.6	Берег высохшего водоема Fehér-to, Szeged
15—30	10.0	0.44	0.93	1.8	
30—45	10.0	1.17	0.40	6.6	
45—60	10.0	0.72	0.42	22.3	
60—75	9.8	0.22	0.22	28.6	
75—90	9.8	0.17	0.17	26.3	
90—105	9.8	0.14	0.16	25.7	
105—120	9.6	0.12	0.10	24.8	
0—15	9.4	0.43	0.24	7.8	Днище высохшего водоема Fehér-to
15—30	9.3	0.21	0.16	9.9	
30—45	9.3	0.17	0.14	7.8	
45—60	9.3	0.13	0.12	25.6	
60—75	9.3	0.11	0.07	26.6	
75—90	9.1	0.09	0.06	34.0	

Еще более сильную засоленность содовых солончаков Венгрии рисуют данные L. Pozdena (66). Его исследования касаются прибрежного участка степного озера Neusidler See в западной части Венгерской низменности.

Здесь содержание соды в выцветах солей на поверхности солончака (Pozdena полагает, что это солонец переходный к солончаку) достигает 0.97% Na_2CO_3 (табл. 22).

Из данных 'Sigmond, Pozdena, Земятченского, Ивановой, Герасимова и Kelley о щелочности содовых солончаков можно видеть, что содержание

[1] Иногда, впрочем, совершенно неправильно они рассматривались некоторыми венгерскими почвоведами как черные солонцы (L. Pozdena).

Таблица 22

Анализ водной вытяжки из содового солончака западной части Венгерской низменности (в %)

(Данные Pozdena)

Глубина в см	Сухой остаток			Щелочность							CaO	Cl	SiO_2	SO_3	K_2O	Na_2O	Раст гум в 0 05N $KMnO_4$	pH	SO_3 из HCl вытяжки
	общий	прокаленный	потеря	общая	бикарбонатов		нормальн карбонатов		CO''_3	Na_2CO_3									
					от щелочей	от щелочных земель	Na	Ca											
0—0 5	3 88	3 47	0 41	0 001	0 001	—	0 002	—	0 549	0 972	0 008	0 047	0 018	0 993	0 041	0 903	7 80	9 4	2 68
0.5—11	0 69	0 53	0 17	0 013	0 008	0 04	0 012	0 006	0 071	0 126	0 006	0 010	0 014	0 129	0 009	0 063	1 86	9 5	0 400
11—13	0 25	0 19	0 06	0 019	0 014	0 005	0 019	0 007	0 008	0 015	0 007	0 003	0 011	0 044	0 007	0 012	1 05	9 3	0 168
13—17	0 38	0 31	0 08	0 010	0 005	0 005	0 007	0 006	0 025	0 045	0 008	0 005	0 018	0 072	0 005	0 061	2 65	9 2	0 181
17—80	0 68	0 53	0 15	0 004	0 033	0.012	0 044	0 007	0 031	0 054	0 007	0 005	0 016	0 137	0 010	0 2[illegible]6	2 15	9 3	0.357
80—90	0 81	0 67	0 14	0 008	0 003	0 002	0 007	0 003	0 068	0 119	0 009	0 011	0 010	0 189	0.013	0 229	2 35	9 5	0 688

соды в них доходит до 0.2—0.9%. Содержание прочих солей в содовых солончаках может сильно колебаться, доходя до десятка процентов, как это показано выше. Однако в районах интенсивного и длительного рассоления хлориды и сульфаты исчезают полностью, уступая место соде.

Примером подобного содового солончака может быть разрез П. А. Земятченского в б. Нежинском уезде б. Черниговской губернии (67).

Таблица 23

Состав водной вытяжки из содового солончака б. Нежинского уезда (в %)

(Данные Земятченского)

Глубина в см	Сухой остаток	Общая щелочность HCO_3'	CO_3'	Cl'	SO''_4	$Ca^{\cdot\cdot}$	$Mg^{\cdot\cdot}$
1.5—5	0.33	0.25	Нет	Нет	Нет	0.01	Следы
30—35	0.06	0.06	»	»	»	Следы	0.01
60—65	0.04	0.04	»	»	»	»	Следы

В какой степени и в каких условиях играют роль в образовании содовых аккумуляций другие возможные пути образования соды (см. выше), судить трудно.

Вообще следует отметить, что проблема содообразования и содовых солончаков далека от разрешения. Необходима значительная экспериментальная и географическая исследовательская работа.

Боратные солончаки. Образующиеся из вулканических борсодержащих эксгаляций легкорастворимые соли борной кислоты (см. выше) способны в условиях крайне сухого климата давать боратные озера и боратные солончаки вокруг них. Боратное засоление обычно сопровождается значительным участием хлоридов и сульфатов.

Судя по данным Р. Браунса (41), B. Demmer и O. Titze (68) и Г. Берга (40), боратные солончаки широко распространены вокруг озер в Тибете, пустынях Калифорнии, Магова и Амаргоза, Орегоны, Невады.

Корка солей в приозерных боратных солончаках, либо в высохших озерах достигает здесь 10 см и больше, содержа (в %):

$Na_2B_4O_7$	11—14
$NaCl$	11—20
Na_2SO_4	7—16
Na_2CO_3	5—8

Боратные аккумуляции этого типа являются озерными, либо коллювиальными современными вторичными скоплениями боратов, ранее сконцентрированных в осадочных породах третичного периода (Берг). Таким образом это—типичные солончаки вторичных циклов засоления.

В ряде районов Южной Америки (Аргентина, Боливия, Перу) распространены боратные солончаки первичного цикла. Бораты в этих случаях

являются продуктами современных вулканических выделений и превращений борной кислоты. Особенно значительным районом боратных солончаков в Боливии является высыхающее в течение большей части года соляное озеро Аскотан с горизонтом солей до 15—20 см мощности и с содержанием B_2O_3 28—37%.

МОРСКОЕ ЗАСОЛЕНИЕ

Образование приморских солончаков и солевых скоплений в прибрежно-морских, лагунных и морских отложениях вообще обязано морским растворам и грунтовым водам, питающимся морем.

Если процессы континентального и озерно-коллювиального засоления более или менее изучены, то процессы морского засоления почвоведению почти неизвестны совсем. Между тем разобраться в сущности законов миграции солей вообще невозможно, не выяснив особенностей морского засоления. Если в настоящий момент морским засолением охвачена незначительная береговая полоса, то необходимо иметь в виду довольно широкие колебания этой полосы и передвижение области морского засоления при трансгрессиях и регрессиях. Носителями морской солончаковатости в той или иной мере являются также все осадочные породы морского происхождения; особенно же высокой соленосностью будут отличаться лагунные отложения и отложения южнорусских лиманов — эстуариев. Суммарный запас солей в океане достигает колоссальных размеров. Так, объем солей в океане в 14.5 раза больше объема европейского материка (71).

Соленость различных частей океана и связанных с ним различных морей очень сходна и колеблется в пределах 3.4—3.6% сухого остатка. Естественно, что внутриматериковые моря-озера, а также и более или менее изолированные заливы, лагуны, эстуарии, морские лиманы обладают иной соленостью, часто повышенной, связанной с различным возрастом бассейна условиями притока и испарения его вод (табл. 24).

Таблица 24

Соленость вод различных морей
(в % сухого остатка)

Открытый океан	3.4—3.6
Красное море	4.0
Азовское море	1.7
Черное море	2.3
Каспийское море	1.3
Кара-Богаз-Гол	18.6
Аральское море	1.1
Мертвое море	20.0

Соленость воды в береговых областях очень часто уменьшается речными водами. Количественное различие в солености вод сопровождается и качественными различиями, что разнообразит типы морских аккумуляций солей и приморских солончаков. К сожалению, повторяю, изученность форм морского засоления исключительно мала (табл. 25).

Однако масса морских солей играет гораздо меньшую роль в процессах современной аккумуляции солей по сравнению с континентальным засолением. Причина, повидимому, заключается в том, что из морской воды

нормальной концентрации почти никаких отложений легкорастворимых солей в донные осадки не происходит. Нужно увеличить концентрацию в 2 раза, чтобы начали выпадать из раствора окись железа и

Таблица 25

Количество ионов в водах различных морей (в относительных %)

Ионы	Океан [1]	Черное море [1]	Каспийское море [1]	Аральское море [1]	Речные воды, средний состав минерального остатка
Cl'	55.32	55.06	41.79	36.44	6.75
SO_4''	7.88	7.35	23.78	29 82	11.60
CO_3''	0.12	0.98	0.74	0.55	36.50
Na	30.85	30.78	24.57	22 45	9.50
K'	0.88	1.52	0.63	0 98	4.40
Mg''	3.71	3.69	5.94	5.57	4 90
Ca''	1.24	1.37	2.55	4.19	14 70

карбонат кальция; для выпадения из раствора гипса или хлористого натрия необходимо уже путем испарения увеличить концентрацию в 5—10 раз. Подобные условия могут осуществляться лишь очень редко в случаях изолированных лагун, заливов или лиманов.

Прибрежноморское засоление

Исходя из преобладания хлоридов в морской воде, очевидно, необходимо ожидать, что прибрежноморское засоление, по сравнению с континентальным, будет характеризоваться бо́льшим участием хлоридов Na и K и уменьшением роли их сульфатов. Одновременно участие Ca и Mg, характеризующих континентальные воды и задерживающихся в континентальных отложениях, не могут играть существенной роли в прибрежноморском засолении. Это положение в отношении Cl и SO_4 отмечалось ранее С. И. Тюремновым для Закавказского побережья Каспийского моря (69) и Иозефовичем для Приазовского побережья (72).

Оно находит подтверждение и в том, что внутриматериковые «моря», Каспийское и Аральское, гораздо богаче сульфатами кальция и магния и беднее хлоридами калия и натрия, чем океан, т. е. приближаются в этом отношении к типичным соляным озерам (см. выше).

Приморское засоление берега в чистом виде может осуществиться лишь в случае питания морскими водами грунтовых вод берега и близкого залегания их к испаряющей дневной поверхности. Подобные явления имеют место обычно в случае развитого берегового пляжа, или низкой недренированной морской террасы — «полья», или, наконец, в случаях расположения суши ниже уровня моря — «квельдеры» в Голландии.

Ф. П. Саваренский приводит данные Победоносцева о засолении грунтовых вод и грунтов Сальянской степи водами Каспия (73). Создается

[1] Данные заимствованы из работы Ресселя и Ионга: Жизнь моря (71).

поразительная разница в содержании солей в море и грунтовых водах. Количество солей в грунтовых водах по мере удаления от моря увеличивается. Влияние Каспия по этим данным, если они правильно интерпретированы, сказывается на расстоянии до 5 км (табл. 26).

Таблица 26

Соленость грунтовых вод Прикаспия (в %). Сальянская степь

(Данные Победоносцева)

Пункт	Абс. высота	Абс. уровень грунт. воды	Расстояние в км	Сухой остаток	Cl'	SO_4''	$\frac{Cl}{SO_4}$
Залив Кизил-Агач . .	— 26	— 26	0.0	22.00	8.16	3.17	2.6
Скважина 76	— 24.45	— 26	0.5	48.55	23.61	6.33	3.7
» 75	— 23.88	— 28.83	2.5	70.40	31.96	8.73	3.8
» 71	— 23.62	— 28.78	5.7	83.40	43.57	6.20	7.0

При этом в грунтовых водах не сохраняется соотношение ионов, характерное для вод залива. Соотношение нарушают хлориды, мигрирующие через грунт и накопляющиеся в грунтовых водах в большей степени, чем сульфаты, выпадающие из раствора по мере роста его концентрации. Часть сульфатов, повидимому, связывается в гипсе. Исследования Каспийской комплексной экспедиции Академии Наук 1934 г., по наблюдениям почвоведа М. А. Глазовской, показали наличие сходных условий на северо-восточном берегу Каспия (46).

С данными Саваренского и Победоносцева совпадают данные С. И. Тюремнова о сульфатно-хлоридном характере засоления солончаков на Закавказском побережье Каспия (юго-восточная Ширвань). Солончаки здесь расположены в прибрежных шорах, высохших приморских озерах, на аллювиальных и делювиальных отложениях, выполняющих заливы моря (69). Р. И. Аболин с сотрудниками, а позже С. В. Зонн также с сотрудниками, описывая солончаки Терско-Сулакской низменности (74, 50), указывают на существование полосы шириною до 15—40 км сульфатно-хлоридных солончаков вдоль берега моря. Этой полосе соответствует и сульфатно-хлоридный, иногда даже хлоридный, состав прибрежных грунтовых вод. Для сравнения химизма прибрежноморских солончаков дельты Терека и солончаков западной части Терско-Сулакской низменности в табл. 27 приводятся анализы из работ Р. И. Аболина, С. В. Зонн и их сотрудников.

Таким образом можно утверждать, что для приморских солончаков даже такого моря, как Каспийское, содержащего повышенное, а не океаническое количество сульфатов, характерно накопление хлоридов натрия. Соотношение хлоридов и сульфатов в морской воде Каспия 1.8—2.0 и отношение их в водной вытяжке 5.56—18.88 показывает, что приморское засоление не пассивно отражает преобладание хлоридов в морской воде, а характеризуется повышением отношения хлоридов к сульфатам в соответствии с большей растворимостью их соединений. В отношении катио-

нов по расчетам авторов (Na : Ca+Mg) приморские солончаки отличаются в верхних горизонтах сужением отношения Na к сумме Ca и Mg до 0.7—1.5 по сравнению с морской водой 2.8. Причина, очевидно, заключается в том, что Na уходит в поглощающий комплекс, а вытесняемый при обмене Ca снижает количество NaCl в солях и поднимается в виде $CaCl_2$ к поверхности.

Таблица 27

Анализ водной вытяжки из солончаков Терского Прикаспия (в %)
(Данные Аболина и Зонна)

Пункт и вид почвы	Глубина в см	Сухой остаток	Щелочность	$Ca^{\cdot\cdot}$	$Mg^{\cdot\cdot}$	SO_4''	Cl'	$\frac{Cl}{SO_4}$
№ 218 М Сульфатно-хлоридный приморский солончак из области дельты р. Терека	1—6	3.14	0.02	0.26	0.15	0.34	1.42	5.56
	15—20	1.49	0.03	0.05	—	0.05	0.73	18.88
	40—50	5.24	0.02	0.21	0.08	0.57	0.87	2.09
№ 26. Хлоридно-сульфатный солончак западной части Терско-Сулакской низменности	0—5	5.32	0.02	0.37	0.32	1.40	1.60	1.55
	40—50	3.69	0.02	0.31	0.11	1.31	1.00	1.04
	100—105	4.10	0.01	0.32	0.13	1.47	1.03	1.03

Проведенные почвоведом М. А. Глазовской по нашему заданию исследования прибрежного засоления залива Кайдак (северо-восточная часть Каспийского моря) также показали (46), что, во-первых, грунтовые воды побережья имеют концентрацию солей почти в 2 раза большую, чем воды залива, во-вторых, в составе солей возрастает количество хлоридов и, в-третьих, соответственно и солончак засолен в основном хлористым натром (табл. 28).

Таблица 28

Анализ водной вытяжки из приморского солончака залива Кайдак, 25 м от берега (в %)

Глубина в см	Гигроскопическая вода	Сухой остаток	Общая щелочность в HCO_3	Cl'	SO_4''	$Ca^{\cdot\cdot}$	$Mg^{\cdot\cdot}$
0—3	6.38	3.00	0.023	1.21	0.34	0.20	0.13
3—5	5.59	0.85	0.024	0.26	0.23	0.05	0.03
25—30	7.90	2.26	0.020	0.97	0.99	0.18	0.11
70—75	5.31	2.65	0.020	0.87	0.53	0.12	0.10
115—120	4.41	1.77	0.025	0.65	0.34	0.06	0.06
Грунтов. вода в г/л	—	56.38	1.45	25.78	11.46	2.22	3.37
Вода залива »	—	37.74	0.88	13.59	7.93	0.77	1.43

Очень интересные исследования Приазовских плавней, проведенные Л. И. Иозефовичем и оформленные им в прекрасной работе (72), также

устанавливают, что прибрежное морское засоление в Приазовье характеризуется усилением роли хлоридов по сравнению с сульфатами как в составе грунтовых вод, так и в солях солончаков (табл. 29 и 30).

Таблица 29

Соленосность грунтовых вод Приазовья (в %)

(Данные Л. И. Иозефовича)

Районы	Расстояние от моря в км	Глубина залегания в см	Сухой остаток	Общая щелочность	CaO	SO_3	Cl	Примечание
Приморская лиманная полоса . .	—	50	4.62	0.04	0.22	0.42	2.17	Среднее из 22 образцов
Черноериковский поселок	Ок. 7	121	1.66	0.05	0.17	2.23	0.63	Среднее из 27 образцов
Станица Анастасиевская	» 30	129	0.43	0.04	0.08	0.18	0.01	Среднее из 21 образца
Станица Славянская	» 40	455	0.41	0.04	0.06	0.16	0.003	Среднее из 4 образцов

Таблица 30

Анализ водных вытяжек и углекислоты в солончаках Приазовских плавней Кубани (в %)

(Данные Л. И. Иозефовича)

№ разреза и местоположение	Глубина в см	Гигроскопическая вода	Сухой остаток	Минеральный остаток	Общая щелочность	CaO	MgO	SO_3	Cl	CO_2
№ 7. Черный ерик, солянковая равнина; побережье	0.14	4.44	2.46	2.17	0.06	0.05	0.07	0.10	1.24	3.00
	14—40	3.33	0.52	0.31	0.06	0.01	0.01	0.05	0.26	3.30
	120	3.38	0.57	0.53	0.05	0.01	0.01	0.04	0.26	1.41
№ 414. Солончаковое дно Войскового лимана	0—5	9.45	14.01	11.71	0.03	0.77	0.43	1.66	6.88	2.18
	5—18	9.17	9.62	7.14	0.04	0.32	0.38	0.43	4.30	0.18
	50	7.82	4.23	3.78	0.03	0.11	0.19	0.28	2.37	0.03
№ 439. Солончаковое дно близ хутора Свистельникова	0—1	7.95	8.15	5.86	0.03	0.68	0.26	0.14	1.36	0.56
	1—16	7.65	4.79	4.17	0.03	0.08	0.16	0.26	1.22	0.05
	16—20	5.61	3.26	2.91	0.03	0.05	0.12	0.21	0.84	0.07
	20—45	5.95	2.91	2.64	0.03	0.08	0.11	0.30	0.60	0.16
	45—75	4.47	2.27	2.09	0.04	0.12	0.09	0.37	0.48	0.79
	190	4.29	1.89	1.71	0.03	0.12	0.07	0.37	0.36	0.41

Полоса чисто приморского засоления сказывается, по наблюдениям Иозефовича, еще на расстоянии 15—20 км от берега моря.

Однако сравнение этих данных с приведенными выше показывает, что в отличие от Прикаспия в грунтовых водах Приазовских плавней нигде не наблюдаются столь высокие концентрации солей. Больше того, бросается в глаза обстоятельство, что в то время как в Сальянском Прикаспии

с удалением от берега концентрация солей в грунтовых водах возрастает, в Приазовских плавнях она падает.

Эти обстоятельства, повидимому, связаны с большой сухостью воздуха и высоким испарением грунтовых вод в Прикаспии, способствующими большей концентрации солей по сравнению с Приазовьем. Во-вторых, они обусловлены различным режимом побережий Приазовья и Прикаспия, проявляющимся в том, что Сальянское побережье питается исключительно водами Каспия, а Приазовское— в значительной степени водами р. Кубани.

Некоторый материал по приморскому засолению в более южных широтах имеется в сообщении M. Gračanin о засоленных почвах побережья Адриатического моря в Кроатии (76). К сожалению, автор исключительно отстал от современного учения о засоленных почвах, и это крайне обесценивает его материал. Исходя полностью из теории импульверизации (несомненно, играющей роль в некотором притоке солей на берег), автор совершенно не обращает должного внимания и почти не говорит о составе и глубинах грунтовых вод и их связи с морем и поверхностью грунта.

Описания автора относятся к низким приморским террасам островов Адриатики. Почвообразование идет в климате с 1000 мм атмосферных осадков и 15° средней годовой температуры.

Большие болота острова Pag, развитые на низкой террасе, очевидно, подпираются грунтовыми водами, а последние связаны с морем и получают соли оттуда. Сильные приливы иногда затопляют эти области. Анализ водных вытяжек из поверхностных горизонтов болотных и окружающих болота почв острова показал, что все они сильно засолены, причем в солях преобладают хлориды (табл. 31 и 32).

Таблица 31

Анализ водной вытяжки из засоленных болотных почв острова Pag Адриатики (в %)

Название пункта и глубина образцов в см	Сухой остаток	Na_2O	K_2O	CaO	Cl	SO_3	Гумус	Общая щелочность	pH	
									в H_2O	в KCl
Великое болото										
5—25	1.04	0.36	0.01	0 01	0.13	0 03	0.14	0.22	7.40	7.15
35—55	0.48	0.19	Следы	0.05	0.03	0.05	0.07	0.14	—	—
Малое болото										
5—30	0.95	0.24	0.02	0.05	0.17	0.07	0.30	0.13	7.10	—
Коланское болото										
5—20	2.21	1.87	0 03	0.05	1.04	0.09	0.13	0.14	7.80	7.40

Почвы низкой террасы — Polje, не имеющей болотных пространств, также сильно солончаковаты, в особенности за счет хлоридов, и сильно обогащены карбонатами кальция.

Полья имеют уже на глубине 100—140 см горизонт грунтовых вод и покрыты с поверхности ассоциациями *Salicornietum herbaceum*, *Salicornietum fruticosum*. Почвы сухих польев более высокой и дренированной террасы уже менее солончаковаты и развиваются по солонцовому типу.

Аналогом кроатских польев на севере Голландии является заболоченная, часто затопляемая приливами внешняя зона заросшего растительностью берега моря — квельдеры (Kwelder), изученные Van Bemelen и Hissink (77, 78). Почвы квельдеров довольно сильно солончаковаты и содержат в верхнем горизонте до 1.0—2.2% NaCl; с поверхности они покрыты зарослями *Salicornia herbacea*, *Glyceria maritima*, *Suaeda maritima*.

Таблица 32

Анализ водной вытяжки из солончаков влажных польев острова Pag Адриатики (в %)

Горизонт в см	Сухой остаток	Na_2O	K_2O	CaO	Cl	SO_3	Гумус	Общая щелочность	pH в H_2O
5—20	1.60	0.48	0.02	0.04	0.46	0.10	0.04	0.08	7.25
45—55	2.33	0.97	0.04	0.09	1.16	0.21	0.09	0.05	7.30
100—120	2.39	1.00	0.02	0.07	1.12	0.21	0.14	0.06	7.20

Грунтовые воды квельдеров залегают часто на глубине 50—60 см и засолены иногда до содержания солей 7—8 г/л (Dollartgebiet). Почвы квельдеров очень богаты карбонатами (до 10%). Это обстоятельство играет существенную роль в освоении как квельдеров, так и осушаемых участков моря Зюдерзее. При осушении квельдера и промывании его атмосферными осадками поглощенный натрий приморского солончака вытесняется кальцием карбонатов, и солончак превращается в нормальную, насыщенную кальцием почву. Солончаковатые почвы квельдера Kwelderböden превращаются в окультуренные осушенные и опресненные почвы польдера (Polderböden).

Процесс самомелиорации солончака при осушении протекает в течение 2—3—4 лет и сопровождается потерей почвой квельдера гумуса и карбоната кальция. Последний вымывается из профиля уже в течение 200 лет (79).

Таблица 33

Изменение в содержании NaCl в почвах квельдера после их осушения (в %)

Глубина в см	1930	1932	Глубина в см	1927	1931
0—5	0.34	0.08	0—25	0.04	0.03
5—20	1.18	0.17	25—50	0.11	0.00
20—50	1.96	0.78	50—75	0.37	0.07
50—90	1.82	1.12	75—100	1.11	0.28
			100—150	—	0.58

Иногда рассоление сопровождается и развитием солонцеватости, особенно, как указывает Hissink, в случаях затопления морем на некоторое

время старых польдеров. Повидимому, почвы старых польдеров, потерявшие весь углекислый Ca на преодоление солончаковатости почв квельдера, не в состоянии уже заменить новые порции Na, принесенного морской водой при повторных затоплениях.

В докладе на III Международном конгрессе почвоведов в Англии Hissink привел интересные данные об изменении состава поглощенных катионов почв квельдера при переходе его после осушения и окультуривания в польдер (79).

Таблица 34

Соотношение обменных катионов в прибрежноморских почвах Голландии

(По Hissink)

Возраст квельдера	Ca	Mg	K	Na
Квельдер до окультуривания	24	48	9	19
Через 6 лет после освоения	59	28	6	7
» 70 » культуры	86	9	3	2

Очевидно, близкими к этому типу будут и приморские солончаки в Финляндии, описанные Aarnio (87). Солончаки развиты особенно на побережье Ботнического залива. В солях, поднимающихся с капиллярными растворами к поверхности почвы, преобладают сульфаты, однако присутствуют и хлориды.

Из растительности может развиваться лишь *Spergularia salina.*

Наблюдения Aarnio показывают, что эти почвы имеют также сильно кислую реакцию за счет образования серной кислоты и присутствия квасцов (в результате окисления пиритов). Сумма солей в выцветах достигает 2.45%.

Засоление лагунных отложений

Образование солончаковых отложений и чистых солевых аккумуляций в зоне лагун и лиманов представляет очень распространенное явление.

И в современную геологическую эпоху и в прошлом лагуны занимали большую площадь, часто, на отдельных участках, измеряемую сотнями квадратных километров (29, 60).

Обособленность, изолированность лагун и их мелководность в условиях сильного испарения и медленного притока морских вод из основного морского бассейна создают повышенную концентрацию солей и влекут выпадение их из растворов. Таковы мирабиллитовые аккумуляции Кара-Богаз-Гол, достигающие максимального развития зимой, самосадочные скопления хлористого натра в крымских и украинских лиманах, на Сиваше, гипсовые накопления на Култуке.

J. Walther приводит ряд очень интересных примеров лагунных и окололагунных солевых аккумуляций: на берегах Северной Индии (Run der Kutsch) площадью до 30 тыс. км², на берегах Чили южнее Coquimbo — площадью в несколько сот кв. километров и толщиной в 30—60 см, а также

в Sues и Ranai, где отливы обнажают снежно-кристаллическую поверхность дна лагуны. Раствор лагунных вод настолько концентрирован испарением, что он совершенно не в состоянии растворять донные осадки солей (80).

K. Andreè, по новейшим данным (E. Wittich), описывает большие солевые скопления на западных берегах Нижней Калифорнии в лагунах бухты Sebastiano Vizcaino. Толстая снежно-белая солевая корка покрывает днища почти обособленных от океана высохших лагун на площади до 16—30 км² (81).

Лагунного же происхождения и исключительные по размерам и разнообразию месторождения солей пермского времени в Соликамске, Илецке, Стассфурте, Индерских горах и т. д. Как следует из сказанного, химизм лагунных солевых аккумуляций самый различный. Лагунные солевые аккумуляции, занимая большие пространства, в последующих геологических циклах могут явиться и часто являются на больших территориях материнскими породами для почв, передавая им сильнейшие формы засоленности. Подвергаясь перекрытию, лагунные отложения могут выключаться из процессов миграции солей; однако последующие дислокации и смыв выводят солевые массы или засоленные осадки лагун на дневную поверхность. Концентрированные ранее соли в этом случае сообщают солончаковатость почвам, как это наблюдается на вершине горы Богдо в Каспийской равнине, где засоленные пермские глины обусловливают развитие солончаковых почв и солончаковой растительности.

При этом концентрированные соли вместе с размывающими осадочную толщу водами вступают в новый цикл континентальной миграции и засоляют делювиальные шлейфы, конусы выносов, аллювиальные террасы и пр.

Довольно большой географический описательный материал в литературе о лагунном соленакоплении, к сожалению, совершенно не сопровождается какими-либо анализами. Геологи и географы удовлетворялись лишь внешним суждением о химизме отложений.

Засоление донных морских отложений

Цифровых материалов о количестве и составе солей в донных отложениях морей также совершенно недостаточно.

Казалось бы, количество солей в донных отложениях будет определяться количеством морской воды, пропитывающей седимент, а соотношение солей останется тем же, что и в воде моря. Однако изучение химизма воднорастворимых примесей в древних и современных морских отложениях, проведенное K. Andreè, А. А. Архангельским (82), K. C. Berz (83) и др., и сопоставление немногочисленного отрывочного цифрового материала показывают, что количество солей и их соотношение — результат очень сложных реакций и изменений, приводящих к большим количественным и качественным отличиям соленосности седимента от морской воды. Количество поглощенных осадком солей, по мнению Andree, прежде всего зависит от дисперсности седимента: оно тем больше, чем выше дисперсность, и иногда достигает величины 8.0%.

Другими факторами, меняющими количество и соотношение солей в седименте, по сравнению с морской водой, является процесс разложения

Содержание NaCl в морских отложениях различной дисперсности (в %)

Красная глина	6.8—8.0
Диатомовый ил	5.4
Антарктическая ледниковая глина	1.9—3.7
Глобигериновый ил	1.0—3.4

органического вещества и образования CO_2 и NH_3 и их реакции с осадками $CaCO_3$. Этот процесс ведет, с одной стороны, к переходу обычных в морском осадке карбонатов кальция и магния в растворимые бикарбонаты и к увеличению этим щелочности седимента, появлению ионов HCO'_3, а, с другой, — к образованию углекислого аммония, взаимодействующего с сульфатами кальция и образующего карбонат кальция и сульфат аммония. Это явление заметно обнаруживается в анализах Murray Irvine, приводимых K. C. Berz (83).

Таблица 35

Состав солей в морской воде и воде голубого ила (в % от суммы)

Соли	Морская вода	Ил голубой глубоководный
$NaCl$	77.76	79.02
$MgCl_2$	10.88	11.22
$MgBr_2$	0.22	0.22
$MgSO_4$	4.74	3.23
K_2SO_4	2.47	2.51
$(NH_4)_2SO_4$	—	0.21
$MgCO_3$	—	0.91
$CaCO_3$	0.35	2.69
$CaSO_4$	3.60	—

Вода, отжатая из голубого ила, содержит вновь возникшие продукты $(NH_4)_2SO_4$ и во много раз увеличенное количество вновь растворенного $CaCO_3$. Кроме этого, в солях ила исчез растворенный гипс и возросло общее количество хлоридов.

Названные изменения в солях обязаны процессам десульфуризации, интенсивно протекающим в морских седиментах.

Эти процессы, ведущие к исчезновению гипса и образованию сероводорода, частью уходящего в воздух и частью переходящего в серную кислоту, растворяют и разлагают углекислый кальций. Одновременно образуется сернистая закись железа, которая выпадает из раствора, превращается в пирит, что также выводит из раствора ионы SO''_4. Это и ведет к относительному накоплению хлоридов в воде илов. Предполагают, что свободные ионы SO''_4 могут также связать и магний с образованием его сульфатов.

K. Andreè считает возможным процесс десульфуризации и последующие реакции изобразить по следующей схеме:

$$CaSO_4 + 2C = 2CO_2 + CaS$$
$$CO_2 + CaS + H_2O = H_2S + CaCO_3$$
$$H_2S + CaCO_3 + 2O_2 = H_2SO_4 + CaCO_3 = CaSO_4 + CO_2 + H_2O.$$

Естественно, что чем древнее седимент и чем он глубже погребен, тем дальше пойдут названные процессы и тем большие вызовут изменения.

Исследования А. Д. Архангельского и Э. С. Залманзон современных отложений Черного моря доказали это вполне убедительно (84).

Таблица 36

Анализ водных вытяжек из илов Черного моря (в % м.-экв.)

Пункт и глубина взятия образца	SO''_4	Cl'	CO''_3	$Na^{\cdot}$	$K^{\cdot}$	$Ca^{\cdot\cdot}$	$Mg^{\cdot\cdot}$
Станция № 61; верх	5.96	42.89	1.20	38.88	1.75	3.31	6.06
» » 61 1.5 м	6.48	42.53	0.99	39.99	1.87	2.75	5.39
	4.89	44.16	0.95	41.24	1.59	2.47	4.70
» » 61 3.0 »	5.41	43.48	1.11	41.51	1.75	9.70	5.04
Станция № 107; верх	4.94	42.84	2.22	40.87	1.37	1.19	6.27
» » 107 1.5 м	3.62	44.37	2.01	40.54	1.68	1.84	5.82
» » 61 3.0 »	2.75	44.89	2.36	40.48	1.54	1.64	6.34
Станция № 25; верх	8.38	40.63	0.99	39.58	1.74	1.55	7.13
» » 25 1.5 м	6.76	42.11	1.13	40.56	1.63	1.59	6.22
» » 25 3.0 »	5.51	43.18	1.31	40.89	1.51	1.31	6.29
Морская вода[1] 0 м	4.43	45.05	0.52	38.81		2.02	9.17
500 »	4.43	45.08	0.49	38.89		1.94	9.18
2000 »	4.32	45.12	0.56	28.83		1.93	9.18

Диагенез современных осадков Черного моря, по приведенным данным, ведет к уменьшению количества иона SO''_4 с глубиной, к накоплению иона CO''_3, к уменьшению иона $Mg^{\cdot\cdot}$, повидимому, прочно поглощаемого коллоидными силикатами и алюмосиликатами, к неясным признакам уменьшения количества иона $Ca^{\cdot\cdot}$ за счет доломитизации и к интенсивному возрастанию хлоридов натрия и в некоторых случаях калия.

О величине абсолютного количества солей, поглощаемых морскими осадками, можно судить на основании количеств, извлекаемых водными вытяжками из древних морских отложений.

Количество солей в %, извлекаемых водной вытяжкой из древних морских отложений

Грозненский район.	Мэотис	1.12
»	Грозненские соли	1.53
»	Караганские »	0.38—0.50
»	Чокракские »	0.25—0.53

Судя по анализам Сахнова, Лучинского, Малярова, приводимым А. Д. Архангельским и Э. С. Залманзон, в составе грунтовых вод, циркулирующих в этих слоях, преобладают соли Na.

[1] Данные Данильченко и Чигарина.

Увеличение содержания Na в свободных солях осадков, по мнению и некоторым экспериментам Архангельского и Залманзон, может быть частью обусловлено и обменными реакциями между Ca бикарбонатов и поглощенным Na первичного седимента.

Существенную роль в составе морских осадков играют карбонаты кальция. Если сопоставить состав солей морской и речной воды, то можно видеть, что большинство приходящих в море карбонатов кальция исчезает из раствора, выпадая на дно в виде биологических и химических (реже) осадков.

Состав солей в сухом остатке в %

	Морская вода	Речная вода
Соли хлористые	88.7	5.2
» сернокислые	10.8	9.9
» углекислые	0.3	60.1
» прочие	0.2	24.8

Поэтому количество $CaCO_3$ в морских осадках обычно достаточно велико — 10, 20, 50%. Правда, очень глубоководные отложения и отложения северных бассейнов часто бедны карбонатом кальция. Движениями земной коры и денудацией солончаковатые донные морские отложения могут быть превращены в арену почвообразовательных процессов. Очевидно, первый период наземного существования этих отложений дает почвы сравнительно незначительной солончаковатости, редко достигающей 8% сухого остатка суммы солей от веса почвы (см. выше).

Далее, эта солончаковатость должна быстро исчезнуть, повидимому, как правило, не давая солонцов и сильно солонцеватых форм почв. Причина этого столь существенного обстоятельства заключается в том, что морской седимент обычно обогащен карбонатами кальция, которые, отдавая Ca в обмен на поглощенный Na, обеспечивают «естественную мелиорацию» почвы.

Именно этим объясняется быстрая (3—4 года) «самомелиорация» почв для залива Зюдерзее, осушаемого в Голландии (Hissink, 78, 79).

Однако, повидимому, не исключены случаи рассоления глубоководных высокодисперсных сильносоленосных илов с развитием солонцеватости вследствие малой их карбонатности.

КЛАССИФИКАЦИЯ СОЛОНЧАКОВ

Рассмотрев главнейшие типы солончаков, условия их образования и эволюции, мы можем констатировать, что солончаки и солончаковатость почв в целом является лишь частным моментом непрерывно текущего геохимического процесса миграции солей и их накопления в осадочных толщах различного генезиса.

Этот частный момент характеризуется накоплением солей, либо их появлением путем денудации покровов на поверхности рыхлых толщ коры выветривания и почв. Он характеризуется также известной дифференциацией солей в пространстве.

Описанные типы солончаков являются отдельными подчиненными стадиями превращений и движений поверхностных форм аккумуляции

солей. Автор имел возможность ранее (85) высказать свою точку зрения на принципы классификации почв.

Эти принципы не были открыты автором. Они высказаны Энгельсом в его словах о принципах классификации наук в соответствии со стадиями и формами движения материи, вытекающими одна из другой и одна после другой (86).

Эти принципы лежат в основе классификации организмов — их родословной схемы, заложенной Дарвином. Они же ложатся сейчас в основу исторической геологии, они использованы генетической минералогией в учении о происхождении и истории минералов, о классификации рудных месторождений, систематике типов соляных водоемов (Курнаков) и т. д.

Короче говоря, эти принципы являются общими во всех науках и их сущность в том, чтобы концентрированно показать в классификации историческую связь всех форм данного явления как стадий общего и бесконечного процесса его развития, последовательность и преемственность возникновения этих форм и их смены.

Автор отчетливо сознает сложность осуществления этих принципов в классификации почв. Многое не изучено, неизвестно, либо кажется уже устаревшим и сомнительным. Однако подлинное познание начинается все же там, где установлены не только факт существования и морфология данного явления, но и его происхождение, направление развития и связь с другими видами данного явления.

Отсюда почвоведение неизбежно должно пойти и уже начинает итти по пути других наук, а именно: по пути внедрения исторического метода в своих исследованиях и исторического принципа в своих классификациях. Это ясное положение до сих пор еще не понято некоторыми, весьма уважаемыми почвоведами (часто различного направления, но близких методологических воззрений), считающими, что географическое описание и в лучшем случае зональное размещение почвенных видов и является подлинной классификацией почв.

Предложенная ранее классификационная схема процессов засоления почв в Заволжье (70) ныне автором переработана и использована для классификации солевых аккумуляций в осадочных породах и солончаках как поверхностной форме этих аккумуляций вообще.

На основе добытых исторической геологией и такими ее ветвями, как учение о фациях и генезисе осадочных пород (литогенезис), уже упомянутых выше фактов — необходимо прежде всего различать солевые аккумуляции первичных циклов (соли как продукты ювенильных газовыделений или как продукты выветривания массивных пород) и аккумуляции вторичных циклов, в которых перемещаются солевые массы, отложенные ранее в осадочных породах прежних геологических эпох. Мы уже упоминали, что циклы аккумуляции солей отмечаются уже в силуре, они повторились с силой в перми, юре, третичном времени и в некоторых фациях четвертичного.

Для некоторых районов Союза убедительно доказывается положение о вторичном перемещении и аккумуляции солей из осадочных толщ предшествующих эпох в последующие.

Так, для Заволжья, очевидно, перемещение пермских солей в отложения третичные (акчагыл) и затем из третичных и пермских толщ в сыртовые глины и каспийские осадки четвертичного периода и, наконец, в современные делювиальные, аллювиальные и в особенности донные озерные и лагунные каспийские отложения. Сходную картину мы имеем и в Средней Азии.

В первичных и вторичных циклах, как показано выше, различаются формы континентального и морского соленакопления. При этом в аспекте времени все формы морского засоления вытекают из континентального, ибо развитие солености океанического бассейна есть уже в известной степени результат смены засоления на континенте рассолением и уходом солевых масс в океан.

Континентальное засоление в первичных и вторичных циклах не тождественно. Ряд форм (содовые) может возникнуть преимущественно во вторичных циклах, как показано в описании типов солончаков.

Поэтому в исходной схеме автор считал необходимым различать континентальное засоление а) первичных циклов и б) вторичных. В настоящий период мы не можем разделить типы морских солевых аккумуляций первичного и вторичного циклов.Однако, несомненно, это отличие имеется, ибо имеются изменения в солености океана (увеличение хлоридности, Берг) и, тем более, в солености внутренних морей.

Далее, по условиям образования седиментов устанавливается накопление солей в делювии и пролювии, аллювии речном, озерно-соровом аллювии и коллювии, приморских донных и лагунных отложениях, которым, рассматривая вопрос в абстрактной постановке, соответствуют последовательные стадии перемещения и накопления солей в осадочных породах. Несмотря на то,что природный режим солончаков и их эволюция изучены крайне недостаточно, можно рисовать картину эволюции их по химизму.

Эта эволюция определяется длительностью и интенсивностью двух основных факторов: притоком солей на засоляющуюся поверхность и их оттоком. Сочетание этих условий во времени вызывает известную дифференциацию мигрирующих солей в пространстве.

Эта дифференциация и ее смены вытекают из свойств солей, времени их образования (нитраты, сода), быстроты движения в грунтах (нитраты, хлориды, сульфаты), растворимости вообще и в условиях различных температур (хлориды, карбонаты), взаимных реакций и т. д.

Отправляясь от известных, предложенных Н. С. Курнаковым схем эволюции химического состава природных соляных растворов, схем дифференциации соляных озер, развиваемых Е. Н. Ивановой и Герасимовым, исходя из растворимости и геохимической подвижности различных солей и опираясь на разобранный выше материал, можно представить следующую схему эволюции солончаков по их химизму.

Наиболее ранней стадией их развития являются хлоридно-нитратные солончаки, типичные для крайних пустынь. Хлоридно-нитратные растворы грунтовых вод ранее сульфатов и карбонатов достигают областей аккумуляции, образуя поверхностные солончаки, в которых нисходящие токи выщелачивания не играют сколько-нибудь значительной роли.

В случаях влияния современных или древних вулканических явлений в этой хлоридно-нитратной стадии солончаков обособляется группа с участием боратов — боратно-хлоридных или боратно-хлоридно-нитратных солончаков.

Дальнейший приток солевых растворов будет приносить все большие массы сульфатов и карбонатов и при наличии хотя бы сезонного переувлажнения поверхности хлоридно-нитратных солончаков обусловит потерю нитратов на денитрификацию. При этом разовьется группа континентальных сульфатно-хлоридных солончаков. Стадия сульфатно-хлоридных (без нитратов) солончаков вообще характерна для более увлажняемых областей, где нитраты расходуются и на денитрификацию, и на выщелачивание, и на питание растений.

Дальнейшее поступательное засоление, очевидно, приведет к накоплению и сульфатов, и карбонатов щелочей, и образованию смешанных солончаков. Эта стадия смешанных хлоридно-сульфатно-карбонатных солончаков является одной из поздних стадий непрерывного соленакопления.

В случаях параллельного оттока солей из аккумулятивной области ранее других исчезнут нитраты, а затем хлориды. И если соленакопление до этого не достигло значительного обогащения карбонатами, то обособится следующая стадия солончаков, в которых господствуют сульфаты, солончаки хлоридно-сульфатные. Эти солончаки, например, широко распространены в случаях периодической смены засоления и рассоления, постоянно увеличивающей отношение между анионами в пользу сульфатов.

Длительное развитие этих периодических процессов на известковом грунте приводит даже к развитию гипсовых солончаков.

Прогрессивное расчленение солончаковой области и более или менее полный вынос в связи с этим хлоридов и сульфатов из почвы, как известно, ведут к интенсивному содообразованию (осолонцевание). Миграция новообразующейся соды в областях длительного и интенсивного рассоления, в случаях развития вторичной бессточности на путях движения соды, приводит к наиболее поздней стадии солончакового процесса — стадии содовых солончаков, тесно связанных (и пространственно, и генетически) в этих условиях с солонцами.

Именно подчиненная роль остальных электролитов и особенно хлоридов в этих случаях указывает на заключительную стадию содовых солончаков этого типа. В начальные моменты при этом, кроме соды, будут присутствовать и сульфаты натрия. Затем исчезнут и они.

Таким образом, различая три основных формы миграции солей, связанных с фазами образования и расчленения аккумулятивных стран, а именно — прогрессивное засоление, периодическую смену засоления и рассоления, прогрессивное рассоление, все многообразие континентальных солончаков можно объединить в известную классификационную схему (табл. 37).

Совершенно необходимо здесь же отметить, что в природе эти стадии чрезвычайно тесно переплетены одна с другой, искажены процессами поступления в солончаки различных солей, аккумулированных в осадочных толщах предшествовавшего геологического развития, усложнены перерыв-

вами в направлении ведущего процесса (засоления или рассоления) и участием морского засоления в настоящем или прошлом.

Однако общие тенденции образования и развития континентальных солончаков, повидимому, укладываются в рамки развитой здесь абстрактной схемы.

Мы не имеем возможности в настоящее время дать количественные индексы соотношения солей в солончаках различных стадий, как это уста-

Таблица 37

Классификация континентальных солончаков

Прогрессивное засоление	Хлоридно-нитратные солончаки (иногда с боратами) Сульфатно-хлоридные солончаки Смешанные солончаки
Перемежаемость засоления и рассоления	Хлоридно-сульфатные солончаки Хлоридно-сульфатные гипсовые солончаки
Прогрессивное рассоление и вторичная бессточность	Сульфатно-содовые солончаки Содовые солончаки

новлено Н. С. Курнаковым для естественных соляных водоемов. Мы не можем также из характеризующих солончаки аналитических данных рисовать последовательно себе их историю.

Однако, учитывая особенности развития поверхности, охваченной солончаковым процессом, и сопрягая их с данными профильного анализа солей солончаков, мы можем уже говорить как об общих направлениях развития этих солончаков, так и об их соотношении друг с другом и некоторых чертах их прошлого.

В морской аккумуляции нами различаются береговые приморские солончаки и накопление солей в донных и лагунных отложениях. Им соответствуют по химизму солончаки сульфатно-хлоридные со значительным участием натрия и подчиненным участием карбонатов и сульфатов кальция.

Донным морским отложениям соответствует засоление сульфатно-хлоридно-карбонатно-кальциевое (во всяком случае, для литоральных и батиальных условий).

Донным лагунным отложениям, очевидно, будет соответствовать еще и накопление гипса. Таким образом, морское засоление можно исчерпать следующими тремя типами: береговые сульфатно-хлоридные солончаки, донное лагунно-лиманное хлоридно-сульфатно-гипсовое засоление и донное сульфатно-хлоридно-карбонатно-кальциевое засоление.

В приведенном анализе форм солончаков отсутствуют учет изменений в катионном составе солей и эволюция этих изменений в связи с эволюцией солончаков. Но для обобщений в этом вопросе мы имеем еще меньше данных.

Схематическая классификация солончаков дана в табл. 38, стр. 76—77.

Схематическая класси

Солена-копле-ние	Период миграции	Тип солончаков	Геоморфология условий развития
Континентальное	Прогрессивное засоление (базис эрозии неподвижен или поднимается)	Хлоридно-нитратные солончаки, иногда боратные	Низовья рек и области планации «слепых» рек, молодых бессточных внутриматериковых аккумулятивных областей
		Сульфатно-хлоридные солончаки	Первые террасы рек и озер; области планации «слепых» рек, днища «соров», «шоров», «хак» внутриматериковых аккумулятивных областей
		Смешанные хлоридно-сульфатно-содовые солончаки и отложения	Внутриматериковые, континентальные бессточные ванны длительного накопления механических осадков и солей
	Перемежаемость засоления и рассоления (базис эрозии относительно начал опускаться, но периодически колеблется)	Хлоридно-сульфатные солончаки	Внутриматериковые, частично сточные ванны накопления (днища и террасы озер и шоров), слабо дренированные первые террасы более высокого уровня
		Сульфатно-гипсовые солончаки	Относительно более дренированные аккумулятивные I и II террасы проточных озер и рек областей длительного притока и оттока солей и колебаний базиса эрозии
	Прогрессивное рассоление (базис эрозии опускается)	Сульфатно-содовые солончаки	Вторично замкнутые депрессии на хорошо дренированных древних и III террасах рек и древних междуречий; берега периодически проточных озер этих же дренированных древних аккумулятивных областей
		Содовые солончаки	То же, но в областях более длительного или более интенсивного эрозионного расчленения и дренирования в депрессиях, характеризующихся вторичной бессточностью
Морское	Прогрессивное засоление	Береговые сульфатно-хлоридные солончаки	Приморские и дельтово-приморские террасы
		Донно-лагунное хлоридно-сульфатное гипсовое засоление	Дно лагун (заливы, более или менее изолированные от питающего моря)
		Донное сульфатно-хлоридно-карбонатно-кальциевое засоление	Дно литоральных и батиальных областей моря

Таблица 38

фикация солончаков

Способ аккумуляции солей	Примеры
Испарение капиллярных растворов грунтовых вод на поверхности наносов	Дельты области планации и низовья рр. Киангсу в Китае, Ута в Калифорнии, Колорадо и Сыр-дарьи, Кашка-дарьи, Мургаб в Советской Средней Азии
Испарание капиллярных растворов грунтовых вод на поверхности террас. Приток солей в озера и шоры с поверхностными и грунтовыми водами	Советская Средняя Азия, Прикаспийская низменность, Якутия
То же	Монголия, Чили, Египет, Советская Средняя Азия, Закавказье
Капиллярно-грунтовое питание поверхности отложений, приводящее при перемежаемости с дренированием и опреснением к обогащению сульфатами. При нисходящих опреляющих токах вовообразование гипса и его относительное накопление на ряду с выносом легкорастворимых солей	Прикаспийская низменность, Средняя Азия, Сибирь, древние террасы рр. Дона и Маныча
То же	То же
Питание замкнутых депрессий и озер поверхностными водами, омывающими солонцы и выносящими из них остатки сульфатов и соду. Последующее выцветание их из капиллярных растворов на поверхности	Кулундинская степь, Венгерская низменность, Куйбышевское Заволжье (б. Самарское), древние террасы р. Днепра в среднем течении на Украине
То же, но сульфаты уже отсутствуют	То же
Питание морскими водами грунтовых вод берега и капиллярное засоление поверхности при их испарении	Береговые солончаки Каспийского, Азовского, Адриатического, Балтийского (Финляндия), Северного (Голландия) морей
Выпадение солей на дне лагун в смеси с механическими отложениями, Приток солей в лагуны с моря и континента	Заливы Кара-Богаз-Гол и Кайдак Каспийского моря. Лиманы Азовского и Черного морей
Поглощение легкорастворимых солей донными отложениями Выпадение $CaCO_3$ из раствора	Дно открытых морей и океанов

ГЛАВА IV

СОЛОНЦЫ[1]

ФАКТОРЫ ОБРАЗОВАНИЯ И ЭВОЛЮЦИИ СОЛОНЦОВ

Рассоление и развитие рельефа страны

Эволюция засоленных почв теснейшим образом связана с циклами развития рельефа страны (Неуструев, 88; Виленский). Если солончаки являются почвами областей аккумуляции, то солонцы принадлежат к почвам тех аккумулятивных ранее областей, которые вступили уже в эрозионное расчленение. В этом смысле наиболее убедительным примером является давно подмеченная многими почвоведами приуроченность солонцеватых почв и солонцов к более зрелым формам рельефа по сравнению с солончаками (Виленский, Неуструев, Горшенин, Красюк). Будут ли это древние террасы Волги, Днепра, Иртыша, Лены или их древние дельты, будут ли это древние приморские террасы Палеокаспия, Северного или Черного морей, или водораздельные пространства Воронежской, Саратовской степи или Венгерской низменности, — они всегда характеризуются ясно выраженными чертами эрозионной деструкции былого рельефа аккумулятивной области.

Таким образом, основным физико-географическим явлением, обусловливающим превращение засолявшейся аккумулятивной страны в страну рассоляющуюся, характеризующуюся солонцовым почвенным покровом, является вступление ее в фазу развития эрозионных форм рельефа или иначе — в фазу нового цикла эрозионного расчленения.

Возникая с началом эрозионного расчленения области засоления, рассоление солончаковых почв может протекать в двух резко различающихся направлениях:

1) рассоление грунтов и почв с отрывом от грунтовых вод вследствие интенсивного и быстрого углубления гидрографической сети и опускания грунтовых вод;

2) рассоление грунтов и почв без отрыва от грунтовых вод при замедленном или однократно опустившемся базисе эрозии.

Рассмотрим первый случай.

Развитие эрозионного цикла обусловливается, как известно, поднятием земной коры над уровнем моря или вообще опусканием общего или

---

[1] Некоторые части настоящей главы в форме специально приспособленной к характеристике солонцов Заволжья были доложены автором на Майской сессии Академии Наук СССР и опубликованы в ее Трудах (89).

местного базиса эрозии. При этом начинает углубляться имеющаяся гидрографическая сеть, увеличивается ее суммарная площадь за счет усиления местной овражной и речной сети.

Параллельно с развитием гидрографической и овражной сети усиливается естественная дренированность страны. Грунтовые воды опускаются на большую глубину, а верхние горизонты их, утратив источники своего питания, начинают иссякать. Капиллярные растворы, достигавшие в солончаковый период дневной поверхности, могут влиять лишь на глубинные горизонты грунтов. Таким образом, засоляющая деятельность капиллярных растворов прекращается. Наоборот, под влиянием роста дренированности развивается процесс выщелачивания грунтов.

Длительное господство всех названных условий приводит, в конечном счете, к режиму преобладания нисходящих токов растворов, опресняющих грунт и почву. Появление растительности в данных условиях, естественно, способствует усилению процессов промывания солей, поскольку, задерживая снежный покров от сноса, она увеличивает количество нисходящих вод. Однако полнее роль растительности в процессах рассоления почв не изучена; в особенности мало известна ее роль в изменении состава электролитов почвенного раствора. На основании изучения зольного состава растений рассоляющихся почв (см. выше) можно полагать, что на фоне рассоления смена растительности от солянок к злакам влечет к обогащению поверхности почвы кальцием и магнием и замещению натрия. Темпы рассоления страны будут, естественно, нарастать в условиях прогрессивного опускания базиса эрозии и уровня грунтовой воды.

Однако, как это характерно для большинства случаев, падение базиса эрозии перемежается с его поднятием. В этих случаях процесс рассоления страны замедлится или пойдет вспять. Типичную картину подобной смены рассоления и засоления представляют засоленные почвы Каспийской равнины (Ковда и Лебедев, 56), отдельные территории которой находятся в состоянии интенсивного засоления. Изменение климата в сторону большей влажности, как следует из предшествующего, не является обязательным условием рассоления (Тюремнов, 14), ибо в случаях опускания базиса эрозии даже ничтожное увлажнение будет вызывать переход солончаков в солонцы. Однако, несомненно, увеличение влажности в данных условиях усилит процесс выщелачивания и рассоления еще в большей степени. При этом нет никакой необходимости в зонально-климатических изменениях климата. Поднятие страны над уровнем моря как один из случаев опускания базиса эрозии является в то же время и причиной увеличения количества выпадающих атмосферных осадков на приподнятую страну.

Условия различной местной дренированности разнообразят также и местные стадии рассоления и солонцеобразования. Большая рассеченность террасы или водораздела оврагами или большая глубина овражной сети, большая быстрота течения дренирующей реки, вызывая большую скорость рассоления, обусловливает развитие более зрелых форм солонцов по сравнению с территориями, где эти явления ослаблены или не представлены. В частности, нами установлено, что на древних террасах степных рек ближе к руслам или каньонам развиваются солонцы более опрес-

ненные, нежели на участках террасы, удаленных от русла, несмотря на одновозрастность террасы. Это связано с резкой кривой депрессии грунтовых вод близ русел рек и более сильным дренированием прилегающих к ним частей террас. Отсюда следует, что частные стадии солонцового процесса могут и не соответствовать последовательности образования геоморфологических районов, отвечая влиянию местных условий естественного дренажа.

Однако можно утверждать, что возникновение и эволюция солонцов в общих чертах протекают параллельно развитию цикла расчленения древних аккумулятивных областей и обособлению геоморфологических элементов.

При этом элементы поверхности более древние, ранее вступившие в эрозионное расчленение, дольше и сильнее дренированные, естественно, имеют солонцы более зрелых стадий. Поверхности же более молодые, менее дренированные, включившиеся в эрозионное расчленение позже, опреснены меньше и имеют солонцы «юных» форм.

Древнедельтовые области и системы последовательных террас Волги, Иргиза и Еруслана, древние террасы Дона, Маныча и Сала дают закономерную картину приуроченности различных форм солонцов к определенным, характерным для них геоморфологическим районам, различающимся общим возрастом, зрелостью расчленения и дренированности.

Рассоление грунтов и почв по второму типу, при сохранении связи с грунтовыми водами, судя по тем наблюдениям, которые собраны нами в Заволжье, связано с промывающим действием значительных масс атмосферных осадков и свободным оттоком грунтовых вод.

В условиях относительной дренированности и свободного оттока грунтовых вод повышенные количества выпадающих атмосферных осадков в пределах геоморфологической области одного или близкого возраста и генезиса обусловят более быстрое опреснение грунтов и почв. При этом связь с грунтовыми водами не прекращается,и просыхание грунта в периоды сухости будет вести к сезонному накоплению в профиле тех солей, которые сохранились в грунтовой воде и грунте. Таким образом, этот тип рассоления будет характеризоваться при господстве промывания периодической сменой восходящих — сезонно засоляющих и нисходящих токов. В этом существенное отличие второго типа рассоления от первого, где с момента отрыва от грунтовых вод сезонное засоление отсутствует и где господствуют лишь токи нисходящего направления.

Рассоление без отрыва от грунтовых вод будет, следовательно, протекать в условиях лугового режима. Оно обычно приурочено к надпойменным террасам, относительно менее древним, и наиболее эффективно проявляет себя при сопоставлении одновозрастных террас рек южных районов полупустынных и северных, более влажных.

Так, в Заволжье надпойменные террасы рр. Большого и Малого Узеня, Иргиза и Самарки по мере перехода от сухих районов Юга (150—200 мм) к более влажным и холодным районам Куйбышевского края (350 мм) характеризуются нарастанием опресненности почв, грунтов и грунтовых вод, хотя уровень последних сохраняется на глубинах 5—8 м. Разница в степени рассоленности профиля и грунтовых вод достигает значитель-

ных размеров. Если в профиле солонцов террас и в грунтовых водах низовьев Большого и Малого Узеня присутствуют в значительном количестве хлориды, то в верховьях на этих же террасах при общей большой рассоленности грунтов преобладают сульфаты, а в солонцах долины р. Самарки и ее притоков хлориды и сульфаты зачастую отсутствуют, уступив место карбонатам натрия.

Этим как бы рисуется последовательность выноса солей: сначала хлориды, затем сульфаты и, наконец, карбонаты.

Как будет показано ниже, два типа рассоления солончаков ведут в последующем к развитию различных типов солонцов и различной их судьбе.

Рассоление и развитие солонцов при утрате влияния грунтовых вод сравнительно быстро приводит к остепнению солонцов — вытеснению обменного натрия кальцием и разрушению столбчатого горизонта и, в конечном счете, к формированию солонцеватых почв каштанового типа.

Рассоление при условии влияния грунтовых вод и при периодической смене рассоления временным сезонным засолением вызывает своею повторностью наиболее максимальное насыщение поглощающего комплекса натрием и наиболее полное выщелачивание вытесняемого кальция, а поэтому и наиболее крайние формы солонцового процесса — содовые солонцы и в дальнейшем, повидимому, солоди.

Кроме этих двух основных направлений, в солонцовом процессе необходимо различить третье, усложняющее картину, направление в т о р и ч н о г о з а с о л е н и я с о л о н ц о в — и х р е г р а д а ц и ю.

Это направление впервые установлено для солонцов и солончаков Д. Г. Виленским в 1924 г. и затем описано подробнее в его работах 1927, 1930, 1935 гг. (188, 189, 190), главным образом, для солонцов Украины.

Эпирогенические погружения побережья Азовского и Черного морей вызвали некоторое подтопление прилегающих областей, поднятие в них грунтовых вод и восстановление процессов засоления. На морфологический профиль солонцов и солодей, ранее рассолявшихся и деградированных, накладывается солевой профиль солончаковатости и в крайних случаях даже солончака. При этом могут различаться несколько стадий реградации солончака по профилю солонца: слабореградированные (солончаковатость ниже иллювиального горизонта), среднереградированные (солончаковатость в иллювиальном горизонте), сильнореградированные солонцы-солончаки (солончаковатость в поверхностном горизонте). К сожалению, отсутствие аналитических данных не позволило Д. Г. Виленскому в опубликованных материалах иллюстрировать процесс реградации достаточным количеством анализов. Однако в целом выделение ряда реградации и намеченных подразделений нам кажется обоснованным и совершенно необходимым.

Процесс реградации может стоять в связи с колебаниями и местного базиса эрозии. Так, центральные части Каспийской равнины в низовьях иссякших рр. Большого и Малого Узеня, Горькой и др., являющиеся в настоящий период бессточными и находящиеся в состоянии интенсивного засоления, характеризуются накоплением солей в профиле ранее

рассолявшихся солонцов. Здесь также можно выделить предложенные Д. Г. Виленским (188—190) фазы реградации.

Наконец, бессточные котловины местного значения, «лиманы», «хаки». «соляные грязи», озера, которые рассмотрены нами в разделе озерно-коллювиальных солончаков, оказывают засоляющее влияние на солонцы низкой прилегающей террасы. Здесь вторичная бессточность является причиной восстановления солончаковатости солонцов как раз теми солями, которые характерны для бассейна засоления и которые накопляются в нем при непрекращающемся рассолении окружающей территории.

Подобные случаи наблюдались неоднократно нами в окрестностях соляных озер и «лиманов» в Заволжье. Здесь также часты случаи наложения солончакового профиля той или иной степени выраженности на морфологию солонцов.

Широкий аспект реградированных солонцов можно встретить среди случаев так называемого «вторичного засоления» солонцов при орошении или подпорном влиянии водохранилищ, сооружаемых в долинах.

Считая необходимым выделение ряда реградированных солончаковатых солонцов, мы учитываем условность разделения их с солончаковатыми солонцами, возникающими при рассолении без отрыва от грунтовых вод, — условность, которая неизбежно будет создаваться при типологии солонцов в природе. Однако путем сопоставления форм рельефа, гидрологии района и его четвертичной истории со стратиграфией морфологических и особенно солевых горизонтов, в большинстве случаев можно вполне разбираться в отличиях и распространении солонцов этих сложных рядов.

Мы не можем, таким образом, полностью присоединиться к Д. Г. Виленскому, который к ряду реградированных солонцов относит вообще все солонцы, связанные с грунтовыми водами.

Этим смешиваются два различных направления миграции солей и выбрасывается целое звено из эволюции засоленных почв, соответствующее начальному периоду эрозионного цикла.

Как процессы засоления, так и процессы рассоления почв не являются однократными актами. Процессы засоления и рассоления существуют нераздельно, сезонно сменяя друг друга как в периоды поступательного засоления, так и в периоды рассоления. Именно благодаря сезонной смене летнего притока солей зимним их выщелачиванием достигается полнота насыщения поглощающего комплекса натрием и полнота отмывки вытесняемого кальция.

При большом участии сульфатов длительные сезонные смены засоления и рассоления будут приводить к накоплению гипса в виде особого горизонта, который в дальнейшем заместится углекислым кальцием и частью уйдет.

Периодичность в генезисе засоленных почв не изучена. Но ее значение, подчеркнутое еще К. К. Гедройцем, из чисто теоретического вырастает в условиях орошаемого земледелия в проблему борьбы с коркой и ирригационным засолением и с его наихудшим видом — так называемой «реставрацией солончака после промывки». Эта реставрация солончака особенно распространена в Средней Азии и в Закавказье.

Рассоление и химизм солончаков

Накопление солей в механических осадках при образовании солончаков не проходит бесследно ни для дисперсных систем породы, ни для самих солей. Их состав меняется в процессе притока, реакций обмена с поглощенными катионами породы, реакций обмена с солями, особенно с $CaCO_3$ и $CaSO_4$, обычно присутствующими в грунтах (см. выше) в процессе кристаллизации соляного раствора при его испарении и увеличении концентрации.

Еще сложнее меняется состав солей солончака при рассолении. Раньше всего из профиля солончака уносятся хлориды и нитраты,[1] затем сульфаты и, наконец, карбонаты. При осолонцевании новообразуется сода, которая, как показано нами раньше (90), реагирует с гипсом и образует вторичные карбонаты кальция. В подвижную ионную форму переходят полисиликаты натрия, дающие по экспериментам в нашей лаборатории вторичные силикаты кальция и магния и вторичные соединения SiO_2 (см. ниже), появляются гуматы и алюминаты щелочей и их гидроокиси. Эти стороны солонцового процесса, связанные не только с коллоидным субстратом солонцового горизонта, но и с физико-химическим и водным режимом электролитов всего профиля солонца, в настоящий период нам почти неизвестны. Однако именно ими определяются многие отрицательные производственные черты солонцов.

Впервые вопрос о влиянии состава солей и особенно катионов в солончаках на судьбу их рассоления и степень солонцеватости поставил К. К. Гедройц. Он указал, что кальциевые солончаки при рассолении не переходят в солонцы. Характер рассоления смешанных солончаков, указывает К. К. Гедройц, будет зависеть от соотношения кальция и натрия в составе солей и от формы соединения, в котором находится кальций (13). Преобладание солей кальция над натрием в форме хлоридов обеспечит рассоление, минуя стадии солонца. Такой же эффект оказывает и наличие в составе солей гипса, хотя при этом не исключена слабая солонцеватость. Но кальций карбонатов в виду его ничтожной растворимости уже не сможет оградить полностью от развития солонцеватости.

Позже Kelley, говоря о роли соотношения кальция и натрия при рассолении, указал, что наличие в составе солей солончака 25% эквивалентов кальция от суммы катионов гарантирует рассоление солончака без развития солонцеватости (91). Изучая роль хлоридного и сульфатного засоления, И. Э. Цилдас и А. Е. Иванов (92) показали, что засоление карбонатного материала хлоридами натрия ведет к развитию солонцеватости, а засоление сульфатами — к образованию гипса, но при этом солонцеватость не вызывается.

Несколько ранее на пример серозема из Голодной Степи Л. П. Розовым (93) было установлено, что рассоление без солонцеватости возможно для солей NaCl и $CaSO_4$ при отношении Na : Ca=9 : 1, а для солей Na_2SO_4 и $CaSO_4$ при отношении Na : Ca=18 : 1. Эти отношения нам кажутся

[1] Здесь не имеются в виду нитраты, образующиеся биологическим путем в самих почвенных горизонтах, полное выщелачивание которых, конечно, невозможно.

все же повышенными, и объясняются, видимо, дополнительным участием Са-карбонатов, которыми так богаты сероземы.

Пытаясь выяснить влияние состава солей солончаков на последующий характер рассоления и солонцеобразования, мы поставили себе задачей на ближайший период ограничиться экспериментальным изучением роли хотя бы двух основных типов солей: хлоридов и сульфатов натрия на карбонатном и бескарбонатном грунтах. Опыты под нашим руководством были заложены С. В. Быстровым и продолжены М. М. Беспаловой. Ныне опыты ведутся Т. Гевельсон. В качестве исходного материала для эксперимента были взяты любезно предоставленные нам А. А. Завалишиным образцы лёссовидного суглинка из Кузнецкой степи. Один образец был бескарбонатный, другой — слабокарбонатный. Анализ водной вытяжки из обоих образцов (табл. 39) показывает полное отсутствие в образцах хлоридов и очень небольшое количество сульфатов. Щелочность соответственно карбонатности и бескарбонатности образцов в первом случае равна 0.1117% HCO_3' и во втором значительно меньше — 0.0680% HCO_3'.

Таблица 39

Водная вытяжка из образцов лессовидного суглинка Кузнецкой степи (в % на сухую навеску)

Образцы	Сухой остаток	Общая щелочность	$Ca^{\cdot\cdot}$	$Mg^{\cdot\cdot}$	Cl'	SO_4''
Карбонатный	0.1538	0.1117	0.0322	0.0012	Нет	0.0070
Бескарбонатный	0.1088	0.0680	0.0219	0.0006	»	0.0080

Суглинки были загружены толстым слоем в цилиндры (диаметром около 88 см) с тубулусами. На дне цилиндров укладывался 10-сантиметровый слой очищенного кварцевого песка. Поверхность суглинков нагревалась до 40—45° при помощи электрических лампочек, опущенных в цилиндры. Образцы суглинков засолялись $1/N$ растворами солей, поступавшими в цилиндры через тубулусы.

Далее, соли с капиллярными растворами и поднимались к поверхности, где и выпадали в виде корки. Для экспериментов были взяты $1/N$ растворы N_2SO_2, Na_2SO_4, $MgCl_2$. При этом засолению и сульфатами, и хлоридами натрия были подвергнуты как карбонатный, так и бескарбонатный суглинок. Хлористым магнием был засолен лишь бескарбонатный суглинок.

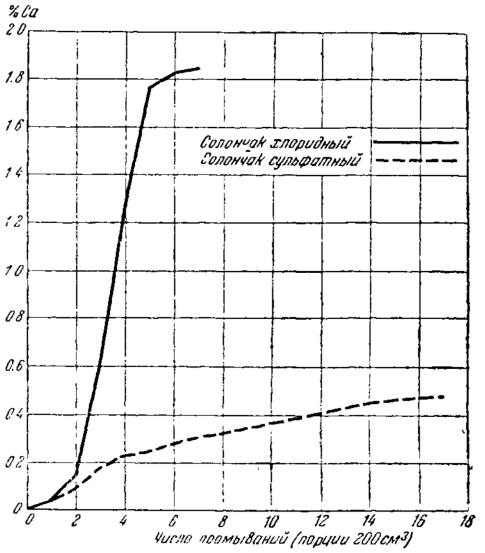
Засоление проводилось с января по май 1934 г., а затем было прекращено, и цилиндры подверглись сушке.

С ноября 1934 г. они поступили в промывку дестиллированной водой. После первых порций воды цилиндры, засоленные хлоридами натрия, стали очень замедлять фильтрацию. Оказалось необходимым соединить их водоструйным насосом. Но и при этом они фильтровались очень медленно, давая 200 $см^3$ фильтрата в среднем за 2 месяца. За время с начала промывки (14 месяцев) цилиндры при непрерывном действии насоса дали

лишь 1400 см³ фильтрата (7 порций по 200 см³). С четвертой порции (800 см³) в фильтратах из цилиндров с «хлоридными солончаками» появилась бурая окраска, связанная с присутствием коллоидальных соединений железа.

Карбонатный «хлоридный солончак» систематически отставал в скорости фильтрации от бескарбонатного «хлоридного солончака».

Обратную картину дали «сульфатные солончаки». В них была заметна замедленность фильтрации по сравнению с «магнезиально-хлоридным солончаком», но эта замедленность была невелика. Стандартная порция однократной промывки 200 см³ профильтровывалась в них со скоростью 1—2 часа. Поэтому промывка сульфатных солончаков искусственно задерживалась. Однако к настоящему моменту они даже при сознательной задержке скорости фильтрации дали уже по 3400 см³ фильтрата, который сохраняет свою бесцветность и в последних порциях. Сульфатные солончаки имели в начале промывки две особенности. С поверхности суглинков, как можно было хорошо видеть через стекло цилиндров, до глубины 2—2.5 см намечалась отчетливая прослойка, окрашенная в темный цвет, очевидно, обусловленная процессом десульфуризации. Это подтверждалось еще и специфическим запахом. Можно утверждать, что процессом десульфуризации, образования сероводорода и затем серной кислоты сопровождается всякий солончаковый процесс, в котором принимают участие сульфаты. Черные прослойки с запахом сероводорода обычно наблюдались нами в приозерных и коллювиальных солончаках и соляных грязях.



Фиг. 6. Выщелачивание Ca из цилиндров, засоленных хлоридами и сульфатами

Позже, примерно на пятом промывании, в сульфатных солончаках на глубине 5—8 см можно было наблюдать через стекло цилиндра небольшие беловатые конкреции, как мы полагаем, гипса.

Промывание магнезиально-хлоридного бескарбонатного солончака протекало без всякого замедления, значительно быстрее сульфатных солончаков и тем более хлоридно-натриевых. Наши опыты еще продолжаются, но уже эти чисто описательные данные показывают, что рассоление солончаков сульфатного и хлоридного рядов протекает неодинаково. Солонцеватость наиболее интенсивно проявляется у солонцов, развившихся из хлоридных солончаков, причем и в группе хлоридных солончаков наибольшая солонцеватость развивается к настоящему моменту в случае засоления карбонатного суглинка.

Обратимся к разбору полученных наблюдений, сопоставляя их с данными анализа собираемых фильтратов (табл. 40 и фиг. 6).

Динамика рассоления хлоридных и сульфатных солончаков совершенно различна. Если хлоридные солончаки на седьмом промывании (1400 см³) потеряли Ca 3.697% (карбонатный) и 1.881% (бескарбонатный), то сульфатные на семнадцатом промывании (3400 см³) соответственно отдали всего лишь 0.442 и 0.480%, т. е. значительно меньше. Таким образом сульфатные солончаки подавляющую часть своего кальция из профиля при рассолении не отдают, а задерживают. Наоборот, хлоридные солончаки отдают свой кальций очень энергично. Этим самым и создаются предпосылки к их последующему, более интенсивному осолонцеванию, что сразу же сказывается на крайнем замедлении фильтрации. Столь значительная разница в рассолении хлоридных и сульфатных солончаков легко объясняется различными формами соединений кальция, образующимися в момент засоления в первом и втором случае (фиг. 6).

I. Случай хлоридного засоления:

а) бескарбонатный суглинок,

$$(\text{почва})\text{-Ca} + 2\text{NaCl} \rightleftarrows (\text{почва})\text{-2Na} + \text{CaCl}_2$$

б) карбонатный суглинок,

$$\text{CaCO}_3 + 2\text{NaCl} \rightleftarrows \text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{CaCl}_2$$

II. Случай сульфатного засоления:

а) бескарбонатный суглинок,

$$(\text{почва})\text{-Ca} + \text{Na}_2\text{SO}_4 \rightleftarrows (\text{почва})\text{-2Na} + \text{CaSO}_4$$

б) карбонатный суглинок,

$$\text{CaCO}_3 + \text{Na}_2\text{SO}_4 \rightleftarrows \text{Na}_2\text{CO}_3 + \text{CaSO}_4$$

В случае хлоридного засоления кальций связывается с хлором, образуя $CaCl_2$, легкорастворимую соль. При сульфатном засолении образуется гипс, $CaSO_4$, в присутствии сернокислого натрия особенно мало растворимый. В процессе искусственного рассоления хлористый кальций выносится из цилиндров со скоростью в 5 раз большей, чем сернокислый кальций. Соответственно в поглощающем комплексе больше остается обменного Na, вызывающего сразу же сильную солонцеватость и признак и осолодения в виде миграции полуторных окислов (фиг. 6). В сульфатных же солончаках кальций сохраняется при рассолении в профиле и, постепенно возвращаясь в поглощающий комплекс, сильно снижает степень солонцеватости, подготовляя рассолонцевание без осолодения.

Таким образом солонцы и солонцеватые почвы, развившиеся из хлоридных и сульфатных солончаков, будут чрезвычайно различаться степенью их выраженности. Наиболее сильных степеней солонцеватость будет достигать при засолении насыщенных кальцием грунтов преимущественно хлоридами. Этим, однако, не исчерпывается разница в рассолении и осолонцевании хлоридных и сульфатных солончаков. Динамика щелочности фильтратов при рассолении хлоридных и сульфатных солончаков различна. Сульфатные солончаки при рассолении дают на первых порах щелочность раствора в 2—3 раза бóльшую, чем хлоридные.

Позже щелочность «солонцов», развитых из сульфатных «солончаков», снижается, а щелочность «солонцов» хлоридного ряда начинает расти,

Таблица 40

Цилиндр 1
Бескарбонатный суглинок, обработанный Na_2SO_4 [1]

Щелочность от нормальн. карбон.	Общая щелочность	SO''_4	Ca	SiO_2	pH
Нет	0 022	4 860	0 040	0 0039	
»	0 030	5 154	0 050	0 0033	
»	0 038	6 380	0 058	0 0020	
»	0 040	6 546	0 054	0 0026	
0 001	0 045	4 900	0 043	0 0024	
Нет	0 042	3 074	0 031	0 0021	7 98
0 0005	0 037	2 020	0 024	0 0036	7 86
0.001	0 026	1 466	0 020	0 0033	
0 0005	0 029	1 139	0 022	0 0030	
Нет	0 026	0 924	0 023	0 0025	7 48
»	0 025	0 798	0 022	0 0045	
»	0 023	0 688	0 019	1 0031	
»	0 020	0 584	0 018	0 0031	
»	0 020	0 493	0 016	0 0029	
»	0 023	0 375	0 015	0 0034	7 42
»	0 031	0 235	0 011	0 0026	7 42
0 0306	0 037	0 058	0 004	0 0024	7 61

Цилиндр 2
Карбонатный суглинок, обработанный Na_2SO_4

Щелочность от нормальн карбон	Общая щелочность	SO''_4	Ca	SiO_2	pH
Следы	0 055	4 870	0 039	0 0038	
0 002	0 045	5 035	0 050	0 0027	
0 002	0 063	6 377	0 060	0 0023	
0 001	0 064	6 215	0 050	0 0023	
0 002	0 063	4 290	0 043	0 0013	8 03
0 002	0 048	3 191	0 037	0 0028	7 61
0 002	0 042	2 320	0 029	0 0039	
0 002	0 027	1 616	0 021	0 0029	
0 001	0 023	1 148	0 022	0 0030	
0 101	0 025	0 912	0 021	0 0026	7 52
Нет	0 022	0 745	0 020	0 0040	
»	0 020	0 638	0 018	0 0033	
»	0 019	0 559	0 017	0 0033	7 47
»	0 018	0 435	0 015	0 0034	7 52
»	0 020	0 348	0 014	0 0038	
»	0 022	0 252	0 012	0 0026	
0 0004	0 021	0 160	0 013	0 0021	

Цилиндр 3
Бескарбонатный суглинок, обработанный NaCl

Нет	0 022	4 13	0 025	0 004	
»	0 020	5 18	0 130	0 003	
»	0 013	6 16	0 522	0 003	7 03
»	0 012	5 89	0 660	0 003	7 55
0 002	0 014	2 31	0 456	0 003	
—	0 031	0 88	0 070	0 004	
0 0036	0 065	0 42	0 018	0 004	

Цилиндр 4.
Карбонатный суглинок, обработанный NaCl

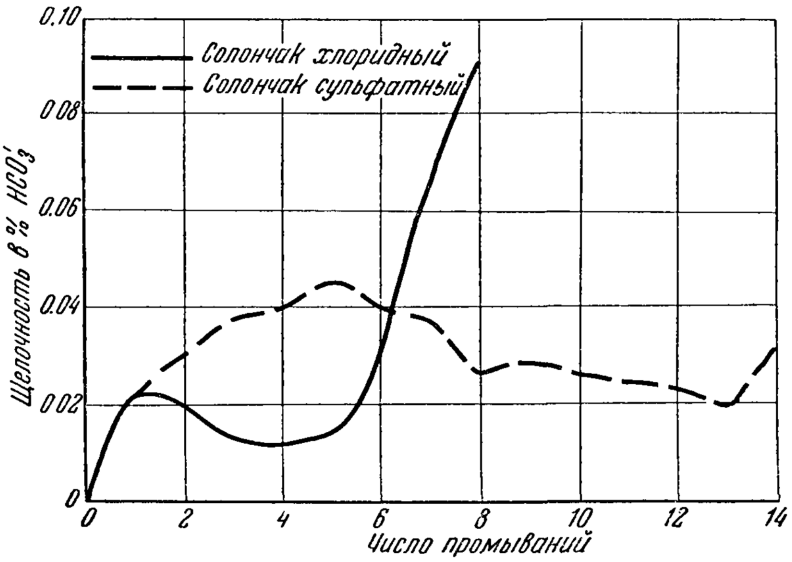
Нет	0 023	4 410	0 049	0 004	
»	0 018	5 600	0 260	0 004	7 57
»	0 026	9 800	1 426	0 004	
»	0 013	5 500	1 344	0 004	7 57
»	0 020	2 415	0 500	0 004	7 46
0 033	0 044	0 945	0 100	0 004	
0 007	0 069	0 158	0 017	0 005	8 29

[1] Все величины даны в %

причем появляется заметное количество щелочности от нормальных карбонатов (фиг. 7).

Мы склонны объяснить бо́льшую щелочность солонцов сульфатного ряда в ранние периоды осолонцевания свойствами гипса, именно его низкой растворимостью, особенно в присутствии сернокислого натрия, что и ведет к большему «выходу» соды и щелочности, согласно правилу действия масс

$$\frac{[CaCO_3]\cdot[Na_2SO_4]}{[Na_2CO_3]\cdot[CaSO_4]} = \text{const.}$$



Фиг. 7. Щелочность в последовательных порциях фильтратов из цилиндров, засоленных хлоридами и сульфатами

В случае засоления хлористым натром растворимость хлористого кальция снижает количество образующейся соды и щелочность

$$\frac{[CaCO_3]\cdot[NaCl]_2}{[Na_2CO_3]\cdot[CaCl_2]} = \text{const.}$$

Дальнейшее выщелачивание и осолонцевание суглинков уже ведут к образованию соды за счет гидролитических и обменных реакций Гедройца. Естественно, здесь большая щелочность проявляется у солонцов хлоридного ряда, как наиболее насыщенных натрием обедневших кальцием и наиболее пептизированных.

Отметим, наконец, что щелочность у солонцов, развивающихся на карбонатном фоне, несколько выше (особенно в сульфатной группе), чем на бескарбонатном. Это явление, очевидно, объясняется тем, что образование соды при взаимодействии с углекислым кальцием происходит более интенсивно, чем при взаимодействии с углекислотой, как на это и указал Гедройц.

Из всего вышесказанного можно сделать следующие выводы.

1. Рассоление солончаков хлоридного и сульфатного рядов протекает совершенно различно.

2. Наибольшие степени выражения солонцеватость получает после хлоридного засоления, обеспечивающего наибольшее вытеснение обменного кальция и вынос его из профиля в виде хлорида.

3. Сульфатное засоление вызывает более слабые степени солонцеватости, что связано с сохранением кальция в профиле в виде гипса и с обратным вхождением его в поглощающий комплекс.

4. Нужно полагать, что хлоридное засоление поведет преимущественно к осолонцеванию, а сульфатное — к рассолонцеванию без распада алюмосиликатов.

Сущность и физико-химические причины солонцеватости

Основные признаки солонцов и солонцеватых почв (высокая плотность и столбчатая структура в сухом состоянии, исключительная вязкость и почти полная бесструктурность — во влажном, токсическая щелочная реакция почвенных растворов, связанная с образованием соды на фоне выщелачивания других электролитов) вытекают из специфических физико-химических свойств системы почвенных коллоидов солонца и электролитов почвенного раствора. Эти специфические свойства, которые мы попытаемся обрисовать ниже, могут возникнуть лишь на определенной стадии рассоления почвенного покрова и не могут проявиться на стадии солончаков.

Высокая концентрация электролитов в солончаках погашает заряд мицеллы почвенных коллоидов и вызывает ее дегидратацию, срывая водную оболочку при гидратации ионов электролита. Это выражается в том, что почвенные коллоиды солончака находятся в коагулированном состоянии, цементирующем почвенную массу в более или менее отчетливые аггрегаты. Соответственно строение солончаков отличается выраженной структурностью, рыхлостью сложения и проницаемостью для воды и воздуха. Все эти свойства солончаков в значительной степени следует отнести также и на счет присутствия в рассеянной форме солевых конкреций, корок и отдельных кристалликов, механически разрыхляющих массу почвы. Хотя вследствие насыщенности почвенных коллоидов Na в большинстве солончаков, они коагулируют обратимо, высокая концентрация солей солончака даже при большом увлажнении не позволяет коллоидам пептизироваться сколько-нибудь значительно. Повидимому, основной причиной этого является низкое осмотическое давление в мицелле, обусловленное присутствием электролитов (Маттсон, 96). Процессы рассоления солончаков радикально меняют условия почвенного раствора и соотношение его с мицеллами; почвенные коллоиды приобретают новые, отличные от солончаковой фазы свойства. Эти свойства в основном связаны с особым составом обменных катионов в поглощающем комплексе. Преобладание в их составе поглощенного натрия, соли которого господствуют в большинстве солончаков, определяет все те свойства почвенных коллоидов, которые проявляются как солонцеватость.

Уже одно удаление электролитов из почвенного раствора солончаков при их рассолении является фактором, увеличивающим дисперсность и устойчивость почвенных коллоидов рассоляющейся почвы. Это увеличение дисперсности с современной точки зрения объясняется тем, что низкий электрокинетический потенциал и дегидратированность мицеллы коллоидов солончаков, в присутствии электролитов, вызывающих склонность к образованию аггрегатов после выноса электролитов, сменяются увеличением потенциала и ростом водной оболочки вокруг коллоидных частиц (Маттсон). Эти свойства мицеллы развиваются тем в большей степени, чем относительно большая доля в поглощенном состоянии приходится на Na.

Как следует из экспериментов Mattson и Антипова-Каратаева (97), слабые концентрации электролитов не мешают пептизации и усилению гидратированности мицеллы. На языке почвоведов это говорит о том, что явления солонцеватости начинают проявляться далеко не при полном промывании солей. Впрочем солончаковатость некоторых солонцов отмечалась и раньше.

Многочисленные экспериментальные исследования (Гедройца, Jenny, Kelley, Baver и др.) почв и коллоидов, насыщенных различными катионами, установили совершенно определенную зависимость между родом и свойствами катионов, свойствами адсорбирующих их мицелл и почвенного поглощающего комплекса.

Катионы, адсорбируемые почвенными коллоидами, по своему действию, повышающему подвижность почвенных коллоидов, располагаются в следующем нисходящем порядке, называемом «рядом Гофмейстера»:

$$Li > Na > K > Mg > Ca > Ba.$$

Из числа катионов лиотропного ряда судьба солонцовой стадии связана с Na и лишь в малой степени с K; с Ca и отчасти Mg связана эволюция почв незасоленной группы.

В последнее время в засоленных почвах Каспийской равнины, по нашей инициативе, были поставлены поиски Li, Rb, Cs. Ни в одном случае Rb и Cs не были найдены. Зато Li был обнаружен в грунтовых водах, почвах и золе солончаковых и солонцовых растений. Все это позволяет с большой вероятностью предполагать, что литий играет совершенно определенную роль в процессах засоления и осолонцевания почв.

Столь различная роль катионов щелочной и щелочно-земельной группы, а также и различия внутри них вытекают из свойств самих элементов, их атомной структуры и свойств их катионов.

Коагулирующая сила катионов лиотропного ряда, как известно, возрастает от лития к барию (Гедройц, Вигнер, 98). В этом же направлении возрастает и необратимость коагулята, его «лиофобность» в водной среде, даже лишенной электролитов. Подобные свойства искусственных систем, коагулированных солями Ca и Mg или естественных черноземных почв, насыщенных при их развитии теми же катионами, известны как из многих экспериментов, так и из установленной практикой устойчивой аггрегатности почв (структура). Естественнее всего явление необратимой коагуляции, стойкости коагелей и прочности аггрегатов несолонцовых почв черноземного типа объяснить полнотой электростатической нейтрализации мицелл

почвенных коллоидов ионами большего порядкового номера (большей положительный заряд атомных ядер) и большего числа валентных электронов (бóльшая валентность — заряд) Mg, Ca.

Все эти обстоятельства будут усиливать прочность кристаллической решетки мицелл, адсорбировавших эти катионы.

С этим, очевидно, связаны и низкие «константы выхода» Wiegner поглощенных двухвалентных катионов (98).

Условия, в которых дисперсные системы почв насыщены Mg и Ca, характерны для почвообразования на карбонатной коре выветривания (лессы, известняки, мергеля), либо в редких случаях для хлоридно-сульфатной коры выветривания с господством иона Ca и Mg над щелочами (гипсоносные озерно-лагунные отложения).

Однако, как детально разобрано выше, ионный состав солей областей аккумуляции — солончаков— почти обычно характеризуется огромным количеством растворимых солей натрия и часто их преобладанием. В этих случаях частицы дисперсных систем образующихся прп рассолении солонцовых почв будут насыщены Na и K. Экспериментально в лабораторных условиях давно установлено, что Li вызывает явления солонцеватости еще в большей степени, чем Na (Гедройц, Антипов-Каратаев. 99). Оба элемента имеют низкие порядковые номера (3, 11), небольшой атомный вес (6.94; 23.00) и всего лишь по одному валентному электрону во внешней орбите электронной оболочки. Таким образом по сравнению с Mg, Ca и Ba одновалентные элементы щелочной группы, особенно Li и Na, при адсорбции их мицеллой способны нейтрализовать ее (обычно) отрицательный заряд в значительно меньшей степени. Наоборот, замещая Ca и Mg или H, они сообщают мицеллам относительно больший потенциал. Литий и натрий обладают также значительно меньшим эффективным радиусом, чем кальций и барий. Однако, чем меньше эффективный радиус, [1] тем больше плотность силового поля вокруг иона и тем больше сгущены вокруг него полярно-ориентированные молекулы воды (Борн). Вокруг Li и Na как ионов меньшего эффективного радиуса образуются большие водные оболочки, сообщающие им больший гидродинамический диаметр и объем, объясняющий их меньшую подвижность. В соответствии с большей энергией гидратации ионов меньшего истинного объема гидратационный ряд их располагается в порядке, обратном уменьшению диаметра: для одновалентных Li, Na, K, Rb, Cs, для двухвалентных Mg, Ca, Ba.

Естественно, что наиболее гидратированные ионы вызывают и наибольший лиофильный эффект: коллоиды, мицеллы которых насыщены Li и Na, обладают ясно выраженной лиофильностью, обратимостью, пептизированностью, способностью сильно набухать и удерживать на поверхности мицеллы воду; они приобретают устойчивость против коагуляции и значительную мобильность вообще, словом, все те признаки, которые типичны для коллоидов солонцовых горизонтов.

Бóльшая гидратационная оболочка Li и Na вместе с этим обусловливает большее расстояние между внешним слоем катионов и внутренним

[1] «Эффективный радиус» в смысле Гольдшмидта — Ферсмана — «истинный» радиус атома, определяемый как половина расстояния в кристаллической решетке между двумя соседними атомами

слоем анионов по поверхности мицелл и вместе с этим их менее прочную связь с мицеллой. Поэтому насыщенные Li и Na мицеллы обладают более высоким потенциалом (увеличение разности потенциалов внутреннего и внешнего слоев), сравнительно невысокой прочностью решетки, высокой способностью диссоциировать на своей поверхности адсорбированные катионы, легко обменивая их и сообщая дисперсионной среде щелочную реакцию («высокая константа выхода» Wiegner).

Все эти явления — повышение потенциала, высокая диссоциация на поверхности, легкость обмена у мицелл, насыщенных Li и Na, по сравнению с насыщенными Ca и Ba — учитываются легко и непосредственно их большей катафоретической скоростью и более высокой электропроводностью (Вигнер, Маттсон, Антипов-Каратаев).

Высокая пептизированность коллоидных систем, насыщенных Li и Na, может вытекать также из того, что интенсивно диссоциируясь на поверхности мицелл, они сильно повышают в отсутствии электролитов (что типично, как тенденция в солонцах) осмотическое давление в мицелле. Это повышение давления, осложненное толчками отдиссоциированных катионов (Li и Na), на ряду с увеличением потенциала мицеллы и усилением броуновского движения и является фактором ее пептизации.

Очевидно, высокая способность поверхностного слоя Li-и Na-мицеллы к распаду на более мелкие аггрегаты и диссоциации может найти свое объяснение и в их энергетических свойствах (Э. К., А. Е. Ферсмана). Обладая большим энергетическим коэффициентом по отношению к порядковому номеру и атомному весу в сравнении с другими элементами щелочной и щелочно-земельной группы, они, вызывая явление контрполяризации, дают с комплексными анионами решетки меньшей прочности и большей растворимости.

Здесь есть известная аналогия между рядом сульфатов или карбонатов и мицеллами, насыщенными катионами. Чем больше энергетический коэффициент ионов, тем соответственно меньше прочность кристаллических решеток сульфатов и карбонатов, тем больше их растворимость.

В соответствии с исследованиями Ивановой (100), Антипова-Каратаева, Шаврыгина (101) солонцеватость почв проявляется в случаях содержания поглощенного Na в количестве не меньшем 5—10% от суммы обменных оснований. Типичный солонец уже связан с содержанием обменного натрия 15—20% от суммы. Таким образом для развития солонцовых свойств совершенно не обязательно полное замещение натрием всех остальных обменных катионов. Перенося данные физико-химических и коллоидных исследований мицелл, адсорбировавших Li и Na на солонцовые горизонты почв, солонцеватость как почвенное явление необходимо определить как состояние высокой гидратированности, высокого потенциала, пепетизированности, гидрофильности и подвижности мицелл коллоидов солонцовых горизонтов, насыщенных натрием, сообщающих почвенной массе высокую плотность и вязкость, бесструктурность, низкую водопроницаемость и аэрацию, щелочную реакцию почвенного раствора.

До сих пор в явлениях солонцеватости не изучена роль поглощенного Mg. Магний, обладая меньшим ионным радиусом по сравнению с Ca и Ba, относительно более гидратирован. Будучи также элементом меньшего

порядкового номера, магний обладает меньшим положительным зарядом ядра. Оба эти обстоятельства ставят магний в положение элемента, сообщающего мицелле некоторую гидратированность и более высокий потенциал, чем Ca и Ba. Между тем в солонцовых горизонтах многими исследователями установлено значительное количество обменного Mg.

Так, по данным Прасолова и Антипова-Каратаева (102), Ивановой, Панкова и Шаврыгина, содержание обменного Mg в солонцах б. Донской и Челябинской областей доходит до 40—67% от емкости обмена.

Исследования Антипова-Каратаева привели его к убеждению, что при больших количествах поглощенного Na обменный Mg, суммируя свое действие с Na, является настолько существенным фактором солонцеватости, что его необходимо учитывать при расчетах норм гипсования. Впрочем, и исследования Сушко показали, что Mg, как таковой, солонцеватость вызвать не может (92).

Таблица 41

Некоторые константы и свойства катионов

Свойства катионов	Li	Na	K	Mg	Ca	Ba
Порядковый номер	3	11	19	12	20	56
Вес	6.9	23.0	39.1	24.3	40.1	137.4
Число электронов	3	11	19	12	20	56
» электронных оболочек	2	3	4	3	4	6
Число валентных электронов	1	1	1	2	2	2
Эффективный радиус по Гольдшмидту в Å	0.78	0.98	1.33	0.78	1.06	1.43
Подвижность ионов при бесконечном разведении по Кольраушу	33.4	43.5	64.6	(1/2)45	(1/2)51	(1/2)55
Числа гидратации по Вигнеру и Палльману	27.1—27.6	18.0—18.4	11.5—11.6	?	(1/2)14	?
Константа вхождения по Вигнеру	15	29	45	—	—	—
Константа выхождения по Вигнеру	—	48.9	28.9	6.67	8.90	9.90
Энергетические коэффициенты Ферсмана	0.55	0.45	0.34	2.15	1.75	1.35

Большинство современных исследователей солонцов и солонцеватости ограничивалось изучением лишь собственно солонцового горизонта и его дисперсных систем—коллоидов. Между тем отрицательные агропроизводственные свойства солонцов связаны не только с уплотненным горизонтом, но со всем комплексом почвенных горизонтов солонца и его гидрологическим и солевым режимами, что обычно выпадало из поля зрения физико-химиков.

Естественно, это не позволило увидеть (исключая интересной работы Д. Г. Виленского, 11), что представители обширной группы солонцов являются генетическими стадиями общего процесса солонцеобразования. Определенные агропроизводственные и мелиоративные признаки солонцов,

специфические свойства солевого профиля, системы солей, свойства уплотненного горизонта появляются в солонцах лишь на определенных стадиях солонцового процесса.

Природа щелочности солонцов, образование и накопление соды

Высокая щелочная реакция солонцовых горизонтов давно известна как типичная и общая черта солонцов самых различных форм. Эта реакция связана с гидролизом целого ряда специфических для солонцов солей слабых кислот со щелочами и щелочными землями.

Сюда прежде всего относятся карбонаты и бикарбонаты щелочей и щелочных земель.

Далее источником высокой щелочной реакции солонцовых горизонтов является поглощающий комплекс, насыщенный Na. В этом случае явление протекает аналогично гидролизу солей слабой кислоты (ацидоидная мицелла) и сильного основания (поглощенный натрий); механизм реакции можно себе представить следующим образом:

$$\text{мицелла-Na} + \text{H.OH} \rightleftarrows \text{мицелла-H} + \text{NaOH}$$

Ничтожная константа диссоциации ацидоидной мицеллы обусловливает связывание ее с ионами H, а NaOH будет вызывать щелочную реакцию и при доступе CO_2 вести к образованию соды.

Новейшие исследования Антипова-Каратаева (99) показали, что щелочная реакция почв, насыщенных различными катионами, подчиняется лиотропному ряду. Полное насыщение образца чернозема катионами дало следующие интервалы pH:

Li — 9.00; Na — 8.04; K — 8.00; Ca — 7.84; Mg — 7.59; Ba — 7.35.

Частичное замещение натрия кальцием и магнием соответственно снижает pH, причем магний снижает в меньшей степени, чем кальций.

Помимо гидролиза адсорбционных соединений, щелочная реакция солонцовых горизонтов связана, как показывают эксперименты К. К. Гедройца, Kelley (103), Ковда и Быстрова (42), с гидролизом гуматов, силикатов и алюминатов щелочей. Поэтому при изучении реакции солонцовых горизонтов совершенно необходимо учитывать, что их титровальная щелочность лишь в известной степени относится на обычно определяемые в водных вытяжках карбонаты и бикарбонаты щелочей и щелочных земель, а некоторая часть ее обязана гуматам и силикатам, обычно не учитываемым.

Исследования, проведенные в нашей лаборатории (табл. 42) на сфагновом торфе, сапропеле и нефелине, насыщенных Na и последовательно промываемых дестиллированной водой в атмосфере, лишенной углекислоты, показали, что легко образующиеся в этой обстановке гуматы и силикаты Na развивают высокую щелочность как активную, так и титровальную (42).

Одновременное появление в вытяжках достаточно значительных количеств растворенного гумуса и SiO_2 и их более или менее параллельный ход со щелочностью и pH позволяют приписать ее именно гуматам и силикатам натрия.

Таблица 42

Водные вытяжки до и после искусственного осолонцевания

Объекты	pH солевое минимальное до осолонцевания	pH вытяжки максимальное после осолонцевания	Исходная щелочность в HCO'_3	Максимальная щелочность в HCO'_3	Растворимый гумус в см³ 0.05N $KMnO_4$	Растворимая SiO_2	Примечания
Торф без углекислоты	3.77	7.62	Нет	$\frac{0.0104}{0.0520}$ [1]	$\frac{133.0}{665.0}$	—	[1] Числитель — г на 100 см³ вытяжки из навески 20 г; знаменатель — в % на навеску
» с углекислотой	3.69	7.22	»	$\frac{0.0564}{0.2760}$ [1]	$\frac{112.0}{560.0}$	—	
Сапропель без углекислоты .	6.28	7.47	»	$\frac{0.0048}{0.0600}$ [2]	$\frac{15.0}{187.5}$	—	[2] Числитель — г на 100 см³ вытяжки из 8 г вещества; знаменатель — в % на навеску
» с углекислотой .	6.37	7.77	»	$\frac{0.0288}{0.3600}$	$\frac{8.6}{107.5}$		
Нефелин без углекислоты . .	6.94	8.31	$\frac{0.0026}{0.0052}$	$\frac{0.0128}{0.0256}$	—	$\frac{2.80}{5.60}$	pH водное начальное — 9.74; 9.85
» с углекислотой . .	6.94	7.89	$\frac{0.0029}{0.0058}$	$\frac{0.1265}{0.2530}$	—	$\frac{10.89}{21.78}$	Начальная щелочность до обработки Na_2SO_4 0.0662

Серия параллельных опытов с теми же объектами при насыщении промывных вод углекислотой показали более интенсивный рост общей щелочности при сохранении pH почти на том же уровне и при уменьшении количества воднорастворимого гумуса. Очевидно, при доступе углекислоты взаимодействие последней с гуматами и силикатами Na, с замещением натрия водородом, повело к образованию двууглекислой соды и уменьшению дисперсности гумата.

Щелочная реакция растворов гуматов и силикатов натрия по аналогии с карбонатами может быть представлена в виде следующей схемы:

$$\text{I. Hum Na} + \text{H.OH} \rightleftarrows \text{Hum H} + \text{NaOH}$$

$$\text{II. } Na_2SiO_3 + 2H.OH \rightleftarrows (SiO_2).H_2O + 2NaOH$$

О том, что в развитии щелочной реакции солонцовых горизонтов могут играть известную роль алюминаты натрия, можно судить по тому, что в экспериментах, лишенных доступа CO_2, щелочность, титруемая с фенолфталеином в вытяжках из нефелина, насыщенного Na—0.38 м.-экв., не покрывается растворенной кремнекислотой — 0.09 м.-экв. Качественные пробы показали при этом заметное присутствие алюминия. Отмывка Na нефелина водами, насыщенными углекислотой, показала рост общей щелочности, одновременно уменьшение pH (вместо 8.30—7.90) и исчезновение в растворе алюминия. Очевидно, и здесь идет в присутствии углекислоты образование соды с коагуляцией гидроокиси алюминия. Щелочная реакция переходящего в раствор алюмината объясняется, видимо, опять-таки его гидролизом по схеме:

$$2NaAlO_2 + 2HOH \rightleftarrows NaOH + \overline{|Al(OH)_3|}$$

Таким образом первично щелочная реакция солонцовых горизонтов, помимо влияния углекислого кальция, связана с явлениями гидролиза: алюмосиликатной части поглощающего комплекса, насыщенного щелочами, гуматов Na, образующихся при осолонцевании, силикатов и, повидимому, алюминатов Na, переходящих в солонцовых горизонтах в истинный раствор.

Однако свободное существование этих соединений ограничивается присутствием углекислоты воздуха, растворяющейся и реагирующей в почвенном растворе с ними, с образованием бикарбонатов и карбонатов щелочей. Поэтому основная доля щелочности солонцов обязана накоплению новообразующейся соды. Реакция образования соды в солонцовых горизонтах из адсорбционных соединений Na и растворенной углекислоты в общем виде, как указывают Гедройц и Kelley, заключается в двойном обмене водорода углекислоты и щелочей.

$$\text{I. } \overline{|xR_2O_3ySiO_2|}N + HOH \rightleftarrows \overline{|xR_2O_3ySiO_2|}H + NaOH$$

$$\text{II. } NaOH + H_2CO_3 \rightleftarrows NaHCO_3 + HOH.$$

На фоне этой реакции образование соды в солонцах, как показывают наши данные, протекает и при гидролизе гуматов, силикатов и алюминатов щелочей. Появляясь в солонцах в периоды уменьшения содержания

углекислоты в почвенных растворах (уменьшение парциального давления), при новом притоке CO_2 они отдают свой натрий углекислоте.

$$\text{I. Hum Na} + H_2CO_3 \rightleftarrows \underline{|\overline{HumH}|} + NaHCO_3$$

$$\text{II. } Na_2SiO_3 + 2H_2CO_3 \rightleftarrows \underline{|\overline{(SiO_2).H_2O}|} + 2NaHCO_3$$

$$\text{III. } NaAlO_2H + H_2CO_3 \rightleftarrows \underline{|\overline{Al(OH)_3}|} \leftrightarrows + NaHCO_3$$

При развитии солонцового процесса на грунтах, богатых карбонатом кальция, образование соды, кроме этого, как доказал Гедройц, интенсивно идет путем обменных реакций между Ca карбоната и Na поглощающего комплекса. Образование соды в солонцовых горизонтах сколько-нибудь значительно может итти лишь при достаточно глубоком рассолении солончака, когда присутствие солей не мешает гидратации, пептизации, растворению и диссоциации некоторых частей минерального и органического веществ почвы, имеющей в поглощенном состоянии обменные щелочи.

Этим и объясняется появление щелочности от бикарбонатов и карбонатов Na лишь в засоленных почвах, имеющих выраженные признаки опресненности и преобладания нисходящих растворов.[1]

Накопление соды в значительных количествах возможно, однако, лишь в солонцах зрелых стадий осолонцевания. Как неоднократно указывалось выше, засоление и периодическая смена его рассолением карбонатных грунтов хлоридно-сульфатными водами вызывают накопление гипса как в результате вытеснения обменного кальция натрием сульфатов, так и при взаимодействии последнего с углекислым кальцием во время движения растворов.

Ранние стадии солонцового процесса, теряя легко растворимые хлориды и сульфаты Na, будут характеризоваться, однако, сохранением гипса в пределах горизонтов, подвергнувшихся засолению. Свободное же существование соды в присутствии гипса, в особенности при нисходящих токах почвенных растворов, ограничивается образованием и выпадением вторичных карбонатов кальция. Это соображение подтверждается как анализом солевых профилей солонцов, развитых на геоморфологических поверхностях различного возраста, так и лабораторными исследованиями 1933 г. (90), поставленными по нашей инициативе в Отделе экспериментального почвоведения Института почвоведения Академии Наук.

Два цилиндра, заполненные специально очищенным песком, с заложенными прослоями гипса, подвергались последовательной промывке $1N$ раствором Na_2CO_3 порциями по 300—500 см³. Уже первые две порции (600 см³) промывных вод показали почти полное связывание соды гипсом и новообразование углекислого кальция. Лишь после полного превращения Ca гипса в углекислый щелочность проходящих растворов сравнялась со щелочностью исходного раствора соды. Совершенно бескарбонатный песок в цилиндрах приобрел на месте гипсовых прослоев небольшие конкреции углекислого кальция. Определение Ca карбонатов дало величину, совпадающую с количеством Ca, внесенного с гипсом (табл. 43 и 44).

[1] Здесь исключается случай «солончаковой» соды, образующейся по реакции Гильгарда при выцветании солей на поверхности, либо приходящей с грунтовыми водами.

Соответственно с ходом реакции по схеме

$$Na_2CO_3 + CaSO_4 \rightarrow CaCO_3 + Na_2SO_4$$

промывные воды обогатились почти эквивалентным количеством SO_4, отнятой от гипса.

Таблица 43

Послойный анализ на содержание Ca и CO_2

№ слоя	Цилиндр с химически чистым гипсом (в г)		Цилиндр с почвенным гипсом (в г)	
	CO_2	Ca	CO_2	Ca
1. Покровный	1.71	1.16	0.07	0.12
2. Бывший гипсовый прослой	4.71	4.25	3.23	3.22
3. Бывший гипсовый прослой	5.57	4.36	3.45	3.32
4. Ленточная глина	0.33	0.28	0.35	0.41
5. Песок	Нет	Нет	0.17	0.20
6—10. Песок			Нет	Нет
Всего	12.32	10.05	7.27	7.27
Внесено с гипсом (определено по SO_4, отмытой в растворах)	—	9.85	—	7.17

Таблица 44

Анализ последовательных порций растворов соды при промывании цилиндров

Цилиндр с химически чистым гипсом (в г)				Цилиндр с почвенным гипсом (в г)			
№ порции	объем раствора	SO_4	Ca	№ порции	объем раствора	SO_4	Ca
1	300	44.94	0.0108	1	300	33.036	0.038
2	300	6.54	0.003	2	300	8.394	0.0042
3	300	3.65	Нет	3	500	0.195	0.0030
4	500	1.95	»	4	500	0.045	Нет
5	500	0.10	»	5	500	Нет	»
6	500	Нет	»	6	500	»	»
Всего	2400	57.18	0.0138	Всего	2600	41.670	0.0452

Только после перехода гипса солонцов ранних стадий в углекислый кальций, т. е. в итоге длительного дренирования и промывания солонцов, начинает накопляться сода в свободной форме и из гипсоносных солонцов развиваются содовые. Наши исследования солонцов Заволжья, действительно, показали, что щелочность в солонцовых горизонтах от небольшой величины 0.03—0.07% HCO'_3, характерной для солончаковатых гипсо-

носных солонцов на молодых недренированных частях Каспийской равнины, в солонцах более дренированных и рассеченных террас рр. Ерслана, Б. и М. Узеня, Иргиза, Самарки подымается до 0.1—0.5% HCO'_3.

Особенно замечательно то, что щелочность, титруемая с фенолфталеином, т. е. от нормальных карбонатов, появляется в солонцах длительно и интенсивно рассоляющихся дренированных областей после исчезновения в солевых профилях гипса. Одновременно все безгипсовые и содовые формы солонцов характеризуются в подсолонцовых горизонтах ярко выраженными горизонтами углекислого кальция, который мы склонны рассматривать как вторичный, возникающий на месте бывших гипсовых горизонтов. В процессе эволюции солонцов, в областях развития эрозионного расчленения и дренирования, система солей:

$$Na_2CO_3 + CaSO_4 \rightleftarrows Na_2SO_4 + CaCO_3$$

превращается в систему $Na_2CO_3 + CaCO_3$. Накопляющаяся свободная сода, естественно, не остается неподвижной. С растворами наземных и почвенных вод она выносится из солонцовых горизонтов, скопляясь в депрессиях и образуя содовые солончаки, содовые озера типа Кулундинской степи или Венгерской низменности. Здесь в грунтах, лишенных хлоридов и гипса, щелочность достигает колоссальной величины 0.5—0.9% HCO'_3, а днища озер становятся месторождениями соды.

Силикаты натрия и кальция в солонцах

В составе почвенного раствора солонцовых горизонтов, как показано выше, принимают участие силикаты Na, переходящие при осолонцевании в подвижные формы. В осадочных породах, обычно являющихся субстратом, на котором образуются засоленные почвы, силикаты, переходящие при адсорбции минеральными почвенными коллоидами Na в раствор, могут быть двоякого происхождения: во-первых, они принесены в седимент ранее, при его образовании, и, во-вторых, находятся в составе обломков алюмосиликатных минералов, слагающих осадочную толщу. Но значительное накопление силикатов натрия в солонцах, как это показывают многочисленные анализы водных вытяжек, не установлено. Имеющиеся данные говорят, что количество воднорастворимой SiO_2 редко достигает 0.05—0.08%. Основные факторы, переводящие SiO_2 в воднонерастворимые формы, на наш взгляд, следует искать в реакциях двойного обмена силиката натрия с другими солями солонца, в разложении силикатов и образовании аморфной кремнекислоты. Почвенные растворы солонцовых горизонтов, содержащие соду и силикаты натрия, имеют тенденцию к нисходящему движению. И подобно тому, как сода, реагируя с гипсовыми скоплениями солонца, образует вторичные карбонаты кальция в местах бывших гипсовых горизонтов, силикаты натрия, также взаимодействуя с гипсом, ведут к образованию вторичных силикатов кальция:

$$NaSiO_3 + CaSO_4 \rightleftarrows NaSO_4 + CaSiO_3.$$

Кроме этого, растворы силиката натрия взаимодействуют с сульфатами магния, с образованием силикатов магния по реакции того же типа.

Образующиеся при этом силикаты магния, как показывают исследования И. И. Феофаровой в нашей лаборатории, обладают большей прочностью и меньшей растворимостью, чем силикаты кальция. Однотипная реакция возникает с бикарбоватами Ca:

$$Ca(HCO_3)_2 + Na_2SiO_3 \rightleftarrows CaSiO_3 + 2NaHCO_3.$$

Силикаты кальция оказываются промежуточным соединением и, как это установлено И. И. Феофаровой в лабораторной обстановке, они особенно неустойчивы в присутствии углекислоты. Происходит реакция карбонизации силиката по схеме:

$$CaSiO_3 + H_2CO_3 \rightarrow CaCO_3 + (SiO_2).H_2O$$

с образованием углекислого кальция и выпадением аморфной кремнекислоты в виде гелей.

Очевидно, образование карбонатов кальция в солонцовых почвах, помимо ранее показанной нами реакции соды с гипсом, обязано и карбонизации силикатов. Таким образом реакциям карбонизации силикатов обязано и образование вторичной свободной аморфной кремнекислоты, которая в дальнейшем может кристаллизоваться.

Так как в почвенных растворах солонца сода и силикаты Na тесно сопряжены, то образующиеся в этих условиях карбонаты пропитаны и окремнены различными силикатами и вторичной кремнекислотой. Подвергается также окремнению и вся масса почвенного горизонта, в котором рассеяны конкреции замещающегося гипса и углекислого кальция. С этим окремнением и связана широко известная почвоведам крайняя уплотненность верхних частей карбонатных горизонтов солонцов и солонцеватых почв, превышающая часто плотность собственно солонцовых горизонтов. Естественно, что высокая окремненность и плотность подсолонцовых карбонатных горизонтов достигаются не в начальных стадиях солончаковатых гипсоносных солонцов, а в стадиях поздних. Часто уплотненный подсолонцовый горизонт этих почв обособляется во второй горизонт уплотнения, иногда же он связан переходами со столбчато-призматическим. Солонцы и сильно солонцеватые почвы такого типа распространены широко в Заволжье на низких сыртах и третьих террасах. Описаны они также Никифоровым в б. Донской области; широко развито окремнение солонцеватых сероземов в Средней Азии и Южном Казахстане.

Миграция кремнекислого натрия, выпадение силиката магния и кальция с карбонизацией последних и окремнением, с образованием цементированного горизонта, не могут пройти бесследно для водно-воздушных свойств солонца, очевидно снижая общую проницаемость профиля. Kelley при исследованиях солонцов Америки обратил внимание на то, что солонцы характеризуются не только выносом солей и наличием поглощенного натрия, но и очень высоким накоплением карбонатов и силикатов Ca и Mg. Однако механизм их образования для Kelley остается неясным. Тем не менее он указывает, что силикаты Ca и Mg солонцов играют значительную роль в их улучшении. Необходимы только агенты, повышающие растворимость силикатов. Таковыми могут быть, по мнению Kelley, сера, CO_2, выделяемая корневой системой или минерализующимся навозом, сульфат

железа, соли алюминия (18). Во всяком случае, вторичные силикаты кальция и магния, образование вторичной SiO_2 и явления окремнения при оценке мелиоративных свойств солонцов совершенно не должны выпадать из поля зрения.

Б. ОСНОВНЫЕ СТАДИИ СОЛОНЦОВОГО ПРОЦЕССА

Превращение солончаков в солонцы и отрыв последних от грунтовых вод совершается не сразу. Опускание грунтовых вод на ранних стадиях расчленения и дренирования аккумулятивной солончаковой страны сопровождается промыванием поверхности горизонтов от солей и их осолонцеванием. Но еще длительное время большая часть профиля солонца связана попрежнему с грунтовыми водами и находится под постоянным влиянием восходящих солевых капиллярных и пленочных растворов.

Дальнейшее расчленение страны, опускание уровня грунтовых вод и их иссякание проходит через длительную фазу периодических смен питания солонцов грунтовыми водами и преобладания нисходящих растворов. И лишь в случаях интенсивного развития дренированности и глубокого опускания грунтовых вод в областях длительного эрозионного расчленения наступит период преобладания выноса электролитов и последовательный уход различных солей.

Однако поднятие базиса эрозии, затухание эрозионного цикла и поднятие грунтовых вод могут вновь остановить рассоление и вызвать процесс засоления ранее рассоленных и осолонцованных почв. Пленочно-капиллярные растворы начнут вновь накоплять в почвах соли, уровень аккумуляции и состав которых явится результатом предшествовавшего процесса рассоления, длительности и интенсивности реградации.

Поэтому крайне важно при классификации солонцов руководствоваться характером связи их с грунтовыми водами, подающими соли к поверхностным горизонтам (постоянная, периодическая связь), или отсутствием этой связи. Этот признак тем более важен, что чисто мелиоративный вопрос об опасности засоления при орошении и необходимости дренажа для солонцов различных форм решается совершенно различно.

Другим, не менее важным и классификационным, и мелиоративным признаком в солонцах является их солевой профиль. Солевой профиль солонцов органически сопряжен с первым признаком — гидрологическим режимом. Солонцы, связанные с грунтовыми водами, естественно, всегда будут иметь в составе солей легкорастворимые сернокислые, хлористые и углекислые соли, с некоторым максимумом в горизонтах испарения подымающихся пленочно-капиллярных растворов. Кроме того, в определенные периоды в системе солей появляется сода, кремнекислый и гуминовокислый натрий. И только в итоге длительного развития в солонцах наиболее зрелых стадий в составе солей преобладающая роль остается за свободной содой и гуматом натрия. Этот существеннейший вопрос смены и новообразования в последовательных стадиях солонцового процесса систем совершенно определенных солей ждет еще своих исследований.

Но уже сейчас ясно, что освоение солонцов, характеризующихся различными системами солей, потребует в одних случаях промывки солей,

в других — прежде всего нейтрализации соды, в третьих — использования природных запасов кальция, связанного в различной форме в нижних горизонтах.

Основываясь на приведенных выше соображениях, мы можем свести главнейшие формы солонцов к следующей схематической классификации:

Таблица 45

Схематическая классификация солонцов

Ряды солонцов	Ведущее направление в эволюции	Стадии солонцового процесса
Ряд солончаковатых солонцов Связь с грунтовыми водами постоянная	Рассоление, осолонцевание, увеличение насыщенности обменным натром и накопление соды	Сульфатно-хлоридные солончаковатые солонцы Хлоридно-сульфатные гипсоносные солончаковатые солонцы Содово-сульфатные солончаковатые солонцы Содовые солончаковатые солонцы
Ряд солонцов остепняющихся Связь с грунтовыми водами прерывается и исчезает	Рассоление, остепнение, увеличение насыщенности обменным кальцием и меньше — калием	Остаточносолончаковатые солонцы Остаточнослабосолончаковатые солонцы Остепненные безгипсовые солонцы Солонцеватые каштановые почвы
Ряд солонцов реградации Связь с грунтовыми водами восстанавливается и делается постоянной	Засоление, восходящее накопление солей в профиле	Слабореградированные солонцы Реградированные солончаковатые солонцы Сильнореградированные солончаковатые солонцы

Расположенные в рядах формы солонцов представляют собой генетически связанные стадии солонцового процесса.

Нужно полагать, что эти стадии не охватывают все формы солонцового процесса. В частности, автору неясно положение такыров. Это решить тем более трудно, что исследователи такыров до сих пор не осветили их полный солевой профиль, его изменения и соотношение с грунтовой водой.

Неясно также автору и положение процессов осолодения. С одной стороны, осолодение, как это хорошо всем известно, всегда сопровождает солонцовый процесс, а, с другой,— на известных стадиях оно приобретает ведущее самодовлеющее значение.

Автору кажется, что последний случай возникает в ряду солончаковатых солонцов при избыточном поверхностном увлажнении и обязатель-

ном участии грунтовых вод. Однако у нас еще нет данных утверждать это категорически, тем более что процесс осолодения почв после исследований К. К. Гедройца и Е. Н. Ивановой незаслуженно не привлекал к себе внимания и к настоящему моменту освещен недостаточно.

Несмотря на то что автор пользовался в своих работах результатами изучения солонцов только Заволжья, сопоставляя свои данные с литературными, он пришел к мысли, что выделенные формы солонцов типичны и для других областей и, несомненно, имеют общее значение.

Солонцы солончаковатого ряда. Рассоление без отрыва от грунтовых вод

1. Сульфатно-хлоридные солончаковатые солонцы

Солонцы этого типа характеризуются с поверхности рыхлой пористой корочкой мощностью 1—5 см и развитием морфологически плохо выраженного солонцового коричнево-бурого уплотненного горизонта, на глубине с 8—10 до 15—20 см с глыбисто-призматической структурой. В нижней части горизонта обычно наблюдается ореховато-зернистая структура, по-видимому, обусловленная присутствием здесь значительного количества солей. Подсолонцовый горизонт на глубинах 15—20 см отличается чрезвычайной рыхлостью, переполнен выделениями солей и всегда отличается повышенной влажностью. Очень характерным для солончаковатых солонцов является высокое вскипание их от HCl (с поверхности, либо с 5—15 см) и выделение карбонатов непосредственно в солонцовом горизонте с 10—15 см и гипса с 20—25 см.

Форма выделения карбонатов в виде червеобразных прожилок, расположение их над горизонтом выделений гипса такой же формы заставляет предполагать, что выделения карбонатов в солонцовом горизонте являются псевдоморфозом по ранее находившемуся здесь гипсу. Процесс рассоления и осолонцевания, сопровождающийся, как показано выше, образованием соды, приводит к реакции новообразования и накопления карбонатов кальция на месте бывших гипсовых горизонтов:

$$Na_2CO_3 + CaSO_4 \rightleftarrows CaCO_3 + Na_2SO_4$$

Существование этой реакции в солонцах показано выше. Почти полное отсутствие соды в водных вытяжках, чрезвычайно характерное для солончаковатых солонцов, объясняется как-раз тем, что ее образование затруднено присутствием в этих солонцах почти с поверхности некоторого количества солей Na, не позволяющих поглощенному натрию отдиссоциироваться на поверхности мицеллы, а также и тем обстоятельством, что каждая новая порция соды идет на образование $CaCO_3$ из гипса.

В горизонте конкреций гипса часто наблюдается мучнистая темноватая присыпка на поверхности ярко белых мелких кристалликов гипса, что указывает на процесс замещения его карбонатами Са.

В нижних частях профиля этих солонцов наблюдается большое количество выделений гипса, вплоть до грунтовых вод, с несколькими

горизонтами его скопления. При этом часто нижние гипсовые горизонты характеризуются прочными формами кристаллических стяжений и друз.

Степень минерализованности грунтовых вод обычно довольно высокая; так, например, в Заволжье сухой остаток в некоторых случаях достигает до 17.5 г/л, а в Присивашье — до 40—50 г/л.

Обычно солончаковатые солонцы не представляют сплошного массива и располагаются в комплексах с западинными опресненными почвами, занимая 20—70% площади. По нашим наблюдениям, в Каспийской равнине количество солончаковатых сульфатно-хлоридных солонцов в комплексе для одновозрастных поверхностей зависит от характера дренированности территории, глубины залегания уровня грунтовых вод и механического состава пород.

Легкий механический состав уменьшает величину критического уровня засоления и способствует лучшему опреснению. Здесь участие солонцов в комплексе обычно меньше. Равнины, не расчлененные оврагами или руслами рек и сложенные более тяжелыми отложениями, имеют в комплексе до 60—80% солончаковатых солонцов (центральная часть Каспийской равнины).

В распределении легкорастворимых солей и гипса следует отметить следующие особенности, не повторяющиеся у солонцов последующих стадий (табл. 46 и 47):

1. Наличие почти с поверхности некоторого количества легкорастворимых солей.

2. Ясный максимум суммы растворимых солей и гипса в подсолонцовых горизонтах.

3. Резкое, а затем постепенное уменьшение суммы солей по профилю к грунтовым водам.

4. Обособление в подсолонцовых горизонтах по сравнению с другими частями профиля ясного максимума хлора и иногда преобладание его над сульфатами (разрез № 125).

5. Обособление сульфатного (гипсового) максимума в подсолонцовых горизонтах.

6. Невысокая общая щелочность с некоторым максимумом в солонцовом горизонте и отсутствие щелочности от CO'_3.

7. Отношение между Cl и SO_4 в водной вытяжке колеблется для горизонтов максимального засоления в пределах 1 : 1 , 1 : 6.

Эти особенности солевого профиля, помимо развития солонцеватости с поверхности, отражают существование длительного постоянного засоления подсолонцового горизонта на глубине 10—50 см, связанного с грунтовыми водами (фиг. 8).

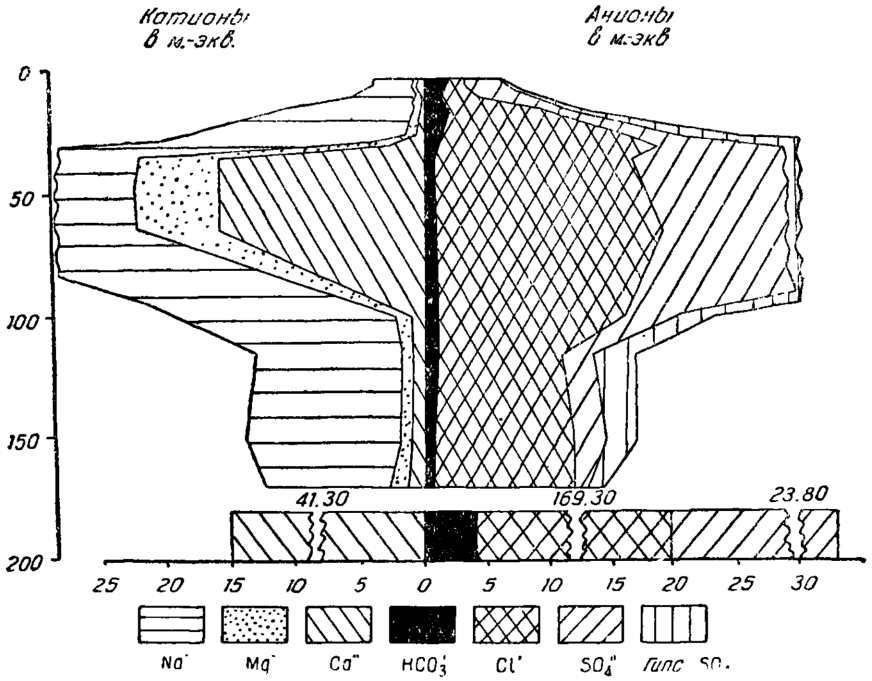
Механизм образования сульфатно-хлоридных солончаковатых солонцов можно рисовать себе следующим образом.

Опускание базиса эрозии вызывает падение уровня грунтовых вод, засоляющих поверхность почв; этим обусловливается эффект рассоления поверхностных горизонтов и в соответствующих элементах почвенного покрова развитие солонцового процесса.

Солевые растворы, ранее доходившие от грунтовых вод к поверхности, в состоянии достигать лишь некоторых пониженных горизонтов.

Солонцовый горизонт, возникающий в результате рассоления, обладая большой воздухонепроницаемостью, в летний период, когда создаются предпосылки для максимального просыхания грунта, защищает подсолонцовые горизонты от испарения.

Уменьшение или отсутствие испарения влечет более высокое поднятие пленочных солевых растворов, так как они не будут перехватываться испарением. Поэтому пленочные растворы в состоянии подняться к подсолонцовому горизонту с большой глубины 3—5 м и сохранять постоянную связь последнего с грунтовыми водами.



Фиг. 8. Солевой профиль сульфатно-хлоридного солонца; II терраса р. Большого Кушума (Заволжье). Разрез № 17

В зимний и весенний периоды солонцовый горизонт, будучи насыщен натрием, пептизируясь и набухая под влиянием воды, превращается в горизонт водонепроницаемый и защищающий соли от выщелачивания.

Этим и объясняется, что солончаковатые солонцы характеризуются ясным накоплением солей в подсолонцовом горизонте и общей солончаковатостью профиля.

Рассмотрим в качестве примера разрез № 17, заложенный нашей экспедицией (Г. И. Григорьев) на второй террасе р. Большого Кушума в Заволжье близ с. Беляковка. Растительный покров — *Atriplex.*

0—10 см. Буро-коричневатый, плотный суглинистый; трещинами разбит на глыбки неправильной формы. Поверхности глыбок покрыты белесой корочкой, не отделяющейся от глыбок и имеющей мощность лишь в несколько миллиметров. От HCl не вскипает. Густая корневая система: стержневые корни *Atriplex* идут до глубины 50 см.

Солончаковатый суль-

Данные анализа CO_2, SO_4 гипса и водной вытяжки

(Аналитик

Глубина залегания в см	Гигроскопическая вода	Сухой остаток	Щелочность		Cl′	SO''_4
			CO''_3	HCO'_3		
0—5	6.34	0.5936	Нет	0.0945 / 1.55	0.0500 / 1.41	0.1615 / 3.36
5—10	7.94	0.5159	—	0.0744 / 1.22	0.1150 / 3.24	0.2348 / 4.89
10—15	8.14	0.7954	—	0.1158 / 1.90	0.2674 / 7.54	0.1104 / 2.30
18—23	7.91	1.3773	0.0034 / 0.11	0.0729 / 1.19	0.5310 / 14.97	0.2032 / 4.23
25—30	7.65	1.9242	0.0027 / 0.09	0.0535 / 0.88	0.6265 / 17.67	0.4975 / 10.36
30—35	9.38	3.1229	Нет	0.0387 / 0.63	0.5681 / 16.02	1.4277 / 29.70
45—50	9.24	3.2360	—	0.0359 / 0.59	0.6108 / 17.22	1.3746 / 28.62
65—70	8.81	3.1823	—	0.0375 / 0.61	0.6569 / 18.52	1.3836 / 28.81
95—100	6.35	1.2119	—	0.0635 / 1.04	0.5344 / 15.07	0.1786 / 3.72
110—115	4.17	0.8369	—	0.0646 / 1.06	0.3598 / 9.86	0.1175 / 2.45
145—170	3.28	0.9146	—	0.0476 / 0.78	0.4035 / 11.38	0.1186 / 2.47
165—170	3.78	0.9807	—	0.0515 / 0.84	0.4051 / 11.42	0.0540 / 1.12
С 220—240 грунтовая вода в г/л	—	Не опред.	0.014	0.228 / 3.77	6.00 / 169.30	2.143 / 23.80

[1] Здесь и ниже Na по вычислению.

Таблица 46

фатнохлоридный солонец
(в %/м.-экв. на абсолютно-сухую почву) Разрез № 17
Т. Гевельсон)

SiO_2	Гумус	Сумма полуторных окислов	$Ca^{\cdot}$	$Mg^{\cdot}$	$Na^{\cdot}$	SO_4 гипса	CO_2
0 0896 / 2 36	0 0271	0 0074	0 0078 / 0 39	0 0048 / 0 39	0 0840 / 3 65	0 0158	Нет
0 0141 / 0 47	0 0491	0 0043	0 0062 / 0 31	0 0009 / 0 07	0 1410 / 6 13	0 0444	»
0 0152 / 0 51	0 0369	0 0123	0 0124 / 0 62	0 0048 / 0 39	0 2500 / 10 87	0 0626	0 09
0 0085 / 0 28	0 0307	Нет	0 0132 / 0 66	0 0122 / 1 00	0 4110 / 17 87	0 2070	0 21
0 0271 / 0 90	0 0165	0 0054	0 0621 / 3 10	0 0302 / 2 48	0 5596[1] / 24 33	0 4720	Не опред
0 0176 / 0 46	Нет	Нет	0 3362 / 16 78	0 0781 / 6 42	0 532 / 23 15	3 9792	»
0 0055 / 0 18	»	»	0 3326 / 16 60	0 0837 / 6 88	0 528 / 22 95	4 9614	»
0 0109 / 0 36	»	»	0 3382 / 16 88	0 0779 / 6 41	0 567 / 24 65	4 8320	»
0 0085 / 0 28	»	»	0 0226 / 1 13	0 0168 / 1 38	0 401 / 17 42	0 1760	»
0 0052 / 0 17	»	»	0 0182 / 0 91	0 0123 / 1 02	0 263 / 11 44	0 1546	»
Не опр.	»	»	0 0205 / 1 02	0 0112 / 0 93	0 292 / 12 68	0 1233	»
»	»	»	0 0279 / 1 39	0 0182 / 1 51	0 241 / 10 48	0 0562	»
Не определял я			0 828	Не определял я			

Солончаковатый сульфат-

Данные анализа гипса, CO_2 и водной вытяжки, гумуса

(Аналитик

Глубина в см	Гигроскопическая вода	Плотный остаток	Щелочность		Cl′
			нормальных карбонатов CO''_3	общая в HCO'_3	
0—5	2.14	0.20	Нет	0.016 / 0.26	Следы
8—13	6.38	0.79	»	0.025 / 0.41	0.20 / 5.70
16—21	6.73	2.20	»	0.024 / 0.39	0.44 / 12.57
25—30	6.25	3.11	»	0.024 / 0.39	0.47 / 13.43
35—40	7.24	3.45	»	0.025 / 0.41	0.45 / 12.85
50—55	5.33	1.95	»	0.021 / 0.35	0.36 / 10.28
80—85	5.18	2.45	»	0.036 / 0.59	0.28 / 7.98
105—110	5.16	1.97	»	0.021 / 0.35	0.22 / 6.3
120—125	5.14	2.03	»	0.021 / 0.35	0.23 / 6.5
135—140	7.72	2.02	»	0.017 / 0.29	0.19 / 5.42
165—170	4.38	1.19	»	0.021 / 0.35	0.149 / 4.29
230—240	3.78	0.53	»	0.026 / 0.42	0.12 / 3.42
С 250 грунтовая вода в г/л	Не опред.	Не опред.	0.026	0.322	6.01

Таблица 47

нохлоридный солонец.
(в %/м.-экв. на сухую почву). Разрез № 15. Долина р. Миус.
И. Г. Розмахов)

SO''_4	$Ca^{\cdot\cdot}$	$Mg^{\cdot\cdot}$	Na по разности	SO_4 гипса	CO_2	Валовой гумус по Тюрину
Следы	Следы	Следы	—	Следы	Нет	2.95
0.17 / 3.35	0.02 / 1.0	Следы	—	0.2	Нет	2.35
0.89 / 18.54	0.052 / 2.60	0.074 / 6.17	0.52 / 22.73	0.96	Следы	1.42
1.54 / 32.1	0.41 / 20.50	0.135 / 11.08	0.346 / 14.62	2.37	4.78	Не опред.
1.74 / 36.2	0.27 / 13.5	0.15 / 12.50	0.54 / 23.46	3.58	6.58	»
0.81 / 16.8	0.086 / 4.30	0.09 / 7.50	0.36 / 15.63	1.17	7.54	»
1.24 / 25.83	0.25 / 12.5	0.098 / 7.9	0.32 / 14.12	2.40	4.88	»
1.05 / 21.87	0.19 / 9.50	0.073 / 8.17	0.30 / 13.02	Не опред.	Не опред.	»
1.07 / 22.30	0.2 / 10.0	0.071 / 5.95	0.30 / 13.20	3.45	3.94	»
1.12 / 23.33	0.31 / 15.5	0.066 / 5.50	0.19 / 8.04	3.76	3.17	»
0.65 / 13.54	0.12 / 6.00	0.048 / 4.00	0.187 / 8.14	1.32	3.82	
0.21 / 4.37	0.02 / 1.0	0.015 / 1.25	0.14 / 5.96	Не опред.	4.3	
4.88	0.742	Не опред.	Не опред.	»	Не опред.	

Таблица 48

Солончаковатый сульфатно-хлоридный солонец.

Данные анализа водной вытяжки, гумуса, гипса и CO_2 (в %). Каспийская равнина. Разрез № 125

Глубина в см	Водная вытяжка									Гумус валовой по Тюрину	SO_4 гипса	CO_2
	Сухой остаток	Щелочность		Водораств. гумус $см^3$ 0.05N $KMnO_4$	Cl'	SO''_4	$Ca^{\cdot\cdot}$	$Mg^{\cdot\cdot}$	Na по вычислению			
		CO''_3	HCO'_3									
0—3	0.082	Нет	0.024	32	0.018	0.012	0.005	0.004	0.014	1.27	0.012	Не вскр.
3—10	0.334	»	0.049	80	0.085	0.028	0.024	0.004	0.530	1.70	0.020	»
17—22	0.822	»	0.044	53	0.371	0.066	0.100	0.008	0.265	1.64	0.082	»
35—40	1.136	»	0.029	42	0.310	0.416	0.042	0.077	0.223	Не опр.	0.423	4.19
85—90	2.100	»	0.012	—	0.392	0.760	0.112	0.048	0.405	—	1.697	6.75
140—145	2.066	»	0.022	—	0.427	0.824	0.167	0.044	0.407	—	1.628	4.70
200—205	0.991	0.001	0.037	—	0.331	0.133	0.020	0.017	0.242	—	0.544	5.44
Грунтовая вода в г/л — 7 м	7.478	Нет	0.268	—	0.504	5.00	0.490	0.241	1.067	—	—	—

10—16 см. Несколько темнее предыдущего. Комковато-зернистый, не вскипает. Суглинистый.

16—22 см. Буро-коричневый, светлее предыдущего, влажный, вскипает очень слабо с 18—19 см.

22—100 см. Желтовато-коричневый суглинок с гумусовыми потеками, влажный.

Выделение сульфатов в виде белых жилочек и точек с 22 до 35 см. Ниже — выделение сульфатов в виде мелких кристалликов грязноватобелого цвета.

Выделение $CaCO_3$ в виде крупных грязноватосерых пятен.

100—150 см. Желто-бурый суглинок, влажный. С 115 см редкие выделения карбонатов кальция в виде трубочек с пустотами внутри.

150—220 см. Желто-бурый, мокрый суглинок, сильно оглеенный. Изредка встречаются друзы мелкокристаллического гипса. Грунтовая вода — 2.4 м.

Анализ водной вытяжки (табл. 46) для этого разреза целиком укладывается в общую картину, нарисованную нами при характеристике солевого профиля сульфатно-хлоридных солонцов. В табл. 47 и 48 даны дополнительно водные вытяжки аналогичных солонцов из других разрезов (№ 125 из Каспийской равнины, № 15 с террасы р. Миус). Изучение состава обменных оснований (проведенное по уксуснокислому методу И. Н. Антипова-Каратаева для карбонатных засоленных почв) показало, что содержание обменного натра выражается в осоложенном верхнем горизонте величиной 8.52 м.-экв., но уже в столбчатом солонцовом горизонте достигает до 12—17 м.-экв., составляя около 25—35% от суммы обменных катионов (табл. 48а).

Таблица 48а

Обменные катионы в сульфатно-хлоридном солонце. Разрез № 17.
(Аналитик Л. Мамаева)

Глубина в см	В %/м.-экв.						
	$Ca^{..}$	$Mg^{..}$	$Na^{.}$	$Ca^{..}$	$Mg^{..}$	$Na^{.}$	Сумма
0—5	0.33	0.19	0.19	16.39	15.48	8.52	40.39
5—10	0.38	0.20	0.28	18.79	16.61	12.36	47.76
10—15	0.27	0.20	0.40	13.50	16.89	17.39	47.78

Для выяснения характера передвижения в почвенном профиле солонцов полуторных окислон, силикатов и др. данные валовых анализов были пересчитаны на безгумусную и бескарбонатную массу.

В случаях гипсоносности вводилась поправка и на гипс. Сопоставлялись три основных горизонта почв: элювиальный — поверхностный, иллювиальный — столбчатый и горизонт материнской породы на глубинах 200 см. При этом было принято допущение, что материнская порода во всех горизонтах однородна и аналогична слою, залегающему на глубине 200 см, условно принятому неизменным. Это допущение имеет, конечно, свои слабые стороны. Водно-аккумулятивное происхождение почвообразующих пород обязательно включает в себя известную неоднородность профиля в механическом и петрографическом составах уже при их накоплении. Сложная история перехода осадочных пород от субаквального режима к субаэральному, накопление солей в различных горизонтах и особенно

поверхностных также делает относительным наше допущение. Работа землероев в последующем также нарушает однородность почвообразующего материала. К числу обстоятельств, осложняющих сопоставление горизонтон, относится, в особенности, неодинаковая карбонатность профиля и сложность ее происхождения. С одной стороны, часть карбонатности была свойственна всей породе, а, с другой, — накопление карбонатов происходит и сейчас как путем поднятия из грунтовых вод, так и путем вмывания в нижние горизонты сверху. Выщелачивание при солонцовом процессе прежде всего захватывает солевые новообразования, в том числе и углекислый кальций. Возникает вопрос о степени правильности и необходимости пересчета на бескарбонатную массу. Ведь этим снижается картина подвижности солей кальция и искусственно усиливается степень выноса других соединений из верхних горизонтов. Поэтому мы считали целесообразным сопоставление горизонтов провести как при расчете на безгумусную и бескарбонатную навеску, так и без него. Все это говорит о том, что на полученные цифровые показатели необходимо смотреть как на относительные, рисующие лишь направление, последовательность и скорость миграции различных соединений.

В солончаковатых сульфатно-хлоридных солонцах, несмотря на то что они представляют лишь начальные стадии процесса, отчетливо проявляются изменения в алюмосиликатных минералах. Данные валового анализа в пересчете на безгумусную и бескарбонатную навеску указывают, что рассоление повлекло для элювиального горизонта относительное накопление Mn, Al, Fe, Ti, Mg и Si. Наибольшему относительному накоплению подверглись MnO(+117%), Al_2O_3(+38%), Fe_2O_3(+28%), меньшему накоплению — TiO_2(+11%), MgO(+2%). Это не значит, что все эти соединения оставались неподвижными, а говорит лишь о том, что скорость их миграции неизмеримо ниже по сравнению с выносом щелочных земель и кальция (—70%) и, поэтому, на данной стадии солонцового процесса, отставая в миграции от других соединений, они задержались в элювиальном горизонте. В особенности относительное накопление сказывается на марганце, алюминии и железе. Титан, магний и кремнекислота выносятся из элювиального горизонта быстрее (табл. 49 и 50).

Общий ряд подвижности рассмотренных соединений в элювиальном горизонте и последовательность их вынесения из него рисуются в следующем восходящем порядке: MnO, Al_2O_3, Fe_2O_3, TiO_2, MgO, SiO_2, CaO.

Обращаясь к иллювиальному горизонту, можно видеть, что по сравнению с породой он также затронут выносом кальция (—64%), намечается как будто и вынос кремнекислоты (—10%). В целом же по сравнению с материнской породой иллювиальный горизонт обогащен Mn, Fe, Al, Mg и Ti. Правда, титан и здесь проявляет меньшую способность к относительному накоплению, уходя, повидимому, глубже. Однако обогащение железом, титаном, магнием, алюминием здесь протекает не только за счет ухода кальция, кремнекислоты и титана, но и за счет вмывания их из элювиального вышележащего горизонта. Если выразить в процентах величины иллювиального горизонта от поверхностного (последняя графа в табл. 50), то можно видеть, что в иллювиальном горизонте накопляется больше всего Mg(+45%), Fe_2O_3(+28%), CaO(+19%), TiO_2(+18%), Al_2O_3(+15%).

Таблица 49

Солончаковатый сульфатно-хлоридный солонец.
Валовой анализ. Разрез № 17.

(Аналитик Н. Королева)

Глубина в см	В % на сухую почву							Потеря при прокаливании	Сумма	Гигроскопическая вода
	SiO_2	$Al_2O_3+P_2O_5$	Fe_2O_3	TiO_2	MnO	CaO	MgO			
0—5	62.62	13 01	6.31	1 07	0 12	2 16	1 96	9 92	97 17	4 97
10—15	58.76	14.60	8.26	1.34	0 12	2.07	2.64	8.76	96.55	9.35
18—23	57.47	15 00	8.11	1.27	0.10	2.94	2.84	7.77	95.49	7.87
25—30	50.65	13.04	7.30	1.26	0.08	9.41	2.72	11.40	95.86	7.35
65—70	47.36	12.18	6.95	1.16	0.08	11.44	2.72	10.13	92.20	8.55
110—115	60.78	9.32	5.52	1.01	0.10	9.94	2.34	9.28	98.29	4.56
210—220	65.22	9.69	5 07	0.99	0 06	7.24	1.96	7 55	97 78	3 72

Анализ вытяжки 20% HCl

Глубина в см	В % на сухую почву								Гигроскопическая вода
	SiO_2	$Al_2O_3+P_2O_5$	Fe_2O_3	TiO_2	MnO	CaO	MgO	SiO_2 в 5% KOH[1]	
0—5	0.04	6.48	5.19	0.18	0.12	0.68	1.68	15.07	7.24
10—15	0.01	9.12	6.33	0.15	0.11	0.67	2.10	19.73	10.02
18—23	0.01	9.24	6.61	0.15	0.10	1.16	2.40	20.10	8.83
25—30	—	7.75	5.89	0.14	0.08	7.30	2.41	18.67	8.06
65—70	0.03	6.42	5.62	0.13	0.07	10.53	2.18	16.71	9.31
110—115	0.03	3.53	4.73	0.13	0.08	7.86	1.91	11.50	5.20
210—220	0.03	4.15	3.83	0.12	0.05	5.95	1.68	10.94	2.98

[1] Здесь и везде в других случаях 5% вытяжка KOH производилась после солянокислой.

Неподвижным остается MnO (относительное уменьшение на 8%) и уносится (а частью относительно уменьшается) SiO_2(—8%).

Участие окислов в формировании иллювиального горизонта, таким образом, рисуется следующим восходящим рядом:

$$MnO,\ SiO_2,\ Al_2O_3,\ CaO,\ TiO_2,\ Fe_2O_3.MgO.$$

Отсюда следует вывод, что иллювиированность солонцового горизонта в наибольшей степени обязана соединениям магния и железа.

Таблица 50

Данные валового анализа горизонтов сульфатно-хлоридного солонца (в пересчете на бескарбонатную и безгумусную массу) (в %). Разрез № 17

Соединения	0—5 см	18—23 см	210—220 см	0—5 в % от 210—220	18—23 в % от 210—220	18—23 в % от 0—5
SiO_2	71.79	65.79	72.95	— 2	— 10	— 8
Al_2O_3	14.91	17.17	10.83	+ 38	+ 58	+ 15
Fe_2O_3	7.23	9.29	5.66	+ 28	+ 64	+ 28
TiO_2	1.23	1.45	1.11	+ 11	+ 31	+ 18
MnO	0.13	0.12	0.06	+117	+100	— 8
CaO	2.45	2.92	8.12	— 70	— 64	+ 19
MgO	2.24	3.25	2.20	+ 2	+ 48	+ 45

Данные солянокислой вытяжки также интересны.

Наиболее доступны соляной кислоте соединения марганца (до 100%); высока растворимость в HCl коагелей железа (до 75%). Большей стойкостью отличаются соединения алюминия (около 50%) и особенно титана. Щелочная вытяжка (после солянокислой) показывает, что SiO_2 участвует в формировании иллювиального горизонта на ряду с Al и Fe, давая ясный максимум в профиле на глубине 18—23 см. Расчет показывает, что для элювиального горизонта отношение между SiO_2 и Al_2O_3, переходящими в HCl-и KOH-вытяжку, занимает среднее место между галоизитовой и пирофиллитовой кислотами (3.3 : 1). Очевидно, здесь имеется их смесь.[1]

Иллювиальные горизонты характеризуются уже возрастанием кремнекислоты. Здесь отношение SiO_2:Al_2O_3 равно 3.6 : 1, т. е. почти совпадает с пирофиллитовой кислотой (4 : 1). Впрочем, по сравнению с породой и это отношение несколько меньше. В породе отношение SiO_2 : Al_2O_3 равно 4.5 : 1. Мы не придаем абсолютного значения этим отношениям и аналогиям с алюмосиликатными минеральными кислотами, выделенными американскими почвоведами. Однако они отчетливо указывают на процесс десиликации верхней части профиля. Вполне возможно, что в иллювиальных горизонтах образуются вторичные силикаты магния.

[1] Американские исследователи почвенных коллоидов (Byers, Alexander, Holmes) допускают существование в почвах алюмокремневых кислот, являющихся продуктами последовательного гидролиза полевых шпатов: $3H_2O.Al_2O_3.6SiO_2$ монтмориллонитовая, $3H_2O.Al_2O_3.4SiO_2$ пирофиллитовая, $3H_2O.Al_2O_3.2SiO_2$ галлоизитовая кислоты, $3H_2O.Al_2O_3.SiO_2$, $3H_2O.Al_2O_3$ латерит.

На территории Советского Союза солончаковатые сульфатно-хлоридные солонцы широко распространены в пониженных, особенно приливанных и приозерных частях Каспийской равнины как в Заволжье, так и на Правобережье Волги. Экспедициями Академии Наук они установлены также на слабо рассеченных и плохо дренированных первых и вторых террасах рек Заволжья (Торгун, Водянка, Челыкла, Солянка, Кушум, Миус, Камышлак и др.). Аналогичные солонцы встречены Р. И. Аболиным и его сотрудниками в дельте Терека, Касумовым — в Азербайджане, Розмаховым — в Присивашье. Нужно полагать, что они будут встречены и в других областях сходного геоморфологического строения (террасы Манычей, Сала, Эмбы, Закаспия и др.). Очевидно, многочисленные «бурые» почвы и солонцевато-солончаковатые сероземы являются почвами этого типа.

2. Хлоридно-сульфатные гипсоносные солончаковатые солонцы

Морфологический профиль этих солонцов выражен более отчетливо. Под рыхлым корковым верхним горизонтом 5—8 см расположен столбчато-призмовидный уплотненный горизонт мощностью в 10—12 см. Ниже он переходит в комковато-зернистый, менее плотный горизонт.

Выделения карбонатов кальция начинаются с нижней части солонцового горизонта червеобразными пятнами и прожилками. Вскипание иногда близко к поверхности, но обычно несколько снижено.

Солонцовый горизонт на глубине 25—30 см переходит в рыхлый, переполненный солями, гипсоносный карбонатный горизонт, границы которого простираются уже до 150—200 см. В этом горизонте обычно аналитически обнаруживается максимум легкорастворимых солей, ниже, к грунтовым водам, постепенно снижающийся. Весь этот горизонт по условиям влажности совпадает с областью испарения притекающих снизу пленочных растворов. В составе солей подавляющую роль играют сульфаты натрия и гипс. Хлориды занимают подчиненное положение. Отношение $Cl' : SO''_4$ в водной вытяжке близко к 1 : 10, 1 : 12. Общая щелочность несколько выше, чем в сульфатно-хлоридных солонцах. Но щелочность от CO''_3 попрежнему крайне редка и для большинства случаев не установлена; вся новообразующаяся сода, встречаясь с гипсом, переходит в углекислый кальций (табл. 51 и 52).

Грунтовые воды под этими солонцами сильно минерализованы и находятся на глубине 4—6—8 м.

В качестве примера солонцов подобного типа приведем описание разреза № 1, заложенного близ с. Джаныбек в Западном Казахстане (Каспийская равнина), Почвенная станция Института почвоведения Академии Наук.

0—3 см. Пористая слоистая корка, уплотнена; светлосерого и к низу коричневатого цвета. Иногда прерывисто вскипает с поверхности.

3—14 см. Плотный, неправильно призмовидный, трещиноватый темнобурый горизонт. Прерывисто и неравномерно вскипает до глубины 7—9 см, ниже — сильнее.

14—22 см. Более светлый и менее плотный, распадается на отдельные комки. Густо покрыт прожилками и точками карбонатов, бурно вскипает в HCl, с 20—25 см появляются точечные и прожилочные выделения сульфатов Ca.

Солончаковатый хлоридно-

Данные анализа водной вытяжки

(Аналитик

Глубина в см	Цвет	Гигроскопическая вода	Сухой остаток	Щелочность		Cl′
				CO''_3	HCO'_3	
0—2	Желтый прозрачный	2.14	0.1943	—	0.0486 / 0.80	0.0088 / 0.25
2—7	»	3.51	0.1859	—	0.0773 / 1.27	0.0179 / 0.50
7—12	»	3.91	0.5356	—	0.1048 / 1.72	0.0575 / 1.62
12—16	Слабожелтый прозрачный	3.76	0.7354	0.0040 / 0.13	0.1096 / 1.80	0.0834 / 2.35
16—21	»	4.31	2.0821	—	0.0638 / 1.05	0.1137 / 3.20
22—27	»	1.80	2.7225	—	0.0382 / 0.63	0.1284 / 3.62
35—40	»	4.01	3.3114	—	0.0558 / 0.91	0.1689 / 4.76
70—75	»	2.79	2.3427	—	0.0282 / 0.46	0.1197 / 3.38
100—105	Бесцветный	2.94	2.061	—	0.0303 / 0.50	0.1022 / 2.88
130—135	»	3.29	1.9864	—	0.0497 / 0.81	0.0958 / 2.70
165—170	»	3.22	1.6768	—	0.0524 / 0.86	0.0804 / 2.27
180—185	»	4.82	2.3348	—	0.0404 / 0.66	0.0567 / 1.60
245—255	»	3.69	2.2402	—	0.0414 / 0.68	0.0790 / 2.23
360—370	»	3.22	1.9853	—	0.0343 / 0.56	0.0596 / 1.68
440—450	»	1.99	1.7690	—	0.0612 / 1.00	0.0516 / 1.46
530—540	»	2.42	1.8796	—	0.0638 / 1.05	0.0445 / 1.26
580—590	»	2.45	0.3193	—	0.0692 / 1.13	0.0356 / 1.00

сульфатный солонец.

Таблица 51

(в %/м.-экв. на сухую почву) Разрез № 1.

Г. Макселюк)

SO''_4	SiO_2	Гумус	R_2O_3	$Ca^{\cdot\cdot}$	$Mg^{\cdot\cdot}$	Na по разности
0.0839 / 1.75	0.0041 / 0.14	0.0183	Нет	0.0084 / 0.42	0.0047 / 0.39	0.046 / 1.99
0.0208 / 0.43	0.0082 / 0.27	0.0124	0.0103	0.0028 / 0.14	0.0010 / 0.08	0.048 / 2.08
0.0909 / 1.89	0.0056 / 0.19	0.0364	0.0093	0.0030 / 0.15	0 0010 / 0.08	0.092 / 4.00
0.2938 / 6.12	0.0125 / 0.42	0.0354	0.0072	0.0050 / 0.25	0.0010 / 0.08	0.228 / 9.94
1.1709 / 24.38	0.0021 / 0.07	0.0399	0.0061	0.0891 / 4.45	0.0227 / 1.87	0.513 / 22.31
1.5947 / 33.20	0.0030 / 0.10	0.0384	0.0052	0.1605 / 8.01	0.0385 / 3.17	0.580 / 25.27
1.8852 / 39.25	0.0094 / 0.31	0.0416	Нет	0.1888 / 9.42	0.0646 / 5.31	0.694 / 30.19
1.4639 / 30.48	0.0060 / 0.20	0.0464	»	0.1082 / 5.40	0 0572 / 4.70	0.555 / 24.12
1.2461 / 25.94	0 0048 / 0.16	0.0340	»	0.0591 / 2.95	0.0522 / 4 29	0.508 / 22.08
1.1635 / 24.22	0.0020 / 0.07	Не опред.	»	0.0306 / 1.53	0.0325 / 2.67	0.541 / 23.53
1.0418 / 21.69	Не опред.	»	Не опред.	0.0163 / 0.81	0.0224 / 1.84	0.510 / 22.17
1.5011 / 31.25	»	»	»	0.2013 / 10.05	0.0468 / 3.85	0.354 / 19.61
1.2999 / 27.06	»	»	»	0.1060 / 5.29	0.0435 / 3.58	0.485 / 21.10
1.2096 / 25.18	»	»	»	0.2293 / 11.44	0 0252 / 2.07	0.326 / 14.21
0.3961 / 8.25	»	»	»	0.0228 / 1.14	0.0097 / 0.80	0.236 / 9.77
0.0445 / 19.56	»	»	»	0.0687 / 3.43	0.0137 / 1.13	0.398 / 17.31
0.1389 / 2.89	»	»	»	0.0123 / 0.61	0.0025 / 0.21	0.096 / 4.20

22—100 см. Рыхлый, переполненный солями желто-бурый горизонт, свежий на ощупь; бурно вскипает с HCl; при высыхании густо покрывается налетом солей. На 57 см обломки раковин.

100—170 см. Более плотный с грязнобелыми пятнами карбонатов, влажный.

170—250 см. Желтобурый влажный суглинок с крупными друзами гипса (на 180 см). Здесь же появляются песчаные линзы и прослойки. Грунтовая вода на глубине 5.5—6 м.

В табл. 51 и 52 приводится анализ водной вытяжки и некоторые другие данные, показывающие солевой профиль гипсоносных хлоридно-сульфатных солонцов. В центральной части Каспийской равнины близ ст. Джаныбек расположен стационар Почвенного института Академии Наук, работающий с 1934 г. над изучением водного и солевого режимов этих солонцов.

Анализ результатов двухлетних наблюдений стационара позволяет сделать следующие выводы.

1. Профиль влажности солончаковатых солонцов распадается на четыре зоны: а) зону поверхностного испарения с резкими колебаниями влажности, обусловленными влиянием атмосферных осадков, глубина от поверхности до 40—50 см; б) зону внутрипочвенного испарения с устойчивой пониженной (относительно более глубоких горизонтов) влажностью, глубина от 30—50 см до 100—150 см; в) зону пленочного транспорта влаги с устойчивым сезонным режимом; г) зону капиллярного поднятия и транспорта влаги от грунтовой воды (табл. 53 и 54).

2. Влажность первой зоны имеет ясную тенденцию сильно снижаться в летние месяцы и повышаться в осенние. Питание этой зоны происходит как за счет атмосферных вод, так и за счет подземной пленочной влаги.

3. Июльское и августовское снижения влажности в ослабленном размере захватывают также вторую и третью зоны профиля.

4. Сопоставление профиля влажности с профилем солей показывает, что каждой зоне влажности соответствуют определенные части профиля солончаковатых солонцов: а) зона поверхностного увлажнения и испарения совпадает с наиболее опресненной осолонцованной частью; б) зона внутрипочвенного испарения совпадает с областью накопления максимума хлоридов и сульфатов, в том числе и гипса; в) зона пленочной подачи влаги совпадает со снижением суммы легкорастворимых солей на глубине ниже 100—150 см; г) зоне капиллярной влажности соответствует в верхней ее части некоторый максимум легкорастворимых солей и первый снизу максимум в распределении гипса (табл. 55).

Такое совпадение профиля влажности с профилем солей не может быть случайным и отражает связь двух основных явлений: с одной стороны, питание профиля пленочными растворами и его засоление, а, с другой,— промывание солей атмосферными осадками и осолонцевание (фиг. 9).

Сезонные наблюдения за режимом солей в течение двух лет отчетливо показывают летнее увеличение хлоридов и сульфатов в верхней части зоны внутрипочвенного испарения (в табл. 55 нами приводятся данные только по Cl).

В осенний и зимний периоды сумма солей опять снижается. Отчетливо прослеживается этот сезонный ритм солей на сумме сульфатов (Na_2SO_4, $MgSO_4$, $CaSO_4$) по SO_4 (табл. 56).

Таблица 52

Солончаковатый хлоридно-сульфатный солонец.

Данные анализа водной вытяжки, гипса, CO_2 карбонатов (в %). Джаныбек. Шурф № 1

Глубина в см	Естеств. влажность	Гигроскопическая вода	Сухой остаток	Щелочность		Cl′	SO_4''	Ca··	Mg··	Na по вычислению	Сумма SO_4 сульфатов	CO_2 по Кнопу
				HCO'_3	CO_3''							
0—5	18.80	3.69	0.984	0.054	Нет	0.034	0.468	0.023	Следы	0.225	0 541	0.98
15—30	12.16	3.51	1.434	0.046	»	0.034	0.78	0.123	0.011	0.250	0.924	1.26
30—45	12.39	3.83	2.576	0.041	»	0.081	1.452	0.210	0.011	0.505	1.824	2.36
60—75	11.30	3.76	2.452	0.034	»	0.096	1.548	0.148	0.013	0.630	1.656	3.27
105—120	10.80	3.22	2.722	0.032	»	0.074	1.464	0.089	0.011	0.640	1.50	3.79
150—170	15.31	3.94	2.418	0.022	»	0.066	1.636	0.231	0.013	0.511	2.556	6.48
170—190	—	5.38	2.742	0.019	»	0.060	1.668	0.230	0.013	0.504	5.04	6.31
190—210	16.59	4.15	2.478	0.022	»	0.064	1.476	0.164	0.013	0.50	2.016	4.43
250—270	18.04	4.17	1.966	0.027	»	0.058	1.116	0.135	0.016	0.410	1.776	4.45
270—290	17.44	3.54	1.062	0.033	»	0.049	0.516	0.025	Следы	0.262	0.672	4.11
340—360	18.32	2.88	0.795	0.093	»	0.038	0.198	0.008	0.016	0.112	0.432	4.91
360—380	19.32	2.97	0.578	0.068	»	0.098	0.252	0.02	Следы	0.03	0.324	4.73
380—400	18.59	2.80	0.359	0.090	»	0.029	1.144	0.006	»	0.10	0.276	4.64
460—480	18.17	3.31	0.40	0.046	»	0.018	0.222	0.034	»	0.08	0.360	5.11
530—550	21.25	3.84	1.464	0.032	»	0.011	0 948	0.264	»	0.18	1.50	5.43
580—600	22.48	5.05	1.527	0.029	»	0.015	0.876	0.273	»	0.112	4.504	4.25
630—650	23.24	3.20	0.912	0.034	»	0.018	0.504	0.133	»	0.10	0.576	4.42
650—670	22.98	2.56	9.464	0.044	»	0.016	0.192	0.029	»	0.076	0.324	4.81
670—690	21.70	2.46	0.412	0.044	»	0.019	0.174	0.025	»	0.074	0.288	3.71
730—750	—	3.0	1.46	0.033	»	0.019	0.804	0.251	»	0.112	1.092	4.18
Грунтовая вода в г/л	—	—	6.644	0.21	»	0.652	4.80	0.485	0.27	1.80	—	—

Таблица 53

Режим влажности в солончаковатом хлоридно-сульфатном солонце (по данным 1934 г.) (в % на сухую почву). Площадка № 3

Глубина в см	11 мая		12 июня		12 июля		12 августа		12 сентября		12 октября	
	скв. 1	скв. 2[1]	скв. 3	скв. 4	скв. 5	скв. 6	скв. 7	скв. 8	скв. 9	скв. 10	скв. 11	скв. 12
0—5	3.5	1.9	13.0	—	1.8	2.8	4.3	7.9	10,12	8.11	17.26	3.58
5—10	—	—	13.1	9 2	7.8	6.7	6.8	9.3	7.35	—	7.4	6.29
15—20	19.6	—	13.8	—	10.7	—	7.8	—	8.0	—	8.72	9.34
25—30	—	20.1	12.5	12.5	16.0	11.8	4.6	11.5	9.4	12.5	10.8	—
35—40	15.6	—	—	—	13.0	—	9.9	—	12.2	—	12.7	—
45—50	13.6	12.2	13.2	12.6	12.8	13.2	11.4	12.8	11.8	12.1	—	11.1
55—60	12.5	11.2	—	—	10.5	—	11.6	—	11.5	—	—	—
65—70	—	11.3	12.4	—	13.1	11.7	12.1	11.9	10.3	8 0	11.9	12.13
75—80	—	11.9	—	12.3	12.3	—	12.6	—	12.7	—	—	—
85—90	12.0	7.1	—	—	11.0	12.5	11.3	16.0	11.4	13.8	13.5	—
95—100	—	12.4	13.3	13.1	12.5	—	12.8	—	16.3	—	—	—
105—110	17.1	14.3	—	—	12.1	16.9	16.9	15.0	15.7	16.5	14.7	12.6
115—120	17.7	20.3	—	18.1	16.3	—	16 9	—	18.2	—	16.3	—
125—130	17.7	19.9	—	—	17.9	13.5	16.7	17.9	—	19.4	16.5	16.3
135—140	17.5	19.8	13.6	20.5	18.2	—	16.4	—	18.9	—	—	—
145—150	16.5	18.7	—	—	16.4	12.0	16.1	18.3	18.6	16.4	—	—
155—160	16.2	18.3	—	17.3	18.6	—	16.6	—	19.9	—	17.9	—
165—170	16.8	19.2	—	—	18.9	18.6	16.6	18.4	19.3	16.7	12.14	16.8
175—180	16.9	19.4	20.3	16.0	18.6	—	15.9	—	19.2	—	18.9	—
185—190	16.5	18.7	—	—	17.0	—	15.7	—	19.6	—	12.7	—
195—200	16.7	16.7	20.2	16.3	15.7	14.5	16.6	19.6	18.8	16.4	16.3	17.6

[1]) В каждый срок взятия образцов закладывались 2 повторных скважины.

Таблица 54

Режим влажности в солончаковатом хлоридно-сульфатном солонце (в %; по данным 1935 г.). Площадка № 3

Глубина в см	10 апреля		10 мая		9 июня		9 августа		14 сентября		8 октября	
	20 [1]	21	22	23	24	25	28	29	30	31	32	33
0—5	8.5	7.0	16.1	6.6	2.9	3.6	4.5	3.3	7.5	5.5	13.9	14.3
5—10	15.4	11.5	15.7	10.0	6.7	6.6	6.2	5 1	6.1	5.9	—	12.8
15—20	17.8	15.5	14.1	—	7.5	—	7.8	—	7.3	—	12.9	—
25—30	15.1	13.8	14.5	13.7	9.9	11.2	9.9	11.0	10.2	—	8.7	9.1
35—40	11.3	12.5	13.4	—	—	—	10.9	—	10.4	—	11.6	—
45—50	11.5	19.7	12.5	13.3	11.6	12.4	11.9	9.4	11.0	7.1	11.2	8.1
55—60	15.2	11.4	13.2	—	11.7	—	13.5	—	11.7	—	8.9	—
65—70	10.2	11.2	12.3	12.1	—	—	13.1	12.2	11.8	13.0	11.3	10.7
75—80	11.9	15.6	13.0	—	10.8	—	—	—	11.5	—	14.4	—
85—90	9.8	12.6	13.7	16.9	10.8	10.5	11.1	11.8	12.5	12.7	11.1	11.4
95—100	15.0	13.2	21.0	—	11.6	—	11.2	—	11.3	—	10.5	—
105—110	—	—	20.0	16.0	—	16.5	19.6	13.1	13.8	13.9	11.1	16.2
115—120	—	—	17.8	—	21.3	—	15.7	—	16.3	—	14.5	—
125—130	—	—	18.8	19.8	18.0	19.9	15.6	18.3	18.0	17.1	—	14.2
135—140	—	—	17.8	—	18.2	—	15.9	—	18.1	—	14.9	—
145—150	—	—	17.8	19.0	18.0	13.5	16.5	18.2	18.1	—	15.0	15.8
155—160	—	—	16.9	—	—	—	16.2	—	17.9	—	16.2	—
165—170	—	—	16.5	19.8	18.5	18.3	16.5	18.3	18.5	18.1	16.0	—
175—180	—	—	16.7	—	—	—	—	—	—	—	18.3	—
185—190	—	—	20.2	—	21.2	—	17.5	—	—	—	—	—
195—200	—	—	16.9	18.7	—	—	18.3	18.8	13.9	18.0	19.0	—

[1] Номера скважин.

Режим Cl в профиле солончакового хлоридно-суль

Глубина в см	Апрель		Май				Июнь				Июль	
	1935 г.		с 1934 г.		с 1935 г.		с 1934 г.		с 1935 г.		с 1934 г.	
	20 [1]	21 [1]	1	2	12	13	3	4	24	25	5	6
0—10	0.078	0.017	0.02	0.02	0.015	0.011	0.016	0.021	0.029	0.024	0.036	0.001
10—20	0.005	—	—	—	0.234	—	—	—	0.029	—	—	—
20—30	0.114	—	—	0.108	0.043	—	0.173	—	0.106	—	0.211	—
30—40	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
40—50	0.182	0.177	0.210	0.223	0.154	—	0.256	0.253	0.168	—	0.287	0.203
50—60	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
60—70	0.270	—	—	0.185	0.129	0.177	0.244	—	0.168	0.20	0.260	—
70—80	—	—	0.216	0.214	—	—	—	—	—	—	—	—
80—90	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.226
90—100	0.273	0.177	—	0.170	0.176	—	0.244	0.110	0.190	—	0.227	—
100—110	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
110—120	—	—	0.259	0.291	—	—	—	—	—	—	—	—
120—130	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
130—140	—	—	—	0.252	—	—	0.293	—	—	—	0.349	—
140—150	—	—	—	—	0.184	0.207	—	—	0.26	0.28	—	—
150—160	—	—	0.223	0.227	—	—	—	—	—	—	—	—
160—170	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
170—180	—	—	—	0.235	—	—	0.283	0.27	—	—	0.279	0.272
180—190	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
190—200	—	—	0.224	0.216	0.142	0.208	0.294	—	0.24	0.16	0.253	—

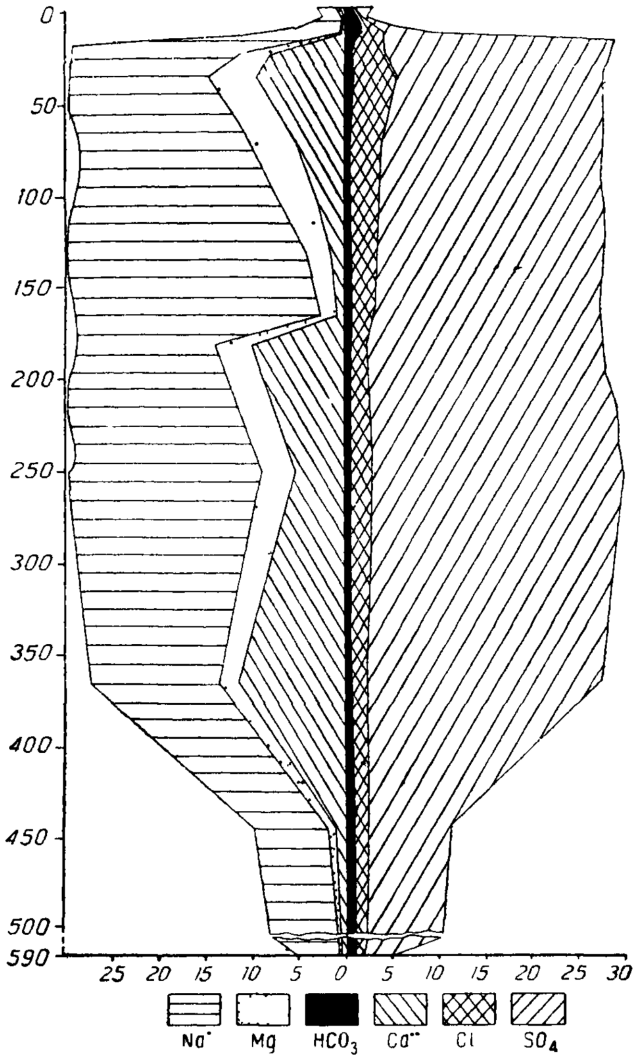
[1] Номера скважин.

Таблица 55

фатного солонца (в %; по данным 1934 и 1935 гг.). Площадка № 3

Июль		Август				Сентябрь				Октябрь			
с 1935 г.		с 1934 г.		с 1935 г.		с 1934 г.		с 1935 г.		с 1934 г.		с 1935 г.	
26	27	7	8	28	29	9	10	30	31	11	12	32	33
0.057	—	Следы	0.01	0.046	0.007	0.011	0.023	0.011	—	0.011	0.015	0.017	0.049
0.057	—	—	—	0.056	—	—	—	0.049	—	—	—	0.024	—
0.11	—	0.015	—	0.147	—	0.092	—	0.11	—	0.064	—	0.059	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
0.159	—	0.126	0.244	0.210	—	0.225	0.223	0.22	—	0.186	0.202	0.16	0.22
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
0.19	—	0.244	—	0.230	0.23	0.220	—	0.25	—	—	—	0.26	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	0.299	—	—	—	0.269	0.26	—	0.194	—	0.25	—
0.21	—	0.244	—	0.26	—	0.294	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	0.315	0.295	—	—	0.311	—	—	—	—	—	—	—
0.71	—	—	—	0.29	0.32	—	0.267	0.35	—	—	0.337	0.35	0.35
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	0.277	—	—	—	0.276	—	—	—	0.211	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
0.54	—	0.262	0.302	0.27	0.29	0.279	0.223	0.29	—	0.183	0.301	0.56	0.30

Перемежаемость этого режима и приводит к относительному обогащению профиля сульфатами и в частности гипсом, при одновременной потере хлоридов.



фиг 9 Солевой профиль хлоридно сульфатного гипсоносного солонца, Джаныбек (Каспийская равнина) Разрез № 1

В результате формируются хлоридно-сульфатные солонцы с выраженным гипсовым горизонтом — свидетелем длительного режима перемежающегося засоления и рассоления.

Величина поднятия солей в упомянутых солонцах состоит из двух слагаемых: деятельности капиллярных растворов и деятельности пленочных растворов Лишь совокупной работой обоих факторов можно объяснить тот факт, что засолением охвачена толща до 6—7 м и что соли дают максимум скопления в верхней части этой толщи.

Приняв капиллярную влажность по влажности вмещающего грунтовую воду горизонта равной 21—22%, можно видеть, что свободное капиллярное поднятие распространяется лишь на высоту 2.0—2 5 м. Выше этого, т. е. от глубины около 5 м и до 50—30 см, соли распространяются вверх пленочными растворами при влажности порядка 15—18%.

Очень близки к настоящему типу солонцов солонцы, описанные С. А. Кудриным и А. Н Розановым на территории совхоза Дельверзин в Средней Азии под названием сероземные солончаковатые солонцы (48).

Грунтовые воды в районе распространения солонцов находятся на глубине до 6 м. Морфология профиля следующая:

0—10 см. Светлосерый, средний суглинистый, плотный, трещиноватый.

11—45 см. Бурый, глинистый, слитный, столбовидно-глыбистый, трещиноватый, к низу рыхлее.

45—80 см. Гипсовый, буроватый, уплотненный.

Таблица 56

Динамика SO''_4 (в %; по данным 1935 г.). Площадка № 3.

Глубина в см	Апрель		Май		Июнь		Июль	Август		Сентябрь	Октябрь	
	20	21[1]	22	23[1]	24	25	26	28	29	30	32	33
0—10	0.088	0.057	0.14	1.89	1.28	1.30	1.26	0.98	0.24	0.22	0.37	0.22
10—20	0.19	—	1.22	—	1.41	—	1.27	0.65	—	0.29	0.63	—
20—30	0.33	—	1.79	—	1.35	—	1.64	1.30	—	0.40	0.71	—
40—50	1.68	1.55	1.58	—	2.50	—	2.22	2.11	—	1.12	1.23	1.83
60—70	1.65	—	2.11	1.92	1.68	1.82	1.50	1.82	1.70	1.01	2.25	—
90—100	1.36	1.05	1.20	—	1.08	—	1.36	0.96	—	1.10	0.96	—
140—150	—	—	2.87	3.16	1.10	1.86	1.15	0.77	1.60	1.16	1.29	1.17
190—200	—	—	1.92	1.24	1.68	1.00	1.29	0.70	0.70	1.66	1.73	1.67

В водной вытяжке имеется характерный для солонцов максимум щелочности на глубине 10 — 30 см—0.12—0.13% HCO'_3. В составе солей преобладают сульфаты, в особенности гипс (табл. 57).

Таблица 57

Солончаковатый гипсоносный хлоридно-сульфатный солонец (в %). Средняя Азия, Дальверзин.

(Данные С. А. Кудрина и А. Н. Розанова)

Глубина в см	Сухой остаток	Щелочность		Cl′	SO''_4	$Ca^{\cdot\cdot}$	$Mg^{\cdot\cdot}$	Гипс в SO_4
		CO''_3	HCO'_3					
0—3	0.189	0.001	0.058	Нет	0.029	0.011	0.003	Не опр.
3—10	0.179	0.006	0.085	»	0.004	0.006	0.002	»
10—25	0.244	0.014	0.131	»	0.006	0.006	0.002	»
22—30	1.194	0.008	0.123	0.014	0.021	0.004	0.007	»
30—45	0.631	0.009	0.090	0.035	0.241	0.212	0.002	»
70—80	3.012	Нет	0.024	0.166	1.856	0.016	0.006	8.91
100—110	2.869	»	0.037	0.412	1.212	0.014	0.013	Не опр.
150—160	1.029	»	0.046	0.202	0.457	0.004	0.005	»
Грунтовая вода в г/л	7.444	0.013	0.250	1.697	2.697	0.072	0.090	»

Попутно отметим, что по этим же данным емкость поглощения названных солонцов невелика (сумма не выше 13.3 м.-экв.); на долю обменного Na приходится в солонцовом горизонте 4.5—5.5 м.-экв., а на долю K — 1.4—1.7 м.-экв. Таким образом щелочи занимают всего 5.9—7.2 м.-экв., или

[1] Вторые колонки цифр для каждого месяца обозначают данные в повторной скважине.

48—25% от суммы. Столь низкая емкость обмена обязана, вероятно, потере коллоидной SiO_2 при рассолении или переходе ее в адсорбционно-*пассивные формы.*

Изучая данные валового анализа и солянокислой вытяжки из наших разрезов, можно установить, что солонцовый процесс вызвал по сравнению с предшествующей стадией дальнейшие изменения в минеральном субстрате (табл. 58 и 59). Помимо интенсивного вынесения CaO выщелачиванием затронуто уже и Fe_2O_3. Кремнекислота в значительной степени утеряла уже способную к миграции часть и оставшийся «инертный» кварц обусловливает относительное накопление SiO_2.

Судя по всему, процесс выщелачивания и осолонцевания сильно задел Al_2O_3, который лишь в небольшом количестве накопляется в верхнем горизонте. MgO устойчиво сохраняет стабильное положение. Наиболее интенсивно накопляются в элювиальном горизонте MnO, P_2O_5, SiO_2.

Общий ряд относительной стойкости и подвижности соединений рисуется в следующем виде:

$$MnO,\ P_2O_5,\ SiO_2,\ TiO_2 = Al_2O_3,\ MgO = Fe_2O_3,\ CaO.$$

В процессе формирования иллювиального горизонта в наиболее выраженной форме приняли участие SiO_2, Al_2O_3 и Fe_2O_3. В очень слабых степенях накопились в иллювиальном горизонте TiO_2 и Fe_2O_3. Подвижность этих соединений можно выразить в следующем восходящем порядке:

$$Fe_2O_3,\ Al_2O_3,\ SiO_2,\ TiO_2,\ MgO.$$

Этот порядок несколько отличается поведением Fe_2O_3 и Al_2O_3, которые при данной обстановке участвуют в формировании иллювиального горизонта слабее, чем ожидалось. Очевидно, причиной этому может быть неоднородность минералов, связывающих Fe, Al, SiO_2, что и влечет их дифференциацию. Отношение Al_2O_3 к SiO_2 в иллювиальном горизонте по данным HCl-и KOH-вытяжки близко к 1 : 5, т. е. занимает промежуточное место между пирофиллитовой и монтмориллонитовой кислотами. В таком же отношении SiO_2 находится и к MgO.

Солончаковатые хлоридно-сульфатные солонцы наиболее широко распространены на повышенных частях Каспийской равнины, на вторых террасах рр. Большой Иргиз, Моча в Заволжье. Они распространены также на террасах Манычей и Присивашья. По нашему мнению, значительная доля солончаковато-солонцеватых сероземов и гипсоносных солончаковатых солонцов Средней Азии относятся также к настоящему типу.

3. Содово-сульфатные солончаковатые солонцы

Более интенсивное или более длительное опреснение хлоридно-сульфатных солончаковатых солонцов и их подстилающих грунтовых вод приводит уже к тому, что хлориды занимают в грунтовых водах подчиненное положение. Даже в горизонтах высыхания капиллярно-пленочных растворов содержание Cl достигает всего 0.05—0.15%. В нижних горизонтах хлориды отсутствуют, либо находятся в виде следов (табл. 60 и 61).

Таблица 58

Солончаковатый хлоридно-сульфатный солонец. Валовой анализ (в % на сухую почву). Разрез № 104. (Аналитик Н. Королева)

Глубина в см	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	P_2O_5	TiO_2	MnO	CaO	MgO	SO_3	Потеря при прокаливании	Сумма	Гигроскопическая вода
0—3	71.08	9.20	5.12	0.16	1.10	0.28	2.58	1.71	0.25	5.53	97.10	2.93
9—14	67.77	10.09	5.12	0.11	1.40	0.28	3.69	1.96	0.25	5.37	96.40	3.79
24—29	65.27	10.16	5.15	0.15	1.30	0.24	4.91	2.26	1.25	5.83	96.52	4.13
65—70	59.43	9.25	4.73	0.12	1.20	0.19	8.83	3.33	1.71	6.52	95.31	3.82
115—120	60.98	8.39	4.73	0.10	0.95	0.14	9.52	2.14	1.24	8.94	97.13	3.30
300—320	62.22	8.26	5.17	0.12	0.98	0.15	8.28	1.69	3.13	6.31	96.31	4.11
540—560	43.27	6.66	4.53	0.10	1.00	0.14	17.12	1.92	15.21	6.38	96.33	8.66

Таблица 59

Анализ вытяжки 20% HCl (в % на сухую почву)

Глубина в см	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	P_2O_5	TiO_2	MnO	CaO	MgO	SO_3	SiO_2 в 5% KOH	Гигроскопическая вода
0—3	0.01	3.64	3.86	0.16	0.11	0.08	1.25	1.38	0.09	10.28	3.01
9—14	0.03	4.70	4.10	0.10	0.14	0.05	2.47	1.56	0.04	12.17	3.97
24—29	0.004	4.70	4.26	0.13	0.09	0.06	3.47	1.90	0.12	12.37	4.58
65—70	0.01	4.24	3.82	0.11	0.09	0.05	7.66	2.05	1.58	10.93	4.07
115—120	0.01	3.76	3.50	0.09	0.09	0.04	8.33	1.77	0.98	10.27	3.63
300—320	0.02	3.92	0.78	0.10	0.10	1.04	7.15	1.84	2.44	10.10	4.42
540—560	0.03	3.38	3.34	0.08	Следы	0.05	7.29	1.38	14.79	10.11	8.95

Таблица 60

Данные анализа водной вытяжки из содово-сульфатного солончаковатого солонца (в %/м.-экв. на сухую почву). Разрез № 41/25 со II террасы р. Моча.

(Почвовед Скрябин)

Глубина в см	Сухой остаток	Щелочность		Cl′	SO''_4	Ca¨	Mg¨	SO_4 гипса	Раств. гумус 0.05 *N* $KMnO_4$	Полуторные окислы	Цвет	Аналитик
		CO''_3	HCO'_3									
0—5	0.130	Нет	0.017 / 0.28	0.007 / 0.20	0.014 / 0.29	Следы	Не опр.	0.048 / 1.0	28	—	Желтоватый, сильно опалесц.	М. М. Абрамова
25—30	2.062	»	0.037 / 0.61	0.022 / 0.62	1.220 / 25.38	0.117 / 5.84	0.078 / 6.41	0.309 / 6.43	99	0.008	Желтый, прозрачный	»
65—70	0.508	0 024 / 0.80	0.132 / 2.16	0.018 / 0.51	0.276 / 5.74	Следы	Не опр.	0.103 / 2.14	25	—	Желтоватый, прозрачный	»
100—165	Не опр.	0.024 / 0.80	0.137 / 2.25	Нет	Нет	Нет	»	Нет	—	—	Бесцветный, прозрачный	»
320—330	»	0 004 / 0.13	0.068 / 1.12	»	»	Слабые следы	»	0 022 / 0.46	—	—	»	»
490—500	0.076	Нет	0.034 / 0.56	0.007 / 0.20	»	Следы	»	0.093 / 1.93	—	—	»	»
670—710	0.082	»	0.046 / 0.75	Нет	Заметные следы	0 007 / 0.35	0.007 / 0.58	0.067 / 1.39	—	—	Бесцветный	Каштан
Грунтовая вода в г/л.	0.516	»	0 405 / 6.64	0.026 / 0.73	0.056 / 1.16	0.057 / 2.84	0.042 / 3.45	—	—	—	»	»

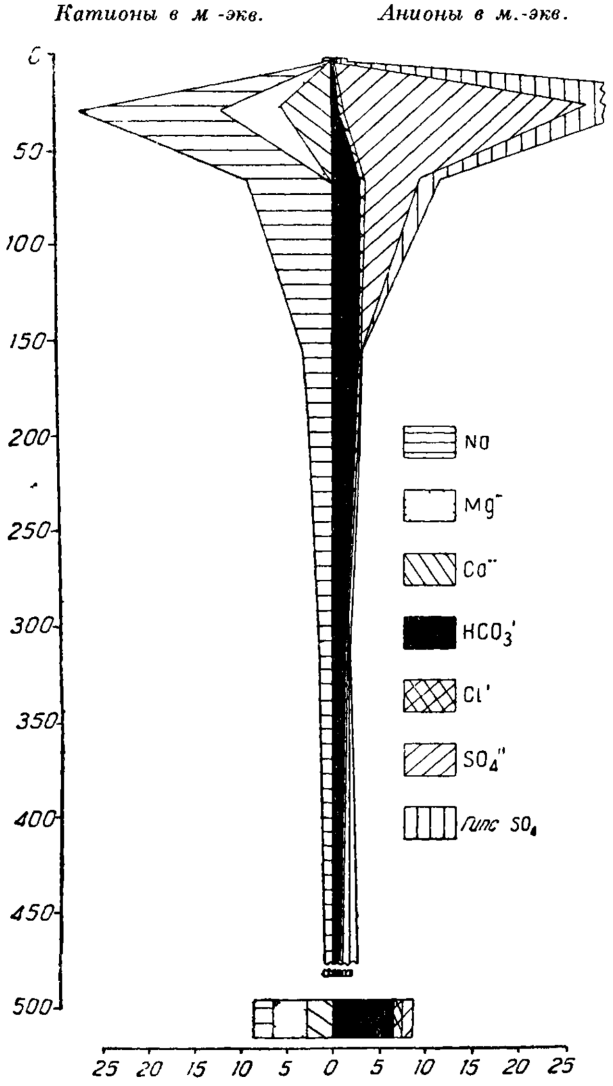
Таблица 61

Данные анализа водной вытяжки из содово-сульфатного солончакового солонца (в %/м.-экв. на сухую почву). Разрез № 50 со II террасы р. Самарки.

(Почвовед Скрябин)

Глубина в см	Сухой остаток	Щелочность		Cl′	SO_4''	$Ca^{\cdot\cdot}$	$Mg^{\cdot\cdot}$	Раствор. гумус в $см^3$ 0.05 *N* $KMnO_4$	SO_4 гипса	Цвет и прозрачность	Аналитик
		CO_3''	HCO_3'								
0—5	0.097	Нет	0.032 / 0.52	0.012 / 0.34	Нет	Нет	Нет	40	Нет	Желтый, прозрачный	М. М. Абрамова
11—16	0.354	»	0.085 / 1.39	0.060 / 1.69	Слабые следы	»	»	265	Следы	»	»
35—40	0.922	0.006 / 0.20	0.105 / 1.72	0.150 / 4.23	0.314 / 6.53	0.009 / 0.45	0.012 / 0.99	94	0.124 / 2.58	Желтый, прозрачный	Каштан
95—100	0.146	0.005 / 0.17	0.095 / 1.56	0.023 / 0.65	Следы	Следы	Не опр.	Не опр.	Нет	Бесцветный, провзрачный	»
195—200	0.060	Нет	0.034 / 0.56	0.008 / 0.23	Нет	0.009 / 0.45	Следы	»	0.025 / 0.52	»	»
280—290	0.044	»	0.031 / 0.51	0.006 / 0.17	»	0.007 / 0.35	Следы	»	0.034 / 0.71	»	»
360—370	0.054	»	0.034 / 0.56	0.007 / 0.20	»	0.009 / 0.45	0.007 / 0.58	»	0.031 / 0.64	»	»

Невелико и количество сульфатов. В грунтовых водах начинают преобладать не хлориды или сульфаты, а карбонаты с участием карбонатов щелочей. Все же сульфаты в профиле преобладают над другими солями и обнаруживают в подсолонцовых горизонтах ясную аккумуляцию, иногда даже заметных размеров (до 0.5—1.0% SO''_4), с морфологически видимыми выделениями гипса.



Фиг. 10. Солевой профиль содово-сульфатного солонца, II терраса р. Моча (Заволжье). Разрез № 41/25

Чаще, однако, гипс исчезает полностью. Зато в профиле этих солонцов отчетливо выделяется известково-карбонатный горизонт, который, как это следует из всего хода эволюции солончаковатых солонцов, и является продуктом замещения гипса в процессе нисходящих реакций сода + + гипс, с попутным образованием сернокислого натрия.

Поскольку гипс в профиле отсутствует или находится лишь в незначительных количествах, новообразующаяся сода может с этого момента оставаться в свободном состоянии.

Это проявляется уже в том, что общая щелочность достигает до 0.10—1.15% HCO'_3 и, кроме того, обычно обнаруживается небольшое количество щелочности от CO''_3 (табл. 60, 61 и фиг. 10).

Общий тип солевого профиля, в котором резко преобладают сульфаты над хлоридами и вместе с тем заметное участие играет сода, позволяет говорить о том, что существует еще одна стадия солончаковатых солонцов — содово-сульфатных.

В Заволжье, по нашим наблюдениям и материалам, собранным почвоведом Скрябиным (104), солончаковатые содово-сульфатные солонцы раз-

виты в долинах рр. Большой Иргиз, Глушица, Моча, Самарка (в южной части течения).

Ниже приводится извлечение из описания (почвовед Скрябин) морфологического профиля солонца данного типа.

Разрез № 50 заложен на первой террасе р. Самарки близ поселка Спиридоновка.

0—11 см. Рыхловатый, гумифицированный горизонт.

11—35 см. Столбчатый, хорошо выраженный, плотный, вскипание с 22 см.

35—58 см. Призмовидный, уплотненный.

С 58 см и ниже однообразный, буроватый тяжелый суглинок. Выделения $CaCO_3$ с 65 по 145 см, выделения $CaSO_4$ не обнаружены; грунтовая вода с 320 см, минерализованность довольно слабая.

Водные вытяжки и определения SO_4 гипса, произведенные для солонцов содово-сульфатного типа с долины р. Моча (№ 41/25) и севернее с долины р. Самарки (№ 50) приведены в табл. 60 и 61.

Солонец с долины р. Моча больше содержит сульфатов и особенно гипса, а солонец с долины р. Самарки, наоборот, отличается исчезновением гипса.

В последнем возрастает количество воднорастворимого гумуса.

Специфический для солончаковатых солонцов максимум солей в подсолонцовых горизонтах весьма отчетливо прослеживается и здесь. Таким образом общая эволюция солевого профиля при длительной перемежаемости засоления и рассоления на фоне преобладания опреснения привела здесь также к максимальному насыщению солонцового профиля и к максимальным величинам щелочности (фиг. 10).

Наибольшего выражения все эти признаки достигают у сульфатно-содовых и содовых солонцов.

4. Содовые солонцы

Длительное и интенсивное опреснение грунтов и грунтовых вод приводит в конечном счете к выносу хлоридов, исчезновению гипса в процессе его взаимодействия с новообразующей содой и накоплению больших количеств углекислого кальция. Грунтовые воды приобретают характер щелочных, с примесью сульфатов натрия как спутника реакции соды с гипсом.

Морфологически эта стадия солонцов характеризуется сравнительно темной окраской верхних горизонтов, столбчато-призматическим или глыбисто-призмовидным строением солонцового горизонта *B* (20—25 см), в верхней части которого часто отчетливо выражено осолодение в виде серой присыпки, иногда же столбчатый горизонт начинает сплываться и исчезать совсем. Вскипание с HCl иногда опущено до нижней границы солонцового горизонта (40—50 см), но обычно наблюдается с поверхности. Однако это последнее связано не с углекислым кальцием, а с накоплением свободной соды близ поверхности. Вскипание от HCl в случае присутствия соды отличается «пенистым» и сравнительно медленным характером.

Горизонт выделений карбонатов в содовых солонцах выражен отчетливо. Гипс замещен карбонатами и в профиле обычно отсутствует, либо прослеживается лишь в виде очень слабых выделений.

Исследование водных вытяжек из содовых солонцов Куйбышевского Заволжья, Западной Сибири, Венгрии показывает развитие в них очень высокой общей щелочности до 0.4—0.5% HCO'_3 и, что особенно важно, частое накопление нормальных карбонатов в количестве до 0.1—0.2% CO''_3.

При этом хлориды находятся лишь в виде следов или выражаются в сотых долях. Сульфаты же обычно содержатся в количестве до 0.1—0.2% SO''_4.

Но в профиле распределения хлоридов и сульфатов всегда наблюдается некоторый максимум их на глубине 40—60 см от поверхности. Этот максимум совпадает чаще всего и с максимумом профиля щелочности (соды). Именно в таком типе профиля солей проявляется солончаковатость содовых солонцов. Грунтовые воды, в составе которых преобладает сода, находятся на глубине 2—4 м и оказывают засоляющее влияние на весь профиль солонца, способствуя максимальному вытеснению обменного Са. Профиль солей и влажности показывает, что капиллярные растворы подымаются на высоту до 2.5—3.0 м, а пленочные, сверх того, на высоту 1.0 м.

Таким образом общая высота поднятия солей равняется приблизительно 4 м. Все это позволяет считать правильным отнесение содовых солонцов этого типа к ряду солончаковатых.

Ниже в качестве примера приводится описание разреза № 26, заложенного близ с. Георгиевки на террасе р. Кинель в Куйбышевском крае (описание Г. И. Григорьева, 105).

Растительный покров (сильно изреженный и угнетенного состояния): *Kochia*, *Festuca*.

Поверхность почвы покрыта сетью трещин.

0—2 см. Светлосерая, рыхлая, слоистая корочка.

2—10 см. Интенсивно черный, влажный, очень вязкий. По окраске и консистенции сходен с сапожной ваксой. При высыхании дает паркетообразные трещины. В срезах блестящий, глянцеватый. Прерывистое вскипание начинается с 8 см.

10—35 см. Темнобурый, плотный, распадается на плитки. Разбит на мелкие комочки. Сильное вскипание с 13—14 см. При высыхании заметно светлеет, приобретает сероватый оттенок.

35—50 см. Светлее предыдущего, с желтовато-бурыми пятнами. Плотный, вскипает бурно. Структура комковато-зернистая.

На глубине 40—60 см редкие мазки карбонатов. Отдельные пятна гумуса доходят до 90 см.

50—150 см. Желто-бурый суглинок; на глубине 145—150 см сильно опесчаненная прослойка, влажная. Вскипание сильное.

150—155 см. Желто-бурый суглинок. Вскипание сильное.

155—190 см. Сильно опесчаненная прослойка, влажная.

Ниже 190 см. Желто-бурый влажный суглинок.

Грунтовая вода на глубине 3.7 м — в песчаном слое.

В сухом состоянии вязкость солонцового горизонта сменяется его исключительной плотностью. Это очень хорошо можно видеть из описания

разреза № 43, заложенного на третьей террасе р. Самарки близ устья р. Кинель, в блюдце глубиной около 4 см при ширине 10 и длине 30 м (описание В. Козлова и Т. Сарымсакова, 106).

0—5 см. Светлосерый, пылевато-слоистый, рыхлый, опесчаненный, легкосуглинистый.

5—18 см. Темносерый, глыбистый, очень плотный, глинистый.

18—35 см. Темносерый с легким буроватым оттенком, зернистый, плотный, глинистый. С 25 по 55 см слабозаметные (серовато-белые) широкие прожилки карбонатов.

35—45 см. То же. Мелкокомковатый. На темносером фоне резко выделяются тонкие белые корешки. Глинистый.

45—55 см. То же, но серый.

55—60 см. Переходный. По белесоватому бурому фону гумусовые затеки. Плотный, комковатый, глинистый. Призмовидные вертикальные удлиненные комки.

60—80 см. Белесовато-бурый с черными пятнами кротовин. Белесоватость от расплывчатых пятен карбонатов. Комковатый, глинистый.

80—105 см. Бурый, глинистый, плотный, комковатый.

105—200 см. Бурый, суглинистый, менее плотный (уплотненный), комковатая структура выражена слабо.

200—250 см. Бурый суглинок, сырой, с 310 см — мокрый.

Вскипание слабое с 22 см, бурное с 38 см. Выделения карбонатов с 25 см; гипс а нет. Уровень грунтовых вод — с 310 см.

Как видно из анализа водных вытяжек, приведенных в табл. 62, 63 и 64, содовые солонцы и грунтовые воды под ними характеризуются лишь ничтожным участием хлоридов (фиг. 11, стр. 140).

Сульфаты натрия дают ясный максимум в солонцовых и подсолонцовых горизонтах. Здесь же наибольших величин достигает и щелочность (0.549% HCO'_3).

При глубине грунтовых вод 370—380 см высота поднятия солей может быть определена в 3.9—4.0 м, слагаясь из 3 м капиллярной и 1 м пленочной воды.

Сопоставление приведенной вытяжки с вытяжкой из сульфатно-хлоридных солонцов показывает, что общее количество водорастворимой SiO_2 в содовых солонцах больше (исключая самой поверхности почвы). Оно достигает 0.03% SiO_2 в среднем, доходя в наиболее богатых содой горизонтах до 0.047%, а в разрезах № 19 и 20 до колоссальной для почв величины — 0.116—0.258%. Несомненно, эта кремнекислота связана с натрием и участвует в щелочности, определяемой титрованием.

В этих же горизонтах высокой щелочности растворимый гумус достигает значительных величин (до 0.1%) и, очевидно, также является источником титровальной щелочности.

В относительно более подвижное состояние в этих солонцах перешли и полуторные окислы. Их содержание в водных вытяжках из наиболее солонцеватых поверхностных горизонтов выражается не в третьем знаке, как это характерно для солонцов предшествовавших форм, а величинами 0.01—0.03—0.05% R_2O_3.

В Заволжье содовые солонцы расположены, главным образом, в северных, более увлажняемых районах на сильно и давно дренированных третьих и вторых террасах рр. Самарки, Кинеля, Кутулука и др. На этих же

Содовый солонец. Данные анализа гипса, pH, CO_2 и водной

(Аналитики Т. Гевельсон

Глубина в см	Гигроскопическая вода	Щелочность		Cl′	SO_4''	SiO_2	Гумус
		CO''_3	HCO_3'				
0—3	3.15	Не опред.	0.3660 / 5.60	Не опред.	0.0377 / 0.78	0.0297 / 0.99	0.005
5—10	4.43	»	0.4490 / 7.19	»	0.1321 / 2.75	0.0478 / 1.59	0.012
10—15	4.78	»	0.3050 / 4.50	»	0.1204 / 2.51	0.0273 / 0.91	0.023
20—25	4.63	»	0.5490 / 9.00	»	0.0642 / 1.34	0.0260 / 0.87	0.012
30—35	4.52	»	0.4697 / 7.70	»	0.0527 / 1.10	0.0262 / 0.87	0.012
45—50	3.64	»	0.4270 / 7.00	»	0.0077 / 0.16	0.0092 / 0.31	0.008
60—65	2.66	0.0260 / 0.87	0.2145 / 3.52	0.0054 / 0.15	0.0318 / 0.66	0.0065 / 0.22	0.002
75—80	3.11	0.0208 / 0.69	0.1633 / 2.68	0.0043 / 0.12	0.0627 / 1.30	0.0103 / 0.34	0.009
105—110	2.57	0.0065 / 0.22	0.1147 / 1.88	0.0045 / 0.13	0.0237 / 0.49	0.0257 / 0.86	Нет
145—150	1.28	—	0.0742 / 1.22	0.0023 / 0.06	0.0023 / 0.05	Не опред.	»
195—200	2.50	—	0.0647 / 1.06	0.0027 / 0.08	0.0042 / 0.09	»	»
250—260	2.00	—	0.0647 / 1.06	0.0024 / 0.07	0.0011 / 0.02	»	»
300—320	2.36	—	0.0730 / 1.20	0.0021 / 0.06	0.0038 / 0.08	»	»
360—370	2.43	—	0.0685 / 1.12	0.0017 / 0.05	0.0042 / 0.09	»	»
Грунтовая вода в г/л		0.0690	0.4680 / 7.67	0.0040 / 0.11	Не опред.	0.0030	Не опред.

[1] Здесь и ниже Na' высчитан по разности, т. е. со включением K.

Таблица 62

вытяжки (в %/м.-экв. на сухую почву). II терраса р. Кинель. Разрез № 26.
и Г. Максимюк)

Сумма полуторных окислов	$Ca^{\cdot\cdot}$	$Mg^{\cdot\cdot}$	$Na^{\cdot}$	SO_4 гипса	pH	CO_2
0.0070	0.0059 / 0.29	0.0031 / 0.25	0.0032 / 0.14	0.0066	9.33	0.027
0.0004	0.0233 / 1.16	0.0084 / 0.69	0.027 / 1.19	0.0156	9.39	0.22
0.0067	0.0368 / 1.84	0.0101 / 0.83	0.0518 / 2.25	0.1235	9.12	0.31
0.0054	0.0218 / 1.09	0.0064 / 0.53	0.0790 / 3.43	0.115	9.60	0.36
0.0013	0.0115 / 0.57	0.0051 / 0.42	0.1444 / 6.28	0.0214	Не опред.	Не опред.
0.0096	0.0041 / 0.20	0.0037 / 0.30	—	0.0494	»	»
0.0002	0.0026 / 0.13	0.0022 / 0.18	0.924 [1] / 4.02	0.0329	»	»
0.0045	0.0025 / 0.12	0.0028 / 0.23	0.0862 / 4.75	0.0685	»	»
0.0100	0.0015 / 0.07	0.0032 / 0.26	0.050 / 2.17	0.0230	»	»
Не опред.	0.0062 / 0.31	0.0044 / 0.36	0.015 / 0.66	0.0115	»	»
»	0.0094 / 0.47	0.0060 / 0.49	0.006 / 0.27	0.0181	»	3.30
»	0.0099 / 0.49	0.0057 / 0.25	0.009 / 0.41	0.0082	»	Не опред.
»	0.0096 / 0.48	0.0057 / 0.47	0.009 / 0.39	0.0132	»	»
»	0.0104 / 0.52	0.0043 / 0.35	0.009 / 0.39	0.0165	»	»
»	0.0378 / 1.89	0.0247 / 2.03				

Таблица 63

Содовый солонец.

Данные анализа гипса, pH, CO_2 и водной вытяжки (в %/м.-экв. на сухую почву). Разрез № 20.
(Аналитики Т. Гевельсон и Г. Максимюк)

Глубина в см	Гигроскопическая вода	Щелочность		Cl′	SO_4''	SiO_2	Гумус	Сумма полуторных окислов	$Ca^{\cdot\cdot}$	$Mg^{\cdot\cdot}$	$Na^{\cdot} + K^{\cdot}$ по разности	SO_4 гипса	pH
		CO_3''	HCO_3'										
0—5	2.35	Нет	0.0419 / 0.71	0.0032 / 0.09	0.0518 / 1.08	0.0194 / 0.65	0.0249	Нет	0.0080 / 0.40	0.0030 / 0.25	0.028 / 1.23	0.0136	7.93
5—10	4.83	Невозможно определить из-за окрашенности	0.0422 / 0.69	Не опр.	0.0400 / 0.83	0.2589 / 8.62	0.0909	0.0530	0.0080 / 0.40	0.0049 / 0.40	0.016 / 0.72[1]	0.0821	8.24
12—17	5.24	»	0.2318 / 3.80	»	0.0713 / 1.48	0.0144 / 0.48	0.1226	0.0184	0.0051 / 0.25	0.0038 / 0.31	0.108 / 4.72[1]	Не опр.	8.24
20—25	4.65	»	0.2318 / 3.80	»	0.0704 / 1.47	0.0099 / 0.33	0.1058	0.0114	0.0036 / 0.18	0.0040 / 0.33	0.109 / 4.76[1]	0.0238	8.45
30—35	4.29	»	0.2684 / 4.40	»	0.0211 / 0.44	0.0166 / 0.55	0.0544	0.0126	0.0019 / 0.09	0.0045 / 0.37	0.101 / 4.38[1]	0.1421	8.86
40—45	4.56	»	0.2318 / 3.80	»	0.0250 / 0.52	0.0055 / 0.18	0.0271	0.0068	0.0029 / 0.14	0.0028 / 0.23	0.091 / 3.95[1]	0.0445	—
50—55	3.62	0.0336 / 1.12	0.1741 / 2.85	0.0027 / 0.08	0.0205 / 0.43	0.0072 / 0.24	0.0170	0.0021	0.0032 / 0.16	0.0026 / 0.21	0.069 / 2.99	0.0237	—

60—65	3.38	0.0349 / 1.16	0.1465 / 2.40	0.0029 / 0.08	0.0112 / 0.23	0.0082 / 0.27	Нет	0.0082	0.0034 / 0.17	0.0035 / 0.29	0.052 / 2.25	0.0127	—
70—75	2.55	0.0040 / 0.20	0.1238 / 2.03	0.0089 / 0.25	0.0087 / 0.18	0.0054 / 0.18	»	0.0081	0.0042 / 0.21	0.0050 / 0.41	0.042 / 1.84	0.0118	—
90—95	2.98	0.0066 / 0.22	0.0859 / 1.41	0.0014 / 0.04	0.0045 / 0.09	0.0051 / 0.17	»	Нет	0.0028 / 0.14	0.0042 / 0.35	0.024 / 1.05	Не опред.	—
120—125	3.24	—	0.0673 / 1.10	0.0022 / 0.06	0.0040 / 0.08	0.0046 / 0.15	»	»	0.0044 / 0.22	0.0061 / 0.50	0.012 / 0.52	0.0102	—
150—155	2.92	—	0.0490 / 0.80	0.0041 / 0.12	0.0036 / 0.07	Не опред.	Не опред.	Не опред.	0.0046 / 0.23	0.0052 / 0.43	0.008 / 0.33	0.0424	—
195—200	2.89	—	0.0477 / 0.78	0.0039 / 0.11	0.0030 / 0.06	»	»	»	0.0032 / 0.16	0.0037 / 0.30	0.011 / 0.49	0.0644	—
240—250	2.28	—	0.0710 / 1.16	0.0037 / 0.10	0.0059 / 0.12	»	»	»	0.0095 / 0.47	0.0110 / 0.90	0.0002 / 0.01	0.0133	—
310—320	2.97	—	0.0672 / 1.10	0.0031 / 0.10	0.0027 / 0.06	»	»	»	0.0074 / 0.37	0.0069 / 0.57	0.007 / 0.32	0.0415	—
380—390	1.79	—	0.0595 / 0.98	0.0057 / 0.16	0.0031 / 0.06	»	»	»	0.0082 / 0.41	0.0066 / 0.64	0.003 / 0.15	0.0235	—
410—420	2.15	—	0.0633 / 1.04	0.0062 / 0.17	0.0027 / 0.06	»	»	»	0.0094 / 0.47	0.0082 / 0.77	0.001 / 0.03	0.0453	—
Грунтовая вода в г/л		0.0240	0.4800 / 7.87	0.0080 / 0.23	Не опред.	0.0065 / 0.22	»	»	0.0480 / 2.40	0.0426 / 3.55	—	—	—

[1] Здесь содержание Na· подсчитано без учета Cl′.

широтах они встречаются и на Правобережье Волги. Содовые солонцы очень широко распространены в Южном Забайкалье (Прасолов), в Кулундинской степи (Иванова), Венгерскойнизменности(Treitz, 'Sigmond), на террасах р. Лены (Красюк), Лабы, Кубани, Днепра. Они описаны Kelley

Таблица 64

Содовые солонцы. Данные анализа водной вытяжки и гипса (в %)

Глубина в см	Сухой остаток	Щелочность CO_3''	Щелочность HCO_3'	Окисляемость в см³ 0.05 N $KMnO_4$	Cl'	SO_4''	SO_4 гипса	$Ca^{\cdot\cdot}$	$Mg^{\cdot\cdot}$	CO_2
Разрез № 61, II терраса р. Кутулук										
0—3	0.248	0.014	0.080	82	Следы	Следы	Не обн.	Следы	Следы	Не определялось
5—10	0.312	0.042	0.195	200	0.015	»	»	»	»	
25—30	0.764	0.126	0.535	205	0.067	0.074	0.07	Не обн.	»	
75—80	0.154	0.009	0.112	14	0.087	Следы	0.02	»	»	
110—120	Не опр.	Не обн.	0.058	8	Не обн.	Не обн.	Следы	»	»	
170—175	»	»	0.041	8	»	»	»	»	»	
240—250	0.078	»	0.034	18	»	Следы	Не обн.	»	»	
С 260 см грунтовая вода в г/л	0.078	»	0.305	—	0.014	0.156	»	»	»	
Разрез № 43, III терраса р. Самарки										
0—5	0.276	Не обн.	0.046	280.0	0.03	0.02	Не обн.	Следы	Следы	Не обн.
5—10	0.439	»	0.110	450.0	Следы	0.03	0.06	»	»	»
10—15	0.619	»	0.170	620.0	0.05	0.10	»	0.01	0.01	»
25—30	1.054	»	0.366	630.0	0.05	0.30	—	0.01	0.01	1.17
30—35	1.158	»	0.390	710.0	0.07	0.26	2.90	0.01	0.01	0.76
35—40	1.076	»	0.403	490.0	0.07	0.24	—	0.01	0.01	0.87
40—45	0.927	»	0.366	480.0	Следы	0.18	0.18	0.01	0.01	0.84
50—55	0.765	»	0.342	400.0	»	0.14	—	0.01	0.01	1.68
70—75	0.306	»	0.244	—	»	0.04	—	0.01	Следы	6.76
95—100	0.220	»	0.195	—	»	0.01	0.02	0.01	»	7.02
175—180	0.094	»	0.078	—	»	0.01	0.02	0.01	»	4.96
340—350	0.076	»	0.056	—	»	0.01	0.03	0.01	»	3.88

также в США. Исследования Красюка в Якутии, Ивановой, Герасимова и Мичурина в Кулундинской степи показывают, что содовые солонцы Куйбышевского Заволжья очень к ним близки и генетически общи (23).

В табл. 65 приводятся данные анализа водной вытяжки из содовых солонцов Якутии и Кулунды.

Почти аналогичные содовые солонцы установлены Л. И. Прасоловым в Южном Забайкалье. Замечательно, однако, что засоленные почвы в Забайкалье, в том числе и содовые солонцы, распространены в области островной «вечной» мерзлоты. Нижняя часть профиля засоленных почв часто переходит в мерзлый грунт (191).

Таблица 65

Данные анализа водных вытяжек из содовых солонцов Якутии и Кулунды (в %)

№ разрезов и географический пункт	Глубина в см	Сухой остаток	Прокаленный остаток	Щелочность			Cl′	SO_4''	Ca··	Mg··
				HCO_3'	CO_3''	Na_2CO				
Разрез № 31, Г. О. II терраса р. Лены близ с. Кардем (данные А. А. Красюк)	5—15	0.127	0.056	0.031	0	0.088	0.001	—	0.006	0.002
	20—30	0.624	0.483	0.051	Следы	0.065	0.000	0.292	0.009	0.022
	40—50	0.548	0.437	0.148	0.019	0.151	0.001	0.144	0.026	0.008
	90—100	0.437	0.315	0.055	Следы	0.072	0.064	0.084	0.014	0.015
Разрез № 171. Кулундинская степь, частный водораздел между озерами (данные Е. Н. Ивановой)	0—4	0.107	0.076	0.034	0 0	0.006	0.020	0.134	Следы	Не опред.
	10—18	Не опред.	Не опред.	0.259	0.043	0.001	0.045	Не обн.	0.008	0.004
	18—28	»	»	0.256	0.060	0.000	0.099	»	Нет	Не опред.
	28—38	»	»	0.254	0.044	0.015	0.120	Следы	»	»
	220	0.128	0.114	0.063	0.0	0.010	0.022	»	»	»
	Грунтовая вода в г/л	Не опред.	4.826	0.773	0.0	Не опред.	0.583	0.181	0.340	0.331

Ниже мы приводим заимствованный из монографии Л. И. Прасолова «Южное Забайкалье» анализ водной вытяжки из солонца, относимого нами к содовому (табл. 66).

Таблица 66

Данные анализа водной вытяжки из содового солонца Южного Забайкалья (в %).

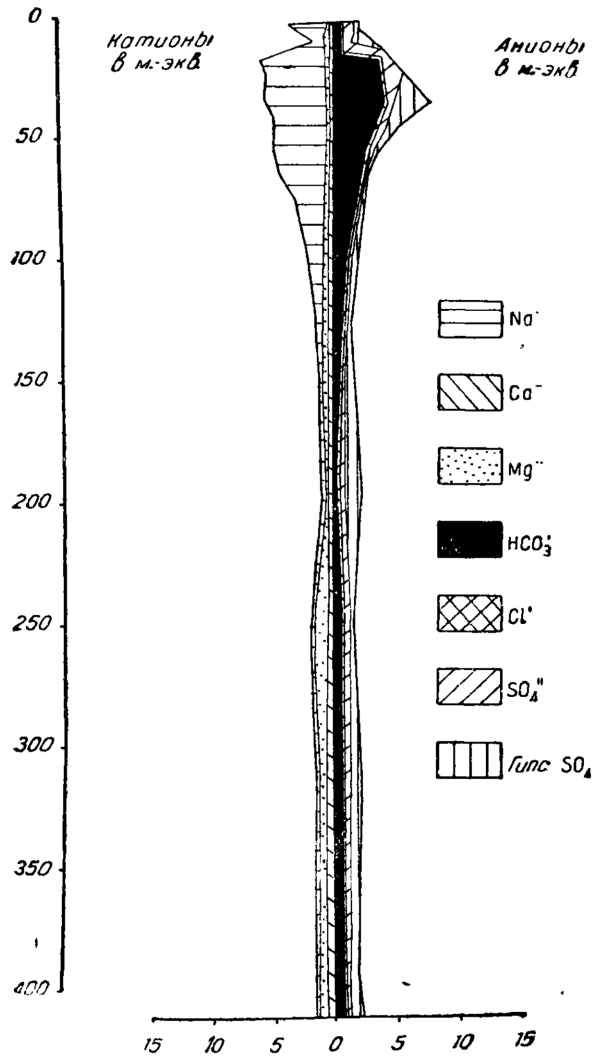
(Материалы Л. И. Прасолова)

Глубина в см	Сухой остаток	Щелочность			Растворимый гумус	SO_3	Cl
		общая	$NaHCO_3$	Na_2CO_3			
0—4	0.064	0.014	0.006	Нет	0.022	0.002	0.003
11—17	1.176	Не опред.	Не опред.	»	0.293	0.002	0.003
17—24	1.086	0.660	»	0.026	0.217	0.091	0.003
24—40	0.562	0.430	»	Нет	0.085	0.026	0.003
50—60	0.208	0.174	»	0.027	Следы	0.006	0.003
160—170	0.070	0.057	0.012	Нет	0.004	Следы	Следы

Хотя содовые солонцы географически встречаются преимущественно среди областей черноземных почв («черноземные солонцы»), они могут в условиях хорошего дренажа и промывания возникать и в других условиях. В частности, содовые солонцы встречаются в Средней Азии и Казахстане на подгорных дренированных равнинах.

В качестве примера приведем анализ водной вытяжки из содового солонца разреза № 195, заложенного и описанного почвоведом М. М. Мозыро в 1935 г. (107).

Щелочность в этих содовых солонцах (табл. 67) несколько меньше, чем в Куйбышевском крае или Западной Сибири и Забайкалье, но все же она высока и значительно превышает пределы токсичности для культурных растений.



Фиг. 11. Солевой профиль содового солонца; III терраса р. Самарки. Разреза № 43

Плотность и столбчатость выражены очень хорошо на глубинах 10—30 см.

В табл. 68, 69 и 70 приводятся результаты анализа валового состава и солянокислой вытяжки уже рассмотренного разреза № 26.

К оценке процессов, протекающих в настоящем солонце, подойдем так же, как и в предшествующих случаях, приняв горизонт 195—200 см как неизменный.

Наиболее «инертным» и относительно накопляющимся в солонце является марганец (увеличение на 22%) и затем кремнезем (увеличение на 16%).

В отношении всех остальных элементов в элювиальном горизонте 0—3 см наметился вынос: слабее всего выщелочен Al_2O_3 (—20%), несколько больше Fe_2O_3 (—32%) и, наконец, весьма значительные количества вынесены MgO (—59%) и TiO_2 (—64%). Как и в предшествовавших случаях, CaO утрачен в максимальной степени (—69%).

Общий порядок подвижности элементов почти тот же, что был установлен раньше; его можно выразить в виде следующего ряда восходящего выноса из верхнего горизонта профиля:

$$MnO,\ SiO_2,\ Al_2O_3,\ Fe_2O_3,\ MgO,\ TiO_2,\ CaO.$$

Кремнекислота, слагаясь из двух различных соединений — кварца и способных к гидролизу алюмосиликатных минералов, в данном случае

в основном представлена кварцем и поэтому также накопляется в остаточных продуктах. В ранние периоды солонцового процесса, когда сили-

Таблица 67

Солонец содовый. Казахстан.
Анализ водной вытяжки (в %). (Данные М. Мозыро)

Глубина в см	Сухой остаток	Щелочность			Cl′	SO_4''	$Ca^{\cdot\cdot}$	$Mg^{\cdot\cdot}$	SO_4 гипса
		нормальных карбонатов	общая в HCO'_3	двуугл. карбонатов в CO_3''					
0—5	0.17	—	0.05	0.04	—	0.03	0.02	0.01	—
10—20	0.50	0.05	0.14	0.12	0.016	0.08	0.02	0.01	—
25—32	0.73	0.10	0.22	0.21	0.018	0.21	0.01	Следы	—
50—55	0.78	0 11	0.24	0.21	0.010	0.29	0.01	»	0.06
80—85	0.75	0.09	0.20	0.18	0.016	0.34	Следы	»	—
156—161	0.11	Следы	0.05	0.03	0.010	0.05	0.01	»	—
С 262 м грунтовая вода в г/л	0.78	0.1	0.33	0.12	0.023	0.35	0.08	0.12	—

Примечание. Вскипание от HCl с поверхности. Морфологически выделения гипса не заметны.

каты щелочей были вынесены из профиля еще в малой степени, кремнекислота по интенсивности вынесения занимала место в числе первых.

Картина вынесения всех элементов и относительного обогащения марганцем и кремнекислотой отчетливо видна и в иллювиальном горизонте 10—15 см. Здесь относительному, по сравнению с породой, накоплению подверглись лишь соединения марганца (+22%), кремнезема (+5%) и отчасти железа (+2%). Остальные элементы, хотя и в меньшей степени, чем в элювиальном горизонте, подверглись также частичному выносу, в особенности, титан, магний и кальций. Это, однако, не помешало значительной части соединений полуторных окислов, титана и магния, выносимых из элювиального горизонта, накопиться по пути в солонцовом горизонте, что особенно хорошо заметно при выражении изменений его состава в процентах от горизонта 0—3 см (табл. 70):

$$TiO_2+137\%,\ MgO+97\%,\ Fe_2O_3+56\%,\ CaO+40\%,\ Al_2O_3+27\%,$$
$$MnO+0\%,\ SiO_2-9\%.$$

Кроме магния и железа, занимавших ранее первое место по участию в формировании иллювиального горизонта, на первое место здесь выходит титан. Соединения алюминия играют второстепенную роль. Знаменательно, что и кальций по сравнению с поверхностным горизонтом здесь также накопляется.

Таблица 68

Содовый солонец.

Валовой анализ (в % на сухую почву) II террасы р. Кинель. Разрез № 26.

(Аналитик Г. М. Кадер)

Глубина в см	SiO_2	$Al_2O_3 + P_2O_5$	Fe_2O_3	TiO_2	MnO	CaO	MgO	SO_3	Cl	Потеря при прокаливании	Сумма	Гигроскопическая вода
0—3	73.29	8.27	3.20	0.51	0.10	1.95	1.07	0.45	0.06	6.89	95.79	3.82
5—10	69.02	10.89	4.00	1.25	0.10	2.14	1.70	0.53	0.06	6.45	96.14	7.82
10—15	64.43	10.13	4.80	1.15	0.09	2.94	2.04	0.38	0.04	8.63	94.63	6.51
20—25	64.89	10.83	5.40	1.25	0.09	2.75	2.18	1.28	0.05	6.10	94.82	6.37
45—50	56.29	11.03	3.60	0.96	0.08	10.12	2.15	0.72	0.05	10.80	95.80	5.37
75—80	56.25	9.36	4.60	1.06	0.08	11.48	2.42	0.34	0.03	10.78	96.40	4.67
105—110	66.45	8.93	3.80	1.42	0.08	7.15	2.14	0.29	0.04	8.25	98.60	3.61
195—200	59.56	9.71	4.40	1.30	0.07	9.77	2.44	0.50	0.06	10.01	97.82	4.07

Таблица 69

Анализ вытяжки 20% HCl (в % на сухую почву)

Глубина в см	SiO_2	$Al_2O_3 + P_2O_5$	Fe_2O_3	TiO_2	MnO	CaO	MgO	SO_3	Na_2O	K_2O	SiO_2 в 5% KOH	Гигроскопическая вода
0—3	0.11	4.31	1.50	0.36	0.08	0.85	1.00	0.14	1.44	0.47	9.17	3.82
5—10	0.14	3.72	3.80	0.46	0.07	1.25	1.28	0.13	0.25	0.43	10.99	7.82
10—15	0.17	4.40	4.20	0.48	0.07	2.00	1.45	0.18	0.46	0.42	12.65	6.51
20—25	0.12	4.15	4.60	0.44	0.06	2.35	1.98	0.27	0.68	0.38	12.79	6.37
45—50	0.07	4.60	3.20	0.40	0.05	9.65	1.48	0.12	0.82	0.49	12.29	5.37
75—80	0.11	3.18	4.10	0.39	0.04	10.50	1.95	0.15	0.99	0.37	10.47	4.67
105—110	0.08	3.14	3.50	0.37	0.04	7.00	1.71	0.14	1.20	0.32	10.32	3.61
195—200	0.12	2.87	4.00	0.48	0.05	8.85	1.70	0.13	0.87	0.33	11.20	4.07

Таблица 70

Данные валового состава горизонтов содового солонца (в пересчете на минеральную бескарбонатную массу (в %). Разрез № 26.

Соединения	0—3 см	10—15 см	195—200 см	0—3 в % от 195—200	10—15 в % от 195—200	10—15 в % от 0—3
SiO_2	83.20	75.68	71.70	+ 16	+ 5	— 9
Al_2O_3	9.36	11.89	11.69	— 20	+ 2	+ 27
Fe_2O_3	3.62	5.64	5.30	— 32	+ 6	+ 56
TiO_2	0.57	1.35	1.56	— 64	— 14	+ 137
MnO	0.11	0.11	0.09	+ 22	+ 22	± 0
CaO	2.08	2.91	6.70	— 69	— 58	+ 40
MgO	1.22	2.40	2.95	— 59	— 20	+ 97

Общий порядок степени вмывания в иллювиальный горизонт рисуется, таким образом, почти в том же виде, как и в предшествовавших случаях:

$$SiO_2, MnO, Al_2O_3, CaO, Fe_2O_3, MgO, TiO_2.$$

Поскольку длительный солонцовый режим привел к потере значительных количеств полуторных окислов, титана и кремнекислоты, постольку в солянокислой и щелочной вытяжках мы находим ряд существенных отличий от солонцов этого же ряда, но более ранних стадий.

Сильно уменьшилось (на 30—40%) по сравнению с тем, что мы имели в сульфатно-хлоридном солонце, количество подвижной (растворимой в 5% KOH) SiO_2.

Но даже и при этом общем ее уменьшении она обнаруживает ясную аккумуляцию в слое 10—50 см. Таким образом и здесь устанавливается участие кремнекислоты в формировании иллювиальных горизонтов солонцов.

В состав элювиального горизонта отношение SiO_2 к Al_2O_3 (по солянокислой и щелочной вытяжкам) совпадает с их отношением в пирофиллитовой кислоте (4 : 1). Ниже, в иллювиальном горизонте, оно вырастает в пользу SiO_2 (5 : 1).

В материнской же породе равно 6 : 1, т. е. аналогично монтмориллонитовой кислоте.

Таким образом процесс десиликации элювиального горизонта выражен и здесь. Нижняя же часть профиля кремнекислотой обогащается.

Длительное опреснение с периодическим засолением и рассолением профиля, как мы показали, приводит солончаковатые солонцы на их содовой стадии к огромным потерям кальция и магния из верхних горизонтов по сравнению с материнской породой.

Параллельное возрастание содержания карбонатов и бикарбонатов натрия в этих же горизонтах говорит о том, что количество щелочей одновременно относительно возросло.

Содержание обменного Na в содовых солонцах, действительно, достигает до 25—30 м.-экв.

Количество обменного Na в содовых солонцах

Макиевское опытное поле	26	м.-экв.	(108)
Омская с.-х. опытная ст.	25—30	»	(109)
Орегонское опытное поле	36	»	(110)
Западная Сибирь	26	»	(111)
Невада, Калифорния	25—33	»	—

То же можно видеть и в составе обменных оснований, определенных в образцах разреза № 26 из солонцов Куйбышевского края. Содержание обменного натра здесь достигает в горизонтах 5—10, 10—15 см до 18.6—22.9 м.-экв., составляя до 35% от суммы катионов (табл. 70а).

Таблица 70а

Обменные катионы в содовом солонце.
Разрез № 26.
(Аналитик Л. Мамаева)

Глубина в см	В %			В м.-экв.			
	$Ca^{\cdot\cdot}$	$Mg^{\cdot\cdot}$	$Na^{\cdot}$	$Ca^{\cdot\cdot}$	$Mg^{\cdot\cdot}$	$Na^{\cdot}$	Сумма
0—3	0.38	0.11	0.20	18.91	8.57	8.57	36.05
5—10	0.60	0.22	0.43	29.85	18.07	18.68	66.60
10—15	—	0.35	0.53	—	28.63	22.93	—

Нужно признать этот процент обменного натра несколько низким, так как в других случаях, судя по литературным данным, в составе обменных оснований в содовых солонцах Na обычно господствует (75—95% суммы), в то время как в предшествующих стадиях количество обменного Na, во-первых, редко достигает 15—20 м.-экв., а, во-вторых, в составе обменных оснований Na занимает лишь 15—25% и редко 40—50%, обычно снижаясь в остепененных солонцах. В качестве очень важного вывода можно формулировать следующее положение. В процессе эволюции солончаковатых солонцов от сульфатно-хлоридных к содовым формам в составе обменных оснований под влиянием периодического засоления и рассоления уменьшается абсолютно и относительно содержание обменного Ca и возрастает количество обменного Na, ведущее к интенсивному образованию соды и аккумуляции последней в грунтовой воде и почве.

5. Содовые солонцы-солончаки

В несколько углубленных депрессиях и старицах вторых и третьих террас рек Куйбышевского Заволжья, на террасах Днепра, в Кулундинской степи и Венгерской низменности иногда встречаются модификации содовых солонцов, еще более обогащенных содой — до 1.0% HCO_3' и до 0.373% CO_3''. Положение их в депрессиях, на 50—100 см углубленных среди солонцов террасы, заставляет думать, что в накоплении соды с поверхно-

сти участвуют также и процессы приноса ее с окружающих солонцов. Таким образом эти содовые солонцы затронуты процессами реградации и являются, повидимому, формами переходными уже к коллювиальным и приозерным содовым солончакам (которые нами рассмотрены выше) и, строго говоря, выходят за пределы ряда рассоления. По морфологии и химическим свойствам содовые солонцы-солончаки до некоторой степени схожи с содовыми солонцами, однако на ряду с этим они обладают специфическими признаками.

В сухом состоянии с поверхности почва покрыта тонкой пылеватой белесоватой корочкой (до 2 мм). Ниже — плотный чернобурый, комковатый (со следами столбчатости) горизонт до 5—9 см, обычно бурно вскипает от кислоты. С 5—9 до 15—20 см расположен комковато-зернистый уплотненный горизонт, также очень темного цвета. Затем окраска светлеет и появляются бурые оттенки. Выделения гипса обычно отсутствуют. Конкреции карбонатов выражены плохо, располагаются они на глубине 2—2.5 м и иногда даже отсутствуют вовсе.

Грунтовые воды всегда приподняты по сравнению с близлежащими солонцами и обычно находятся на глубине 2.5—3.5 м. Располагаясь, как правило, в депрессиях, содовые солонцы-солончаки на днище последних приурочены к ничтожным выпуклостям, на которых испарение протекает быстрее и соли аккумулируются интенсивнее, чем на элементах отрицательных. Ниже приводится описание типичного профиля содового солонца-солончака по разрезу № 23 в Куйбышевском крае, III терр. р. Самарки.

0—4 (5) см. Буровато-серый, белесоватый на гранях отдельностей, комковато-глыбистый, плотный. Бурно вскипает с HCl. С поверхности тонкая пылеватая корочка (1 мм) серовато-белесоватого цвета.

5—20 см. Черный, плотный, комковато-зернистый. Комочки при сдавливании распадаются на мелкие зерна. Вскипание бурное.

20—30 см. Более светлый, с буроватым оттенком, рассыпается на мелкие зернышки. Переход к следующему горизонту постепенный.

30—80 см. Темнобурый, той же структуры; к низу темные тона постепенно ослабевают.

80—150 см. Желто-бурый суглинок, заметно влажнее предыдущего, кубовидной структуры.

С 150 см. Вязкий, влажный, оглеенный суглинок. На глубине 200 см появляются грязноватосерые пятна карбонатов.

Из сопоставления морфологии содовых солонцов-солончаков с морфологией содовых солонцов видно, что исчезновение, расплывание столбчатого горизонта здесь идет дальше.

Нижележащие горизонты не только не имеют солонцового строения, но даже отличаются комковато-зернистой и зернистой структурой. Очевидно, причина заключается в переполнении этих горизонтов солями и в коагуляции коллоидов с образованием псевдоструктурных отдельностей.

В качестве другого примера содового солонца-солончака приводится сжатое описание разреза № 44. Этот разрез своими внешними признаками еще больше подчеркивает переходность к содовым солонцам. Он заложен в котловине приблизительно на 75 см ниже окружающей территории, занятой содовыми солонцами.

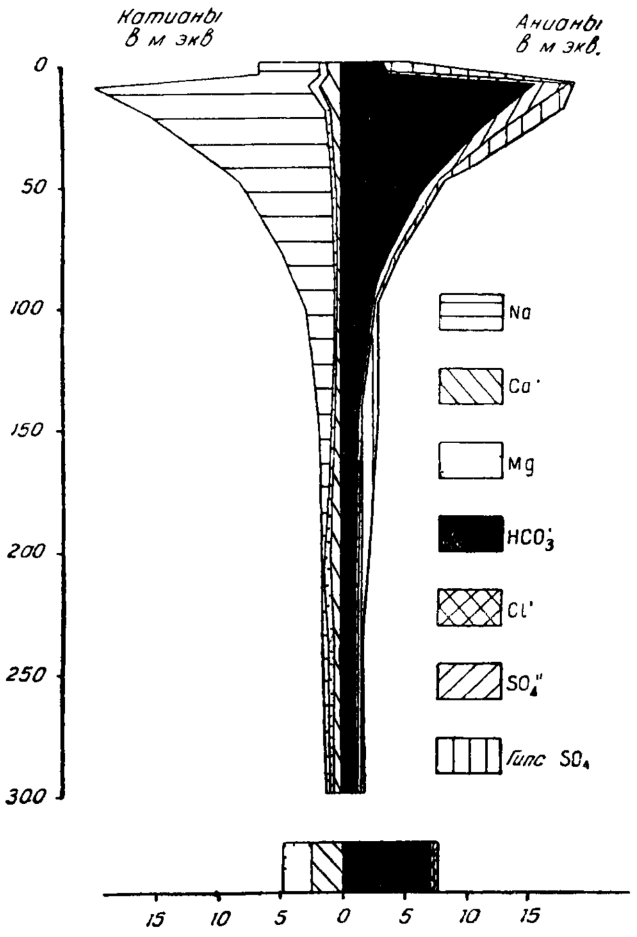
Древняя терраса р. Самарки (Козлов).

С поверхности значительные трещины.

Сплошной гумусовый горизонт отмечен до глуб. 40 см, причем гор. 0—20 имеет более светлую окраску.

Столбчато-глыбистый, сильно уплотненный горизонт начинается с глубины 20—25 см. Вскипание с поверхности. Выделений карбонатов и гипса не оказалось.

Уровень грунтовых вод — с 259 см.



Фиг. 12. Солевой профиль содового солонца-солончака; III терраса р. Самарки. Разрез № 23

По химическим свойствам содовые солонцы - солончаки отличаются преобладанием в составе солей бикарбонатов и карбонатов натрия, скопляющихся в максимуме по солончаковому типу, близ поверхности почвы, либо даже на самой поверхности (табл. 71, 72 и фиг. 12).

В наиболее выраженных случаях хлориды, как правило, присутствуют лишь в небольшом количестве. Сульфаты Na, являясь обычными спутниками соды в солонцовых районах, участвуют в засолении на ряду с содой в большей степени (табл. 71 и фиг. 12). Однако наблюдаются случаи в тех же районах содовых солонцов, когда содержание хлоридов и сульфатов составляет в горизонтах аккумуляции до 0.1—0.2% Cl' и 0.3—0.5% SO''_4 и больше, оставаясь все же в отдельности в подчиненном положении.

Эти содовые солонцы-солончаки, с участием в солях хлоридов и сульфатов, располагаются геоморфололически ниже, чаще всего на вторых террасах (табл. 72). На террасах более древних и выше расположенных хлориды и сульфаты обычно присутствуют в пониженных количествах. Такое расположение констатировано нашей экспедицией на террасах

Таблица 71

Содовый солонец-солончак. Данные анализа SO_4 гипса и водной вытяжки (в %/м.-экв. на сухую почву). III терраса р. Самарки. Разрез № 23. (Аналитики Г. Максимюк и Т. Гевельсон)

Глубина в см	Гигроскоп. вода	Сухой остаток	Щелочность CO''_3	Щелочность HCO'_3	Cl'	SO''_4	SiO_2	Гумус	Сумма полуторных окислов	$Ca^{\cdot\cdot}$	$Mg^{\cdot\cdot}$	$Na^{\cdot}+K^{\cdot}$ по разности	SO_4 гипса	CO_2
0—5	3.56	0.7384	Не определено из-за окрашенности	0.1891 / 3.10	Не определено из-за окрашенности	0.0051 / 0.11	0.0926 / 3.08	0.011	0.0083	0.0178 / 0.89	0.0066 / 0.54	0.041 / 1.78	0.0576	Нет
5—10	4.13	1.7878	»	0.9760 / 16.00	»	1.1309 / 2.73	0.0307 / 1.02	0.532	0.0156	0.0321 / 1.60	0.0093 / 0.76	0.376 / 16.37	0.0189	Не опред.
15—20	3.83	1.3499	»	0.8235 / 13.50	»	0.1138 / 2.37	0.0047 / 0.16	0.308	0.0118	0.0131 / 0.65	0.0043 / 0.35	0.342 / 14.87	0.1218	6.35
25—30	3.92	1.4614	»	0.6649 / 10.90	»	0.0963 / 2.00	0.0011 / 0.04	0.111	0.0102	0.0112 / 0.56	0.0036 / 0.30	0.277 / 12.04	0.0955	Не опред.
35—10	3.41	0.5824	»	0.5490 / 9.00	»	0.0428 / 0.89	0.0073 / 0.24	0.009	Нет	0.0053 / 0.26	0.0029 / 0.24	0.216 / 9.39 [1]	0.0510	»
45—50	3.60	0.4360	0.0198 / 0.66	0.3920 / 6.42	0.0050 / 0.14	0.0166 / 0.35	0.0036 / 0.29	0.007	»	0.0032 / 0.16	0.0034 / 0.28	0.149 / 6.47	0.0222	—
75—80	3.09	0.2559	0.0346 / 1.15	0.1689 / 2.77	040029 / 0.08	0.0046 / 0.09	0.0026 / 0.09	0.006	»	0.0031 / 0.15	0.0007 / 0.06	0.063 / 2.73	0.0198	—
95—100	3.39	0.1962	Не обн.	0.1633 / 2.68	0.0058 / 0.16	0.0026 / 0.05	0.0047 / 0.16	0.005	»	0.0040 / 0.20	0.0038 / 0.31	0.055 / 2.38	0.0165	—
145—150	3.16	0.1235	»	0.0881 / 1.44	0.0029 / 0.08	0.0008 / 0.02	Не опред.	Нет	Не опред.	0.0052 / 0.26	0.0037 / 0.30	0.022 / 0.98	0.0576	—
195—200	2.90	0.0898	»	0.0711 / 1.17	0.0027 / 0.07	0.0052 / 0.11	»	»	»	0.0174 / 0.87	0.0050 / 0.41	0.002 / 0.098	0.0806	—
230—240	2.84	0.1170	»	0.0711 / 1.17	0.0029 / 0.08	0.0072 / 0.15	»	»	»	0.0077 / 0.38	0.0052 / 0 43	0.014 / 0.59	0.0006	4.56
290—300	2.99	0.0829	»	0.0665 / 1.09	0.0024 / 0.06	0.0042 / 0.09	»	»	»	0.0107 / 0.53	0.0061 / 0.50	0.005 / 0.21	0.0306	Не опред.
Грунтовая вода в г/л	—	0.5300	0.0192 / 0.64	0.3920 / 6.42	0.0120 / 0.34	Не опред.	0.0045 / 0.16	Не опред.	0.0500	0.0283 / 2.50	—	—	—	—

[1] Здесь и выше $Na^{\cdot}+K^{\cdot}$ вычитан без учета Cl.

Таблица 72

Содовый солонец-солончак. Данные анализа SO_4 гипса, pH, CO_2 и водной вытяжки (в %/м.-экв. на сухую почву). II терраса р. Самарки. Разрез № 29.
(Аналитики Г. Максимюк и Т. Гевельсон)

Глубина в см	Гигроскопическая вода	Сухой остаток	Щелочность CO''_3	Щелочность HCO'_3	Cl'	SO_4''	SiO_2	Гумус	Сумма полуторных окислов	$Ca^{\cdot\cdot}$	$Mg^{\cdot\cdot}$	$Na^{\cdot}$	SO_4 гипса	pH	CO_2
0—2	3.76	0.3842	Нет	0.1082 1.77	0.0372 1.05	0.0913 1.90	0.0281 0.94	0.0170	Нет	0.0085 0.42	0.0014 0.12	0.076 [1] 4.18	0.2559	8.24	0.37
4—9	4.90	1.7865	0.102 3.40	0.419 6.87	Не опр.	0.3463 7.21	0.0273 0.91	0.0490	0.0053	0.0047 0.23	0.0024 0.20		0.3827	8.37	3.46
10—15	5.00	1.9092	0.1219 4.06	0.2754 4.51	0.1086 3.07	0.3724 7.75	0.0126 0.42	0.0447	Нет	0.0043 0.21	0.0022 0.18	0.344 14.97	0.8246	Не опр.	4.60
20—25	4.52	1.9240	0.1941 6.47	0.2965 4.89	0.1407 3.97	0.2782 5.79	0.0213 0.71	0.0414	»	0.0023 0.11	0.0017 0.14	0.327 14.24	0.7810	»	3.65
35—40	4.50	1.8567	2.2402 8.01	0.3067 5.03	0.1574 4.44	0.3531 7.35	0.0166 0.55	0 0343	»	0.0029 0.14	0.0027 0.22	0.379 16.46	0.6921	»	Не опр.
55—60	3.67	0.9311	0.1693 5.64	0.2728 4.47	0.1013 2.86	0.1261 2.63	0.0155 0.52	0 0227	»	0.0021 0.10	0.0008 0.17	0.222 9.69	0.2123	»	»
70—75	3.67	0.6082	0.1277 4.26	0.2218 3.64	0.0774 2.18	0.0631 1.31	0.0180 0.60	0.0085	—	0.0019 0.09	0.0015 0.12	0.160 6.95	0.1407	»	»
90—95	3.39	0.3409	0.0887 2.96	0.1788 2.93	0.0411 1.17	0.0097 0.20	0.0121 0.40	0.0070	0.0139	0.0023 0.11	0.0021 0.17	0.094 4.11	0.0313	»	»
120—125	5.44	0.2451	0.0511 1.70	0.1512 2.48	0.0197 0.57	0.0080 0.17	0.0144 0.48	0 0510	0.0072	0.0021 0.10	0.0011 0.09	0.069 [2] 3.01	0.0230	»	»
150—155	2.83	0.2361	0.0077 0.26	0.1512 2.48	0.0167 0.48	0.0026 0.25	Нет	Не опред.	Не опред.	0.0050 0.25	0.0009 0.07	0.061 2.68	0.0197	»	»
195—200	3.03	0.1520	Нет	0.1137 1.86	0.0108 0.31	0.0063 0.13	»	»	»	0.0036 0.13	0.0014 0.12	0.046 2.00	0.0110	»	»
240—250	2.75	0.1275	»	0.0969 1.59	0.0084 0.25	0.0050 0.10	»	»	»	0.0044 0.22	0.0044 0.28	0.033 1.44	0.0169	»	»
340—350	2.36	0.0977	»	0.0446 0.73	0.0043 0.13	0.0037 0.08	»	»	»	0.0074 0.37	0.0032 0.26	0.007 0.30	0.0039	»	»
415—430	2.80	0.0994	»	0.0595 0.98	0.0024 0.07	0.0038 0.08	»	»	»	0.0098 0.49	0.0049 0.40	0.006 0.24	0.0169	»	»
Грунтовая вода в г/л	—	Не опр.	0.0192 0.64	0.4920 8.06	0.0960 2.74	Нет	Не опред.	»	»	Не опред.	Не опред.	Не опред.	Не опред.	»	»

[1] Na· высчитан по разности.
[2] Здесь и ниже Na· высчитан по разности.

р. Самарки и ее притоков (Григорьев), а исследованиями Д. Г. Виленского — на террасах Днепра (190). Это же показано Е. С. Блажным для террас р. Дона ниже р. Калач (114).

Большее участие других солей, кроме углекислого Na, очевидно, надо рассматривать как признак, свойственный меньшей рассоленности в прошлом содовых солонцов-солончаков.

Как пример подобного солонца, ниже приводится анализ разреза № 17 (долина р. Дон близ ст. Богаевской) из исследований Е. С. Блажного, который назвал его «солончаковато-содовым солонцом» (табл. 73).

Таблица 73

Данные анализа водных вытяжек из содового солонца-солончака (в %). Долина р. Дона

Глубина в см	Гигроскопическая вода	Гумус	CO_2	Водная вытяжка						
				сухой остаток	щелочность		Cl′	SO_3''	Ca··	Mg··
					общая	CO_3''				
0—2	2.11	0.80	0.26	2.261	0.145	0.012	0.149	1.108	0.028	0.016
2—7	4.35	1.08	0.50	Не опр.	Не опр.	Не опр.	Не опр.	Не опр.	Не опр.	Не опр.
25—30	4.97	0.77	0.70	2.213	1.286	0.432	0.298	0.496	0.033	0.012
75—80	4.36	0.36	4.83	0.487	0.185	0.056	0 037	0.096	Следы	0.012

Более длительное или более интенсивное опреснение, конечно, приведет к снижению участия хлоридов и сульфатов.

Реградированные содовые солонцы- солончаки в Заволжье могут быть иллюстрированы анализом водной вытяжки из разреза № 29 (табл. 72), заложенного на второй надпойменной террасе р. Самарки близ с. Андреевка (Григорьев). Исследование содовых солонцов-солончаков в этом же районе, но на третьей террасе р. Самарки близ хут. Лугового, т. е. в условиях более древних и более дренированных, дает уже по химизму почти чистый содовый солонец-солончак (табл. 71).

Напомним (описано выше), что Земятченским в районе Нежина описаны содовые солончаки (т. е. дальнейшая стадия эволюции), в которых Cl′ и SO''_4 не установлены совсем (67).

Содовый солончак, описанный Pozdena в западной части Венгерской низменности, также имел Cl′ и SO''_4 в составе солей лишь в количестве, измеряемом сотыми долями (66).

В условиях депрессий, в которых развиваются содовые солонцы-солончаки, существуют постоянный приток и оседание различного материала. Поэтому здесь крайне трудно проследить за изменениями в валовом составе (табл. 74 и 75). Во всяком случае,можно видеть, что полуторные окислы из верхней части профиля вынесены: железо больше, алюминий меньше и марганец еще меньше; титан имеет признаки относительного накопления. То же заметно в распределении CaO и MgO, дающих картину явного накопления.

Таблица 74

Содовый солонец-солончак. Валовой анализ (в % на сухую почву).
III терраса р. Самарки. Разрез № 23.
(Аналитик Н. Королева)

Глубина в см	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	TiO_2	MnO	CaO	MgO	Потеря при прокаливании	Сумма	Гигроскопическая вода
0—5	59.09	8.71	4.04	1.64	0.09	7.29	3.04	11.20	94.10	3.95
5—10	59.34	9.47	4.27	1.13	0.08	6.65	3.13	11.46	95.53	3.92
15—20	56.50	9.67	4.13	1.06	0.09	9.01	3.33	12.39	96.18	4.39
25—30	56.07	9.50	4.65	1.01	0.08	8.14	4.22	12.13	95.80	4.30
35—40	56.53	9.82	4.32	1.14	0.08	8.92	3.98	11.60	96.39	3.85
75—80	55.33	9.20	4.64	1.25	0.08	11.14	2.61	11.42	95.67	3.34
230—240	64.59	9.76	5.03	1 00	0.08	7.30	2.20	7.65	97.61	3.35

Таблица 75

Анализ вытяжки 20% HCl (в % на сухую почву).
(Аналитик Трейлих)

Глубина в см	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	TiO_2	MgO	CaO	MnO	P_2O_5	SiO_2 в 5% KOH
0—5	0.12	4.40	3.42	0.05	0.09	6.59	2.83	0.20	8.83
5—10	0.19	4.20	3.66	0.07	0.09	6.70	2.69	0.18	10.15
15—20	0.19	4.10	3.61	0.07	0.08	8.41	3.32	0.15	9.11
25—30	0.20	4.34	3.80	0.07	0.08	7.64	3.90	0.13	10.04
35—40	0.20	4.27	3.87	0.07	0.08	8.03	3.71	0.12	9.57
75—80	0.20	4.14	3.76	0.07	0.08	10.61	2.32	0.10	7.62
195—200	0.19	4.52	3.90	0.07	0.07	6.74	2.06	0.09	9.18

Очевидно, накопление CaO и MgO — явление уже чисто вторичное, возникшее при усилении солончакового режима и восходящих токов. Это, конечно, очень исказило положение полуторных окислов и, возможно, явилось причиной их кажущегося снижения. Учитывая эти соображения, порядок подвижности соединений можно рисовать в следующем виде:

$$TiO_2, MnO, Al_2O_3, SiO_2, Fe_2O_3.$$

На этот раз титан занял совершенно не обычное ему место. То же можно сказать и о SiO_2. Соотношение же между Mn, Al и Fe осталось тем же, что и прежде. Большим изменениям подверглась аморфная кремнекислота. Она заняла в этом солонце-солончаке самое низкое место по растворимости в щелочи, что опять-таки может быть следствием двух причин: основное — это вынос подвижной кремнекислоты до крайних степеней; кроме того, возможен и переход в стойкие, кристаллические формы.

Емкость обмена у содовых солончаков довольно высокая — 50—70 м.-экв. Из них на долю обменного Na, судя по данным Горшенина, Зигмонда, Kelley и нашим падает до 30—45 м.-экв. при 70—90 % от суммы обменных оснований. Таким образом в ряду солончаковатых солонцов наибольшей величиной обменного Na отличаются содовые солонцы-солончаки.

Солонцы ряда остепнения (рассоление с отрывом от грунтовых вод)

1. Солонцы остаточносолончаковатые

Солонцы этого типа связаны с грунтовыми водами лишь периодически. Эта стадия развития солонцов наступает после некоторого опускания базиса эрозии, начала расчленения и дренирования района и последующего снижения уровня грунтовых вод. Здесь преобладают процессы промывания профиля почвы и ее рассоления. Однако в отдельные периоды высокого стояния уровня грунтовых вод они сменяются процессами подсолонцового засоления. Солонцы этой стадии характеризуются следующими признаками:

а) более или менее хорошо развитый элювиальный горизонт (8—15 см);

б) сравнительно низко опущенный уплотненный солонцовый горизонт хорошо выраженного столбчатого или призматического строения, иногда даже с некоторыми признаками осолодения сверху;

в) вскипание карбонатов с пробой HCl у остаточносолончаковатых солонцов появляется с 20—30 см;

г) выделения гипса, наблюдавшиеся у сульфатно-хлоридных солончаковатых солонцов на глубине 20—40 см, замещены здесь карбонатами, причем последние уже несколько опущены по сравнению со своим первоначальным положением;

д) выделения карбонатов наблюдаются с глубины 25—40 см. Форма их выделения в верхней части горизонта приближается к белоглазке, а в нижней, смыкающейся с горизонтом выделения гипса, имеет характер пятен и прожилок.

Уплотненный горизонт подобных солонцов значительно растянут вследствие смыкания солонцового и карбонатного окремненного горизонта и некоторого осолонцевания последнего.

Гипс появляется с 30—40 см и располагается несколькими прослоями с максимумом в подстолбчатом горизонте. Отдельные друзы встречаются до грунтовых вод. Грунтовые воды обычно находятся на глубине 6—8 м.

Остаточносолончаковатые солонцы отличаются уже известной промытостью профиля от всех солей, ясным преобладанием сульфатов над хлоридами во всех частях профиля, некоторым увеличением общей щелочности до 0.10—0.05% HCO'_3, (хотя нормальные карбонаты свободно не существуют также), большей растворимостью гумуса. Все эти признаки свидетельствуют о преобладании нисходящих токов в профиле и накоплении типичных свойств классического «столбчатого солонца». Однако растворимые соли, в том числе и хлористые, все еще сохраняют заметный максимум на глубине 40—70 см под столбчатым солонцовым горизонтом. Это свидетельствует о том, что бывают периоды засоляющего влияния грунтовых вод. В основном же необходимо рассматривать этот максимум солей как остаточный.

В качестве иллюстрации профиля остаточносолончаковатых солонцов, приводим описание, сделанное нашей экспедицией в 1935 г. (Г. И. Григорьев).

Разрез № 7. Заложен в 2 км в ЗЮЗ от Таловского отделения совхоза № 452 и в 300 м к С от р. Торгун. Повышенная часть микрорельефа на второй террасе. Растительный покров: *Artemisia pauciflora*, *Kochia prostrata*. Отдельные экземпляры *Statice sareptana*.

Поверхность почвы покрыта сетью мелких трещин.

0—8 см. Серовато-желтый, рыхлый, слоистый и пористый, густая корневая система. Граница резкая.

8—25 см. Коричнево-бурый, очень плотный, глянцеватый в изломе. Структура столбчатая. Верхняя часть столбиков разрушена. Прерывистое вскипание начинается с 18—19 см. Ниже вскипание сплошное, но не сильное. На глубине 19—20 см наблюдаются грязноватобелые жилки, приуроченные преимущественно к корневым ходам. Вероятно, это выделения $CaCO_3$.

26—33 см. Окраска предыдущего, но более светлая. Плотный крупнокомковатый (призмовидно-кубическая структура). В верхней части грязнобелые пятна карбонатов. Ниже жилки сульфатов (вероятно, и карбонатов). Граница по окраске резкая.

33—60 см. Желто-бурый, суглинистый, с редкими затеками гумуса. Не плотный. Густо покрыт выделениями сульфатов в виде жилок и пятнышек.

60—200 см. Желто-бурый однородный суглинок, уплотненный, с разбросанными выделениями сульфатов в виде точек и жилок. На глубине 65—70 см редкие расплывчатые пятна карбонатов Са.

С 118 до 200 см встречаются небольшие друзы мелкокристаллического гипса.

На глубине 170 см суглинок делается заметно влажнее. Н и ж е— желто-бурый влажный суглинок с изредка встречающимися тонкими песчаными прослойками. Грунтовая вода на глубине 6.8 м.

Остаточносолончаковатые солонцы широко распространены в комплексах почв на террасах рек Заволжья, Калмыцкой АССР, Орджоникидзевского края (рр. Еруслан, Большой и Малый Узень, Маныч, Буйвола и др.).

Степень опресненности остаточносолончаковатых солонцов возрастает в условиях лучшего дренажа и в районах относительно более древних.

Уже в наших прежних работах (89) мы подразделяли остаточносолончаковатые солонцы на две подгруппы: а) остаточносолончаковатые, периодически связанные с грунтовыми водами (ныне описанные здесь), и б) остаточносолончаковатые, не связанные с грунтовыми водами, либо связанные с ними через пленочные растворы лишь в редкие периоды.

Специальные исследования 1935 г. в Заволжье показали, что солонцы второй подгруппы занимают обширные территории, имеют отчетливо выраженный тип профиля, отличаются новыми специфическими признаками (остепнение).

В настоящей работе мы считаем уже необходимым выделить эти солонцы в самостоятельную группу под общим названием остаточнослабосолончаковатых солонцов.

Морфологический и химический профили этих солонцов естественно вариируют в зависимости от местных условий, дренированности района и колебаний грунтовых вод.

Общее направление эволюции остаточносолончаковатых солонцов идет в сторону замирания связи с грунтовыми водами и преобладания нисходящих токов. Поэтому более развитые формы остаточносолончаковатых солонцов характеризуются большей мощностью элювиального и иллювиального горизонтов, большей глубиной вскипания и появления горизонта карбонатов, большей промытостью и более глубоким расположением максимума легкорастворимых солей в профиле.

Химические свойства разреза № 7, профиль которого рассмотрен выше, иллюстрируются табл. 76,77 и фиг. 13.

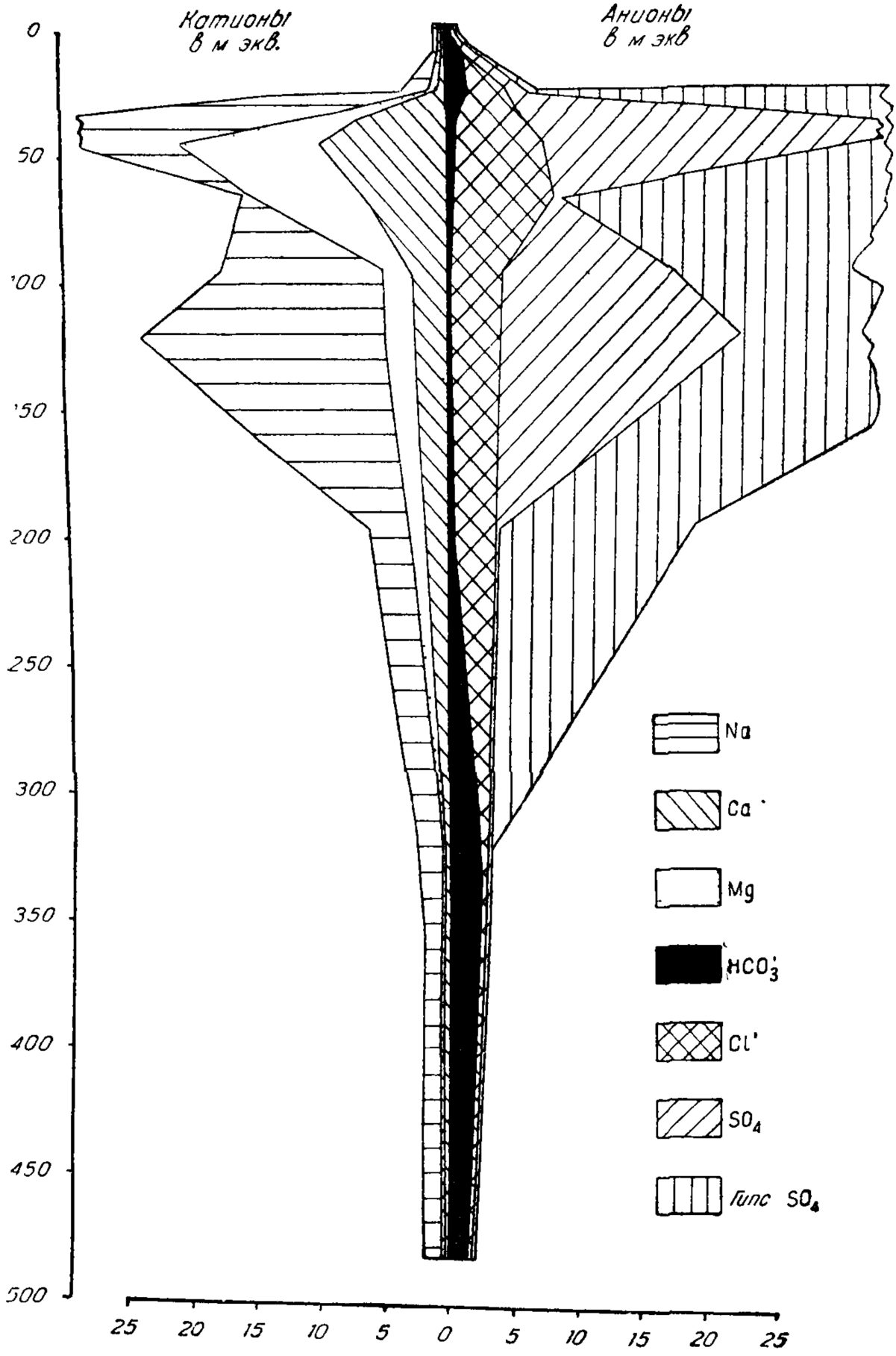
Верхняя часть профиля до 30 см охвачена отчетливо выраженным солонцовым процессом. Сухой остаток здесь около 0.5%, в том числе общая щелочность достигает до 0.11% HCO'_3.

Нижняя часть столбчатого горизонта еще солончаковата. Но максимум солей этой остаточной солончаковатости располагается лишь на глубине 45—70 см (сумма солей 2.6—2.3%). Здесь же с 35 см начинается горизонт максимального скопления гипса (1.37% SO''_4), свидетельствующий о длительном режиме возобновления периодической связи с грунтовыми водами. Подавляющее преобладание сульфатов в профиле по сравнению с хлоридами, несмотря на то что в грунтовых водах их отношение равно почти 1 : 1, указывает на рассоление как на основное направление процесса в грунте. Этот процесс настолько интенсивен, что в грунтовых водах сумма солей равна лишь 0.81 г/л, из которых больше $^1/_3$ падает на долю щелочности— 0.31 г HCO'_3.

Переходящих в водную вытяжку полуторных окислов и кремнекислоты в профиле немного: SiO_2—0.011—0.018%, R_2O_3 — до 0.008%. Это не идет ни в какое сравнение с подвижностью кремнекислоты и полуторных окислов в солончаковатых солонцах, особенно содовых.

Невелико и количество растворимого в водной вытяжке гумуса — не выше 0.04%. Максимум кремнекислоты и гумуса совпадает со столбчатым солонцеватым горизонтом.

В качестве другой иллюстрации остаточносолончаковатых солонцов мы приводим табл. 77 с анализом водной вытяжки разреза № 46, со второй террасы р. Большой Узень.



Фиг. 13. Солевой профиль остаточносолончаковатого солонца; II терраса р. Торгун. Разрез № 7

Таблица 76

Остаточносолончаковатый солонец. Данные анализа SO_4 гипса, pH, CO_2 и водной вытяжки (в %/м.-экв. на сухую почву). II терраса р. Торгун, Заволжье. Разрез № 7. (Аналитик Т. Гевельсон)

Глубина в см	Гигроскопическая вода	Сухой остаток	Щелочность CO''_3	Щелочность HCO'_3	Cl'	SO''_4	SiO_2	Гумус по Тюрину	R_2O_3	$Ca^{\cdot\cdot}$	$Mg^{\cdot\cdot}$	$Na^{\cdot}$	SO_4 гипса	pH	CO_2
0—5	7.8	0.08	Нет	0.0430 0.70	0.0001 0.003	0.0100 0.21	0.0110 0.37	0.006	Нет	0.0047 0.23	0.0027 0.22	0.0078 0.34	0.0099	6.77	Не обн.
8—13	5.02	0.23	»	0.0893 1.46	0.0006 0.02	0.0368 0.77	0.0166 0.55	0.022	0.0084	0.0027 0.13	0.0029 0.23	0.0069 0.30	0.0066	7.09	»
24—29	5.18	0.51	»	0.1148 1.88	0.1104 3 11	0.0793 1.65	0.0186 0.62	0.041	0.0016	0.0059 0.29	0.0069 0.56	0.0437 1.90	0.0377	7.34	0.10
35—40	5.06	1.96	»	0.0600 0.98	0.1847 5.21	1.2280 25.57	0.0037 0.12	0.031	0.0073	0.1337 6.67	0.0437 3.58	0.4300 18.70	1.3727	Не опред.	Не опред.
45—50	4.70	2.65	»	0.0504 0.83	0.2469 6.96	1.3705 28.91	0.0036 0.12	0.034	0.0021	0.1973 9.85	0.1332 10.94	0.3269 14.21	1.6773	»	»
65—70	4.28	2.32	»	0.0502 0.82	0.2720 7.67	1.1810 24.59	0.0035 0.12	Не опред.	0.0077	0.1267 6.32	0.1116 9.17	0.4046 17.59	1.2213	»	»
95—100	Не опред.	1.6	»	0.026 0.43	0.1486 4.28	0.0192 0.40	Не опред.	»	Не опред.	0.050 2.50	0.028 2.29	0.006[1] 0.26	0.637	»	»
120—125	»	1.34	»	0.024 0.39	0.1396 3.91	0.6264 13.04	»	»	»	0.043 2.15	0.03 2.46	0 269 12.73	0.640	»	»
155—160	2.26	1.6	»	0.0804 0.50	0.1318 3.72	0.8853 18.43	»	»	»	0.0397 1.98	0.0236 1.93	0.431 18.74	0.892	»	»
195—200	Не опред.	1.40	»	0.034 0.56	0.1176 3.46	0.4920 10.24	»	»	»	0.03 1.50	0.016 1.31	0.260 11.31	0.7267	»	3.77
320—330	3.22	0.94	0.010	0.1657 2.72	0.0135 0.38	0.006 0.12	»	»	»	0.0023 0 11	0.0015 0.11	0.069 3.00	0.0012	»	Не опред.
410—420	3.72	0.20	Нет	0.1265 2.07	0.0065 0.24	0.005 0.10	»	»	»	0.0047 0.23	0.0033 0.16	0.044 1.92	Не опред.	»	»
485—490	3.11	0.16	»	0.1084 1.78	0.0037 0.10	0.0059 0.12	»	»	»	0.007 0.35	0.004 0.32	0.0301 1.33	»	»	»
670—680	3.11	0.13	»	0.0861 1.41	0.0037 0.10	0.0070 0.15	»	»	»	0.009 0.45	0.0036 0.29	0.0212 0.92	2.1630	»	»
Грунтовая вода в г/л	—	0.810	»	0.310 5.16	0.030 0.85	0.0432 0.90	»	»	»	0.059	0.024	—	—	—	—

[1] Ниже Na· вычислен по разности.

Таблица 77

Остаточносолончаковатый солонец.
Данные анализа SO_4 гипса, CO_2, pH и водной вытяжки (в %). II терраса р. Большой Узень, Заволжье.
Разрез № 46

Глубина в см	Сухой остаток	Водная вытяжка									pH	SO_4 гипса	CO_2
		Щелочность		Cl'	SO_4''	Ca''	Mg''	Водорастворимый гумус в $см^3$ 0.05N $KMnO_4$	Na по вычислению	Сумма			
		CO_3''	HCO'_3										
0—5	0.089	Нет	0.043	0.002	0.004	0.013	0.004	44	0.002	0.047	7.76	—	—
10—15	0.205	»	0.049	0.005	Следы	0.005	0.003	84	0.009	0.047	—	—	12.5
20—25	0.359	»	0.119	0.043	0.007	0.008	0.003	184	0.062	0.183	8.91	—	12.5
35—40	1.614	»	0.018	0.213	0.736	0.052	0.034	68	0.375	1.419	7.98	0.71	32.0
50—55	2.022	»	0.024	0.263	0 986	0.200	0.046	26	0.336	1.843	7.98	1.53	—
90—95	1.207	»	0.043	0.336	0.308	0.008	0.013	23	0.350	1.037	8.32	0.46	—
100—105	1.265	»	0.049	0.375	0.388	0.010	0.014	24	0.414	1.226	—	0.51	—
120—125	1.121	»	0.051	0.343	0.342	0.008	0.009	26	0.380	1.108	—	0.667	—
160—165	2.328	»	0.023	0.364	1.038	0.085	0.023	20	0.628	2.200	8.35	1.674	—
200—225	1.362	»	0.037	0.319	0.516	0.031	0.018	27	0.412	1.310	8.35	0.769	—
275—285	0.729	0.005	0.078	0.231	0.165	0.004	Нет	35	0.255	0.694	8.13	0.222	—
325—335	0.678	0.008	0.100	0.222	0.120	0.004	»	70	0.235	0.680	9.25	0.158	—
390—400	1.032	Нет	0.242	0.387	0.092	0.008	0.009	—	0.366	0.985	—	0.110	—

Таблица 78

Остаточносолончаковатый солонец.
Валовой анализ (в % на абсолютно-сухую почву). Разрез № 7.
(Аналитик В. М. Калужская)

Глубина в см	Потеря при прокаливании	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	TiO_2	MnO	CaO	MgO	Na_2O	K_2O	P_2O_5	Сумма	Гигроскопическая вода
0—5	5.79	72.11	11.15	3.72	0.75	0.15	1.81	1.32	1.42	1.97	0.14	100.33	2.49
8—13	5.43	67.52	13.82	5.35	0.73	0.09	1.30	1.76	1.68	1.99	0.10	92.77	4.29
15—20	5.81	66.11	14.29	5.66	0.72	0.12	1.22	2.08	1.74	1.95	0.11	99.81	4.45
24—29	5.87	66.02	14.02	5.52	0.71	0.12	1.31	2.27	1.69	2.27	0.14	99.94	4.17
35—40	7.21	62.51	13.07	5.15	0.68	0.10	4.01	2.43	1.62	2.14	0.18	99.10	4.25
45—50	9.63	58.21	12.20	4.69	0.66	0.10	7.62	2.47	1.93	1.76	0.16	99.43	4.03
195—200	7.62	62.70	11.12	4.21	0.58	0.11	6.95	2.24	2.05	1.92	0.07	99.57	3.10

Таблица 79

Анализ вытяжки 20% HCl (в % на сухую почву).
(Аналитик Трейлих)

Глубина в см	SiO_2	Fe_2O_3	Al_2O_3	CaO	MgO	P_2O_5	MnO	TiO_2	SiO_2 в 5% KOH
0—5	0.12	3.28	3.88	0.57	1.10	0.13	0.10	0.06	10.12
8—13	0.14	4.95	6.64	0.64	1.62	0.10	0.09	0.07	13.31
15—20	0.15	5.22	7.24	0.63	1.90	0.11	0.09	0.07	14.39
24—29	0.13	5.07	6.58	0.68	1.98	0.13	0.08	0.07	14.42
35—40	0.13	4.66	6.22	3.36	2.09	0.15	0.06	0.06	10.88
45—50	0.12	4.19	5.52	7.00	2.20	0.12	0.06	0.05	11.13
195—200	0.12	3.84	5.05	6.19	2.03	0.09	0 07	0.06	10.20

Таблица дает отчетливую картину осолонцевания горизонтов 0—25 см (щелочность) и периодического засоления нижней части профиля, выражающегося в развитии резко выраженного сульфатно-гипсового максимума в горизонте 50—55 см.

Обращаясь к валовому анализу и солянокислой вытяжке из разреза № 7 (табл. 78, 79, 80), можно видеть, что по отношению к условно исходному горизонту 195—200 см в элювиальном горизонте почвы произошли значительные изменения в процессе эволюции солонцов. Рассоление и осолонцевание сопровождались следующим рядом явлений: интенсивно возросло содержание P_2O_5, содержание MnO (на 23%), TiO_2 (на 17%). Это возрастание необходимо отнести на счет потери при рассолении и осолонцевании CaO (—5%), MgO (—44%), щелочей, Fe_2O_3 (—20%) и Al_2O_3 (—9%) (табл. 78, 79 и 80).

Соответственно этим изменениям ряд подвижностей соединений и порядок относительных скоростей их вынесения из верхнего горизонта при солонцовом процессе данной стадии рисуются в следующем виде, начиная от самых стойких:

$$P_2O_5,\ MnO,\ TiO_2,\ SiO_2,\ CaO,\ Al_2O_3,\ Fe_2O_3,\ MgO.$$

Таблица 80

Данные валового анализа горизонтов остаточно-солончаковатого солонца

(в пересчете на безгумусную и бескарбонатную массу; в %). Разрез № 7

Окислы	0—5 см	15—20 см	195—200 см	0—5 в % от 195—200	15—20 в % от 195—200	15—20 в % от 0—5
SiO_2	79.24	73.57	75.84	+ 4	— 5	— 8
Al_2O_3	12.25	15.85	13.44	— 9	+18	+29
Fe_2O_3	4.08	6.28	5.09	—20	+23	+54
TiO_2	0.82	0.80	0.70	+17	+14	— 3
MnO	0.16	0.13	0.13	+23	± 0	—19
CaO	1.98	1.33	2.09	— 5	—37	—33
MgO	1.44	2.31	2.70	—44	—15	+60

Нельзя, однако, рассматривать процесс вынесения соединений из элювиального горизонта как односторонний. Очевидно, соединения фосфора не только относительно накопляются, но и аккумулируются растительностью. То же, повидимому, надо сказать и о кальции, занявшем не свойственное ему в солонцах другого ряда место — выше алюминия. Здесь мы впервые сталкиваемся если не с биологическим накоплением кальция в процессе остепнения, то, по крайней мере, с задержкой его вынесения.

Этот ряд не означает также и того, что фосфор, алюминий и кремнекислота не мигрируют в нижние горизонты солонца.

Об этом можно судить хотя бы потому, что P_2O_5, Al_2O_3, SiO_2, не говоря уже о Fe_2O_3, накопляются в столбчатом горизонте или близ него, образуя иллювиальный горизонт. Этот процесс заметен как по данным валового анализа, так и по HCl-вытяжке.

Судя по валовому анализу, в иллювиальных горизонтах наиболее подвержен задержке MgO, затем Fe_2O_3 и потом уже Al_2O_3. Это опять-таки полностью укладывается в общий ряд подвижности соединений в солонцах на данной стадии.

Совершенно не прослеживается процесс иллювиирования в отношении MnO и TiO_2, хотя последний относительно и накопляется по сравнению с материнской породой.

Кремнекислота переживает двойной процесс. Кварц как остаточный продукт накопляется в верхних осолодевающих горизонтах. Кремнекислота силикатов и алюмосиликатов, судя по вытяжке 5% KOH, мигрирует вниз, накопляется в уплотненных горизонтах и, несомненно, является одной из причин их цементации. По сравнению с предшествующими стадиями солонцового процесса (исключая содовых) вмывание кремнекислоты в иллювиальный горизонт и количество SiO_2, растворимой в KOH-вытяжке, значительно упало. Это может быть отнесено за счет общего выноса кремнекислоты со щелочами из профиля почвы.

Таблица 81

Обменные основания в остаточносолончаковатом солонце. Разрез № 7.

(Аналитик Л. Мамаева)

Глубина в см	В %			В м.-экв.			
	$Ca^{\cdot\cdot}$	$Mg^{\cdot\cdot}$	$Na^{\cdot}$	$Ca^{\cdot\cdot}$	$Mg^{\cdot\cdot}$	$Na^{\cdot}$	Сумма
0—5	0.27	0.06	0.11	13.41	8.88	4.69	26.98
8—13	0.35	0.09	0.31	17.62	7.79	13.18	38.59
15—20	0.37	0.13	0.36	18.50	10.44	15.60	44.54
24—29	0.17	0.11	0.43	8.73	9.31	18.57	36.61

Но, с другой стороны, возможно и закрепление кремнекислоты в форме вторичных стойких (переходных к кварцу) минералов, менее растворимых в KOH (опал, халцедон).

По всей вероятности, второе соображение надо временно отбросить, по крайней мере для настоящего разреза. Кремнекислота во всем профиле хорошо коррелирует с Al_2O_3, сохраняя с ним всюду отношение, близкое к 4 : 1.

Однако в противоположность предшествовавшим случаям десиликация здесь не выражена. Больше того, заметно как бы некоторое накопление подвижной SiO_2 в элювиальном горизонте.

Состав поглощенных катионов остаточносолончаковатых солонцов характеризуется еще сравнительно заметными величинами обменного Na даже для столбчатого горизонта (табл. 81). Так, по данным Антипова-Каратаева, Панкова и Шаврыгина, в солонцах, судя по их описанию, близких к остаточносолончаковатым, сумма обменных оснований («емкость») равна 30—40 м.-экв. На долю Na падает 10—12—15 м.-экв., т. е. 25—35%. Бо́льшая доля суммы обменных оснований падает на Mg — 7—10, 12—18 м.-экв., что составляет до 17—50% суммы. В столбчатом горизонте нашего разреза (№ 7), например, установлено 15.6—18.5 м.-экв.

обменного натра, что составляет около 30—50% от суммы обменных оснований (44—36 м.-экв.). Солонец, вскрытый разрезом № 7, лишь в слабой степени затронут процессами остепнения, и его поглощающий комплекс хотя и характеризуется меньшей ролью обменного натра, чем в содовых солонцах и солонцах-солончаках, но все же она велика (табл. 81).

2. Солонцы остаточнослабосолончаковатые

Солонцы этого типа развиваются на вторых или третьих речных и приморских террасах засушливого юго-востока. Террасы рассечены обычно оврагами; русла рек врезаны глубоко (до 8—10 м); условия естественного дренажа хорошие. Грунтовые воды находятся на глубине 8—10 м. Основные признаки профиля солонца выражены полно и отчетливо.

Мощный, до 15—20 см, элювиальный горизонт подстилается хорошо выраженным столбчатым горизонтом с общей мощностью 15—25 см. Столбчатый горизонт затронут разрушением — столбчатая отдельность непрочная, а плотность пониженная. Вскипание от HCl появляется с 30—40 см.

Карбонатный горизонт приобретает особую выраженность; он начинается в среднем с 40—45 см. Мощный и плотный, с резкими пятнами белоглазок, он по своей плотности часто выше столбчатого горизонта.

Плотность и цементированность его мы связываем с явлением окремнения, сущность которого нами рассмотрена выше. Соответственно развитости карбонатного горизонта гипсовые конкреции опущены в глубокие горизонты. Конкреции гипса появляются лишь с глубины 90—150 см.

В качестве образцового примера ниже приводится описание разреза № 5 со второй террасы р. Малый Узень (Г. И. Григорьев).

Разрез № 5. Глубокостолбчатый солонец. Расположен в 2.5 км к З. от пос. Орловки.

Растительность: *Artemisia pauciflora* (преимущественно), *Pyrethrum achileifolium.*

0—16 см. Серый, рыхлый, неясно-комковатый; в комочках заметна слоистость. На глубине 15—16 см листоватая структура.

16—30 см. Темнокоричневый, столбчатый, разбит мелкими вертикальными трещинами. Диаметр столбиков 1—3 см. Верхушки столбиков покрыты осолоделой белесой корочкой. Плотнее предыдущего горизонта.

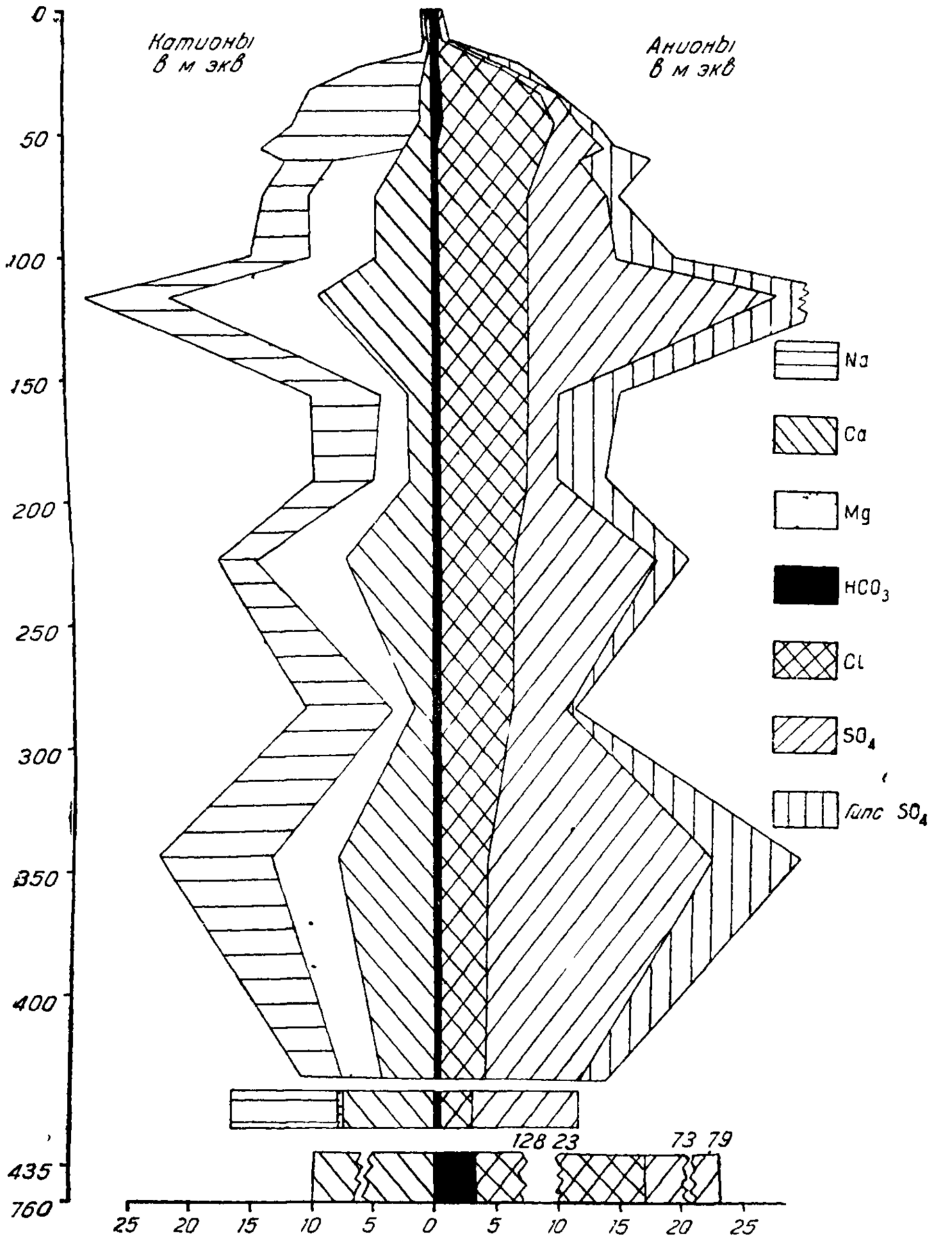
30—57 см. Желто-бурый, мало гумусированный суглинок (сероватый оттенок) со столбчатыми отдельностями, распадающимися на крупные комки. Плотнее предыдущего. Вскипание — с 30 см. С 45 см появляются неясные, расплывчатые пятна карбонатов в смеси с редкими прожилочками гипса. Вскипание бурное.

57—72 см. Очень плотный, с отчетливо выраженными белыми пятнами карбонатов. Разбит сетью мелких трещин и распадается на мелкие плитки и кубики. Вскипание бурное.

72—111 см. Желто-бурый плотный суглинок. Структура такая же, как у предыдущего. Редкие прожилочки и пятнышки сульфатов.

111—200 см. Желто-бурый однородный суглинок. На глубине 111—125 см максимум выделений сульфатов в виде жилочек и пятнышек. С 125 до 200 см — сульфаты.

Ниже 200 см. Желто-бурый суглинок, плотный. Заметное повышение влажности наблюдается с 300 см, отдельные прослойки суглинка ниже этой глубины имеют неравномерное увлажнение, что указывает на его слоистость. Грунтовая вода на глубине 7.7 м



Фиг. 14. Сочевой профиль остаточнослабо солончаковатого солонца II терраса р. Малый Узень. Разрез №5

Таблица 82

Остаточнослабосолончаковатый солонец. Данные анализа SO_4 гипса, CO_2, полевой влажности и водной вытяжки (в %/м.-экв. на сухую почву). II терраса р. Малый Узень; Заволжье. Разрез № 5. (Аналитик М. М. Беспалова)

Глубина в см	Сухой остаток	Щелочность		Cl′	SO''_4	Ca··	Mg··	Na·	SO_4 гипса	CO_2	Глубина образца в см	Полевая влажность в %
		CO''_3	HCO'_3									
0—5	1.104	Нет	0.032 / 0.52	0.003 / 0.08	0.012 / 0.25	0.012 / 0.60	0.0001 / 0.008	0.0038 / 0.17	Нет	Нет	0—5	11.55
											5—10	15.30
12—16	0.139	»	0.033 / 0.54	0.013 / 0.37	0.024 / 0.50	0.007 / 0.35	0.0014 / 0.12	0.0046 / 0.20	0.0082	»	10—15	14.89
											15—25	15.34
16—21	0.257	»	0.035 / 0.57	0.083 / 2.34	0.119 / 0.40	0.004 / 0.20	Нет	0.0118 / 0.51	Не опр.	»	25—30	14.21
											35—40	12.40
21—26	0.359	»	0.032 / 0.52	0.147 / 4.15	0.030 / 0.62	0.010 / 0.50	0.0006 / 0.05	0.109[1] / 4.74	0.060	»	45—50	11.61
											55—60	12.99
30—35	0.655	»	0.045 / 0.74	0.275 / 7.76	0.058 / 1.21	0.017 / 0.85	0 002 / 0.16	0 200 / 8.70	0.005	2.29	65—70	13.45
											75—80	14.19
45—50	0.813	»	0.037 / 0.61	0.32 / 9.02	0.081 / 1.69	0.023 / 1.15	0.0009 / 0.07	0.2320 / 10.10	0.077	6.42	85—90	15.11
											95—100	15.89
55—60	0.930	»	0.037 / 0.61	0.31 / 8.74	0.225 / 4.68	0.049 / 2.45	0.0017 / 0.14	0.2630 / 11.44	0.035	9.06	105—110	17.13
											115—120	16.80
60—65	0.908	»	0.024 / 0.39	0.30 / 8.46	0.134 / 2.79	0.060 / 2.99	0.06 / 4.93	0.086 / 3.72	0.2716	8.40	125—130	16.89
											145—150	18.01
75—80	1.036	»	0.021 / 0.34	0.26 / 7.33	0.298 / 6.20	0.092 / 4.59	0.068 / 5.59	0.085 / 3.69	0.039	7.04	165—170	17.63
											185—190	17.11
100—105	0 131	»	0.017 / 0.28	0.26 / 7.33	0.34 / 7.08	0.093 / 4.64	0.064 / 5 26	0.110 / 4.79	0 227	6.16	205—210	17.90
											225—250	17.48
											245—250	16 39

115—120	2.126	»	0.016 / 0.26	0.26 / 7.33	1.008 / 20.99	0.184 / 9.18	0.156 / 12.83	0.1510 / 6.57	0.3428	4.79	265—270	18.56
											285—290	17.64
155—160	0.684	»	0.026 / 0.43	0.26 / 7.33	0.11 / 2.29	0.042 / 2.10	0.028 / 2.30	0.1300 / 5.65	Не опр.	5.10	305—310	17.31
											325—330	17.32
190—230	0.722	»	0.024 / 0.39	0.25 / 7.05	0.11 / 2.29	0.04 / 1.99	0.036 / 2.96	0.1100 / 4.78	0.163	5.28	345—350	17.68
											365—370	17.29
220—230	1.401	»	0.022 / 0.36	0.20 / 5.64	0.55 / 11.45	0.144 / 7.19	0.088 / 7.24	0.07 / 3.03	0.1213	5.10	385—390	16.95
											405—410	16.42
280—290	0.678	»	0.024 / 0.39	0.20 / 5.64	0.21 / 4.37	0.031 / 1.56	0.039 / 1.80	0.161 / 7.07	0.0316	4.84	425—430	18.49
											445—450	16.58
340—350	1.939	»	0.009 / 0.009	0.14 / 3.95	0.87 / 18.11	0.154 / 7.70	0.08 / 5.58	0.205 / 8.93	0.3536	4.84	465—470	21.20
											485—490	17.55
440—450	0.926	»	0.02 / 0.33	0.13 / 3.67	0.36 / 7.50	0.082 / 4.10	0.05 / 3.11	0.074 / 3.21	0.109	4.75	525—530	20.48
											545—550	24.00
605—615	0.495	»	0.027 / 0.44	0.12 / 3.38	0.12 / 2.50	0.036 / 1.81	0.02 / 0.64	0.089 / 3.87	0.0226	4.66	565—570	21.88
											585—590	19.90
680—690	0.591	»	0.024 / 0.39	0.12 / 3.38	1.23 / 4.79	0.034 / 1.71	0.024 / 0.97	0.135 / 5.88	0.1934	5.02	605—610	20.91
											625—630	21.35
760—770	0.398	»	0.027 / 0.44	0.09 / 2.54	0.36 / 7.50	0.031 / 1.56	0.016 / 0.32	0 097 / 8.60	0.1235	5.41	645—650	21.71
											665—670	25.42
											685—690	23.90
											705—710	22.92
С 770—780 грунтовая вода в г/л	Не опр.	0.010 / 0.33	0.211 / 3.29	4.547 / 128.23	3.544 / 73.79	0.710 / 35.45	Не опр.	Не опр.	—	—	720—725	22.82
											735—770	22.78
											765—770	24.94

[1] Здесь и ниже Na⁺ высчитан по разности.

Солевой профиль этих солонцов характеризуется опресненностью на большую глубину. Максимум солей располагается лишь на глубине 1.0—2.0 м и не превышает 1.5—2.5%; там же расположен и максимум конкреций гипса. Щелочность в солонцовых горизонтах не велика — 0.03—0.04% HCO'_3. Щелочность от нормальных карбонатов не установлена (табл. 82).

В табл. 82 приводится анализ водной вытяжки из солонца, описанного выше (разрез № 5).

Анализ полевой влажности (табл. 82) дает основание думать, что капиллярное поднятие солей и растворов распространяется на значительную высоту — около 3 м. Здесь влажность измеряется величинами 21.2—24.9%.

Но движение солей, повидимому, не прекращается на этих точках. Максимум скопления солей находится на глубине 115—120 см, максимум же хлоридов подымается еще выше и находится на глубине 45—50 см. До точки скопления максимума солей бо́льшая часть профиля имеет влажность 16.4—18.5% (фиг. 14).

Таким образом в части профиля, расположенной выше 3 м над уровнем грунтовых вод, миграция солей обязана лишь пленочным растворам.

Аналогичным примером может служить приводимый ниже анализ водной вытяжки (данные в %) из остаточнослабосолончаковатого солонца Сев. Крыма — терраса Сиваша (табл. 83).

Таблица 83

Остаточнослабосолончаковатый солонец. Северный Крым. Разрез № 181.

(Аналитик П. Розмахов)

Глубина в см	Сухой остаток	Минеральный остаток	Щелочность		Cl′	SO_4''	$Ca^{\cdot\cdot}$	$Mg^{\cdot\cdot}$	Валовая SO_4
			CO_3''	HCO_3'					
1—5	0.08	0.03	Не обн.	0.02	Не обн.	Следы	Следы	Следы	0.05
8—14	0.16	0.11	» »	0.01	0.05	»	0.01	»	0.07
15—21	0.24	0.17	» »	0.04	0.02	»	0.01	0.01	0.07
28—34	0.28	0.21	» »	0.05	0.09	»	0.01	Следы	0.08
64—70	0.63	0.59	Следы	0.04	0.05	0.07	0.01	0.01	6.69
95—101	1.18	0.67	»	0.02	0.44	0.16	0.04	0.02	0.59
210—220	1.11	0.93	»	0.03	0.43	0.10	0.03	0.02	2.07

Изучение результатов валового анализа и данных солянокислой вытяжки (табл. 84, 85 и 86) позволяет видеть ряд новых особенностей в миграции элементов на данной стадии. Прежде всего бросается в глаза накопление кальция, которое заметно как в элювиальном (0—5 см), так и иллювиальном (16—21 см) горизонтах (+19%). Это явление впервые в слабой степени подмечается уже в предшествовавшем типе солонцов. Здесь оно выражено особенно резко. Аккумуляцию кальция мы относим за счет биологического круговорота зольных элементов при развитии полынно-гиперовой растительности. Одновременно с этим марганец, кремнекислота, алюминий остались в стабильном состоянии. Сильному выносу из элювиального горизонта подверглись титан (—64%), магний (—61%)

Таблица 84

Остаточнослабосолончаковатый солонец. Валовой анализ (в % на сухую почву). Разрез № 5.
(Аналитик Г. Кадер)

Глубина в см	SiO_2	$Al_2O_3+P_2O_5$	Fe_2O_3	TiO_2	MnO	CaO	MgO	Потеря при прокаливании	Сумма	Гигроскопическая вода
0—5	70.18	10.72	3.84	0.54	0.12	1.78	1.22	5.35	93.75	2.70
12—16	71.36	10.25	4.37	2.51	0.12	1.88	1.10	5.04	96.63	3.47
16—21	63.86	14.14	6.65	1.81	0.09	1.81	2.27	6.68	97.31	6.27
21—26	63.99	3.88	6.87	1.76	0.09	1.76	2.03	6.84	97.22	6.13
30—35	62.10	12.27	6.01	1.61	0.09	4.58	2.19	7.99	96.84	5.11
45—50	56.53	11.49	4.92	1.57	0.08	10.38	2.39	11.08	98.44	4.14
60—65	55.16	12.09	4.44	1.35	0.08	11.98	2.17	11.74	99.01	3.96
190—195	59.82	9.17	5.58	1.35	0.10	8.08	2.84	8.26	95.20	4.57

Таблица 85

Анализ вытяжки 20% HCl (в % на сухую почву)

Глубина в см	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	P_2O_5	TiO_2	MnO	CaO	MgO	Na_2O	K_2O	SiO_2 в 5% KOH	Гигроскопическая вода
0—5	0.09	4.20	3.39	0.06	0.17	0.10	0.51	0.96	0.35	0.54	15.02	2.73
12—16	0.09	4.77	3.89	—	0.20	0.12	0.49	1.09	0.18	0.62	11.00	3.47
16—21	0.12	8.16	6.09	0.11	0.24	0.09	0.69	1.95	0.96	0.45	17.63	6.27
21—26	0.10	7.84	6.00	0.09	0.13	0.09	0.75	2.01	1.62	0.65	17.44	6.13
30—35	0.08	6.82	5.21	—	0.12	0.08	3.85	2.00	1.96	0.64	16.94	5.11
45—50	0.08	5.24	4.42	0.05	0.14	0.06	8.92	2.38	1.21	0.60	14.29	4.14
60—65	0.05	5.94	4.14	0.09	0.16	0.08	11.13	1.69	1.92	0.69	14.18	3.96
190—195	0.05	5.61	4.79	—	0.14	0.08	6.92	2.01	1.61	0.66	15.62	4.57

и железо (—38%). Возможно, что эти процессы протекают не столько сейчас, сколько остались от предшествующей истории осолодевания солонца. В меньшей степени, но все же вполне отчетливо, вынос соединений железа и магния заметен и на глубине 16—21 см.

Но уже алюминий и титан обнаруживают здесь относительно материнской породы заметную аккумуляцию (TiO_2+20%, Al_2O_3 +38%). Общая последовательность выноса соединений и их подвижность в горизонте 0—5 см для данных условий рисуется в следующем восходящем порядке:

$$CaO,\ MnO,\ SiO_2,\ Al_2O_3\ Fe_2O_3,\ MgO,\ TiO_2.$$

Исключая кальций и титан, соотношение между членами ряда осталось тем же, что и прежде (табл. 86).

В формировании иллювиального горизонта, выщелачиваясь из элювиального, активно участвуют титан (+229%), магний (+75%), железо (+71%), алюминий (+30%). Марганец и кремнекислота, по данным валового анализа, в иллювиальный горизонт не вмываются, хотя при разборе материалов HCl- и KOH - вытяжек марганец проявляет повышенную растворимость в горизонте 12—16. Значительно отчетливее по данным вытяжек прослеживается аккумуляция в иллювиальных горизонтах кремнекислоты.

Отношение между SiO_2 и Al_2O_3 в данном разрезе по профилю еще сильнее подчеркивает некоторое накопление кремнекислоты в элювиальном горизонте.

Здесь отношение SiO_2 : Al_2O_3 равно 6 : 1, в то время как в иллювиальном горизонте 3.5 : 1 и в материнской породе 5 : 1.

Таблица 86

Данные валового состава горизонтов остаточнослабосолончаковатого солонца
(в пересчете на безгумусную и бескарбонатную массу). Разрез № 5

Окислы	0—5 см	16—21 см	190—195 см	0—5 в % от 190—195	16—21 в % от 190—195	16—21 в % от 0—5
SiO_2	79.90	70.23	74.58	+ 6	— 6	— 11
Al_2O_3	12.12	15.78	11.43	+ 6	+38	+ 30
Fe_2O_3	4.34	7.42	6.95	—38	+ 7	+ 71
TiO_2	0.61	2.01	1.68	—64	+20	+229
MnO	0.13	0.10	0.12	+ 8	—17	— 23
CaO	2.01	2.01	1.69	+19	+19	± 0
MgO	1.38	2.42	3.54	—61	—32	+ 75

Состав поглощенных оснований, судя по имеющимся материалам Антипова-Каратаева (170) и нашим, в солонцах данного типа близок к предшествующим остаточносолончаковатым. Но в то же время уже заметно уменьшение роли обменного Na и возрастание значения Ca. Сумма обменных оснований доходит до 30—40 м.-экв.

Количество обменного Na редко достигает 10 м.-экв. и обычно равно 7.0—9.0 м-экв. Относительное содержание обменного Na таким образом равно 15—25%, изредка подымаясь выше.

Ниже приводится в качестве примера (табл. 87) состав поглощенных катионов в остаточнослабосолончаковатом солонце из Заволжья (разрез № 5).

Таблица 87

Обменные катионы в остаточнослабосолончаковатом солонце. Разрез № 5.
(Аналитик Л. Мамаева)

Глубина в см	В %			В м.-экв.			
	$Ca^{\cdot\cdot}$	$Mg^{\cdot\cdot}$	$Na^{\cdot}$	$Ca^{\cdot\cdot}$	$Mg^{\cdot\cdot}$	$Na^{\cdot}$	Сумма
0—5	0.29	0.16	0.07	14.15	15.07	2.95	32.15
12—16	0.30	0.21	0.20	15.13	17.59	8.66	41.40
16—21	0.45	0.09	0.22	22.36	7.65	9.71	39 72

В этом анализе в особенности бросается в глаза значительное уменьшение количества обменного натра и обменного магния и, наоборот, увеличение количества обменного кальция до 22 м.-экв., т. е. до 50% от суммы. Впрочем, для солонцового горизонта содержание обменного натра сохраняется также не ниже 20—25%.

3. Солонцы безгипсовые — остепненные

Дальнейшее развитие солонцового процесса в ряду остепнения характеризуется полным отрывом почвенного профиля от грунтовых вод вследствие их дальнейшего опускания, развертыванием интенсивного промывания солонца, заселением его более богатой кальцием растительностью и рассолонцеванием.

Солонцы этого типа в Поволжье и Ставрополье приурочены к наиболее древним поверхностям рельефа. В частности, в Заволжье они развиваются на третьих террасах рр. Еруслана, Б. и М. Узень, Иргиза, Мочи. Развиваются они также и на поверхности второстепенных водоразделов, иногда даже подымаясь на такие водоразделы, как Заволжские сырты или Ергеня.

Почвоведом Розмаховым описаны аналогичные солонцы в Северном Крыму.

Грунтовые воды в этих районах обычно находятся на глубине 10—15 м и ниже.

В группе этих солонцов можно различать два частных случая: первый, когда верхняя почвообразующая толща подстилается песчаным грунтом, играющим роль усиленного дренажа. Этот сравнительно частный случай характеризуется крайними степенями «отмытости» профиля от хлоридов и сульфатов.

В этом случае гипс может отсутствовать в профиле до глубины 3—4 м.

Второй случай наблюдается чаще. В этом случае солонец, оторванный от грунтовых вод в процессе поднятия страны и ее расчленения, развивается на обычном суглинистом более или менее лёссовидном грунте. Опресненность профиля здесь не достигает столь крайних степеней. Остепнение солонца протекает на грунте, который на глубинах 2—3 м очень слабо солончаковат и гипсоносен. Рассмотрим попутно солонцы обоих случаев.

Остепненные солонцы характеризуются глубоким солонцовым горизонтом (с 20—25 см), отличающимся еще хорошо выраженной столбчатой или призмовидной структурой, однако уже с признаками ее разрушения.

Уровень грунтовых вод под этими солонцами залегает, как правило, на глубине не менее 10—15 м. Минерализованность грунтовых вод очень слаба: содержание Cl не превышает 10 мг/л, SO_4 содержится в несколько больших количествах.

Вскипание с HCl в профиле начинается на нижней границе солонцового горизонта, с 30—45 см. Выделения карбонатов всегда в виде очень хорошо выраженной белоглазки появляются на глубине 50—70—100 см. Уплотненность горизонта выделений карбонатов превышает плотность вышележащего солонцового горизонта, что необходимо связать с процессами окремнения вторичным силикатом кальция и особенно магния или же гелями SiO_2, выпадающими там же, где и карбонаты кальция. В случаях развития солонцов на лёссовидных суглинках и глинах гипс в виде тонких прожилочек появляется на глубине 170—200 см. В более высоких горизонтах — горизонтах почвенных — гипс замещен карбонатами кальция полностью. Ниже 2 м наблюдаются выделения гипса в виде непрочных кристаллических друз, причем некоторые друзы совершенно выщелочены и в местах их бывшего нахождения можно наблюдать небольшие пустоты. На грунтах, залегающих на сушесях или песках, развиваются солонцы, уже полностью свободные по всему профилю от гипса, как, например, в разрезе № 186.

Таким образом часто наиболее рассоленные остепняющиеся солонцы развиты не на водоразделах, чего было бы естественно ожидать, а на третьих надпойменных террасах.

Процесс рассоления здесь проходит значительно быстрее вследствие более легкого механического состава слагающих террасы пород, и, особенно, вследствие лучших условий естественного дренажа.

Так, например, разрез № 186, представляющий собой глубокостолбчатый солонец третьей террасы р. Еруслана, до 280 см не содержит Cl, SO_4 и гипса. Ниже 280 см соли появляются в очень малых количествах. Зато здесь развит на глубине 55—180 см мощный горизонт конкреций карбонатов, который, на ряду с развитым солонцовым горизонтом, является признаком поздней безгипсовой стадии солонцового процесса.

Описание разреза № 186, заложенного на третьей террасе р. Еруслана (Глазовская).

0—20 см. Рыхлый, палевосерый, слоеватый, в нижней части разбит на плитчатые отдельности.

20—30 см. Очень плотный, коричневый, разбит на призматические отдельности, тяжелосуглинистый.

30—50 см. Желто-бурый, менее плотный, чем предыдущий.

50—110 см. Плотный горизонт выделений карбонатов в виде крупных пятен и мелких, очень многочисленных вкраплений. Граница вскипания очень резка. На глубине 50 см — супесь.

140—160 см. Карбонаты в виде отдельных редких вкраплений. Ниже — до 300 см — идет мелкозернистый плотный песок без включений карбонатов и гипса. Анализ водной вытяжки образцов этого разреза обнаружил следы Cl и SO_4 лишь на глубине 280 см.

Уровень грунтовых вод на 15—20 м.

В условиях менее интенсивного дренирования на низких сыртовых водоразделах солонцы данной стадии в самых нижних частях своего профиля еще содержат некоторые количества гипса на глубине 200—350 см.

В качестве примера приведем описание остепненных безгипсовых солонцов древних высоких террас.

Разрез № 14. Заложен в 500 м к ЮЮЗ от с. Ганновки. Остепненный солонец. Третья терраса р. Малый Узень в Заволжье. Растительность — *Artemisia maritima incana* (преимущественно) и *Festuca sulcata.*

0—13 см. Темносерый, комковатый, рыхлый, густо переплетен корнями. Переход к следующему горизонту неясный.

13—33 см. Более интенсивно окрашенный, с темнобурым оттенком, с разрушенной, плохо выраженной столбчатой структурой. Плотнее предыдущего. Граница по окраске ясная, извилистая.

33—50 см. Желто-бурого цвета со слабой гумусовой окраской. Вскипание с 33 см слабое, с 35 см — сильное.

50—85 см. Желто-бурый, с белесым оттенком, очень плотный суглинок. Покрыт сетью мелких трещин. Густо усыпан пятнами карбонатов Ca (белоглазка). Вскипание бурное. Структура призмовидно-ореховатая.

85—130 см. Желто-бурый плотный суглинок. Структура предыдущего. Выделений солей не наблюдается.

130—200 см. Такого же цвета. Плотность со 150 см уменьшается.

Ниже 200 см. Желто-бурый суглинок, однородный до глубины 700 см. С глубины 200 до 350 см выделения гипса в виде прожилок и пятнышек. С 550 см появляются отдельные включения мелких зерен карбонатов Ca (изредка примешиваются выделения сульфатов), которые на глубине 680—700 см встречаются в большом количестве и так идут до дна буровой (10 м). Суглинок с 700 до 800 см значительно опесчанен. Ниже 800 см в профиле наблюдается ясное оглеение.

Как показывает водная вытяжка (табл. 88) из образцов описанного профиля, остепненный солонец значительно опреснен. Лишь на глубине 150 см сумма солей достигает 0.25% и только на 250 см подымается до максимальной величины — 1.68%. В составе солей в верхней части профиля преобладают карбонаты, а в нижней — сульфаты. Гипс в заметных, но небольших количествах (0.45% SO_4) появляется только с 3.5 м.

В верхних горизонтах до 60 см щелочность равна всего лишь 0.0683% HCO'_3, относясь на углекислый Ca и Mg.

Отметим, что полуторные окислы в водную вытяжку не переходят совсем, а количество кремнекислоты достигает не больше 0.0041% SiO_2. Зато обнаруживается ясная тенденция некоторого накопления водорастворимых солей кальция в верхней части профиля.

Остепненный безгипсовый солонец. Данные
и водной вытяжки (в %/м.-экв
(Аналитик

Глубина в см	Гигроскопическая вода	Сухой остаток	Щелочность		Cl′	SO''_4	SiO_2
			CO''_3	HCO'_3			
0—5	4.82	0.0661	—	0.0402 / 0.66	Нет	Нет	0.0041 / 0.14
10—15	6 01	0 0946	—	0.0476 / 0.78	»	»	0.0024 / 0.08
15—20	6 81	0 0644	—	0.0293 / 0.48	»	»	0.0015 / 0.05
25—30	6.68	0 0621	—	0.0200 / 0.32	Следы	Следы	0.0019 / 0.06
35—40	5.55	0 0603	—	0.0380 / 0.62	»	»	Нет
55—60	4.11	0 0688	—	0 0683 / 1.12	»	»	»
80—85	4.50	0.1099	—	0.0520 / 0.85	»	0.0025 / 0.05	»
100—105	4 67	0.1571	0.40 / 0.03	0.0590 / 0.97	0.0074 / 0.21	0.0043 / 0.09	»
130—135	4.79	0.1764	0.20 / 0.07	0.0660 / 1.08	0.0222 / 0.63	0.0043 / 0.09	»
150—155	5.21	0.2394	0.030 / 0.10	0.0660 / 1.08	0.0373 / 1.05	0 0374 / 0.78	»
195—200	4.60	0.9612	0.0024 / 0.08	0.0280 / 0.46	0.0575 / 1.62	0.5460 / 11.37	»
240—250	5.24	1 6847	Нет	0.0220 / 0.36	0.0928 / 2.62	0.9845 / 20.49	»
350—360	4 76	0.6362	0.0112 / 0.04	0.0305 / 0.50	0.0808 / 2.28	0.0316 / 0.65	»
410—420	4.50	0.6220	0.0024 / 0.08	0.0512 / 0 84	0 0680 / 1.92	0.0638 / 1.32	»
680—690	5.16	0.1781	0.0048 / 0.16	0 0658 / 1.08	0.0242 / 0.68	0.0242 / 0.49	»
790—800	5.06	0.1680	0.0024 / 0.08	0.0682 / 1.12	0.0106 / 0.30	0.0180 / 0.36	»
940—1000	5 00	6.1378	0.0072 / 0.24	0.0475 / 0 78	0.0094 / 0.27	0.0147 / 0.30	»

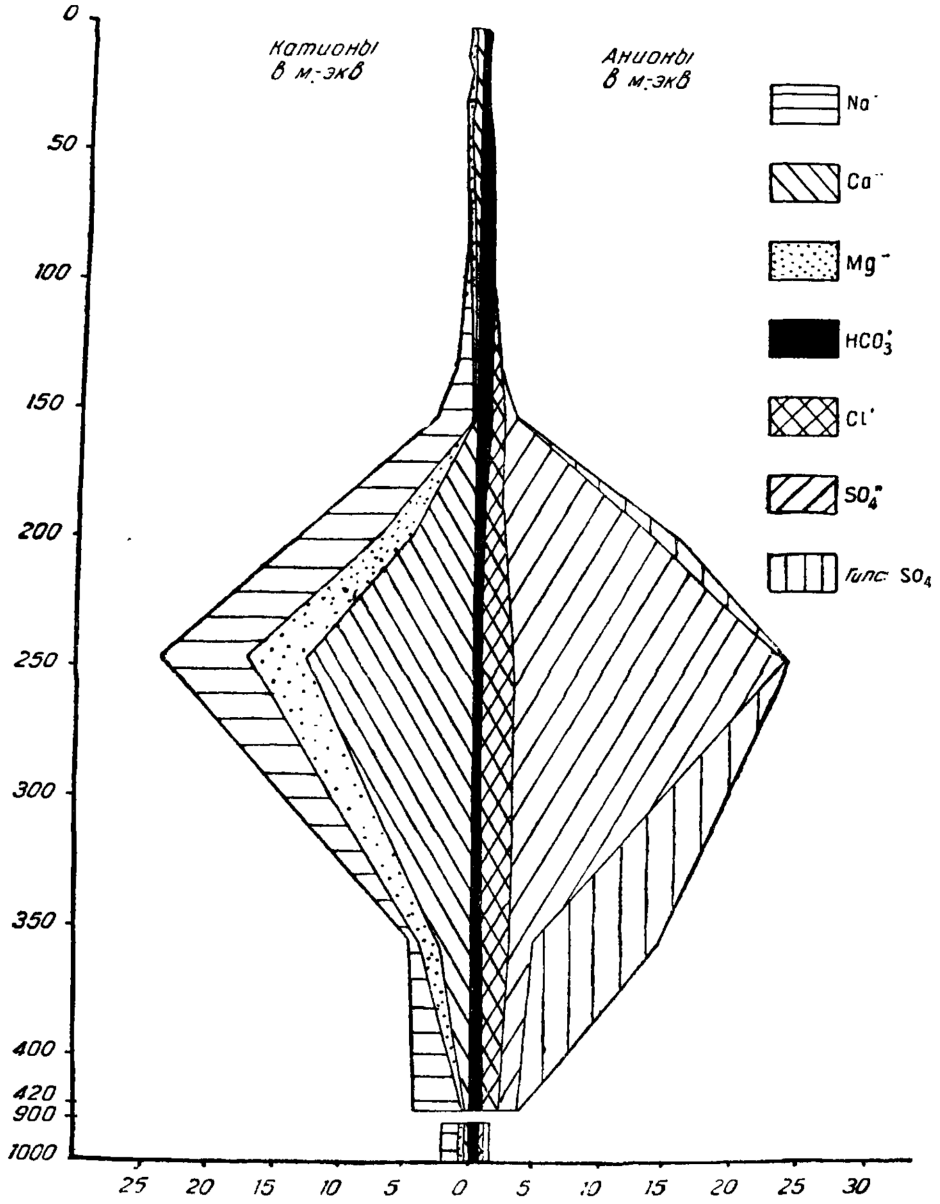
[1] Здесь и ниже Na· высчитано по разности, т. е. со включением K.

Таблица 88

анализа SO_4 гипса, CO_2, полевой влажности на сухую почву) Разрез № 14
Л Мамаева)

Гумус	Сумма полуторных окислов	Ca	Mg	Na	SO_4 гипса	Глубина образца в см	Полевая влажность в %
—	Нет	0 0068 / 0 34	0 0037 / 0 30	0 008 / 0 03	Нет	0—5	8 4›
						5—10	9 88
—	»	0 0086 / 0 43	0 0060 / 0 49	0 002 / 0 01	»	10—15	10 37
						15—20	10 40
—	»	0 0060 / 0 30	0 0028 / 0 2›	Нет	0 0003	20—30	10 44
						30—40	10 48
—	»	Следы	Следы	›	—	40—50	9 23
						50—60	8 95
—	»	0 0137 / 0 68	»	›	—	60—70	7 87
						70—80	7 50
—	»	0 009‹ / 0 46	0 0060 / 0 49	0 002 1 / 0 07	Нет	80—90	8 6›
						90—100	8 69
—	›	0 0055 / 0 27	0 0046 / 0 38	0 005 / 0 25	0 000›	100—110	17 99
						120—130	9 08
—	›	0 0042 / 0 21	0 0041 / 0 34	0 017 / 0 72	0 0030	140—150	10 26
						160—170	9 8›
—	»	0 0043 / 0 21	0 0027 / 0 22	0 031 / 1 37	0 0008	180—190	10 46
						200—210	11 87
—	»	0 0047 / 0 23	0 0027 / 0 22	0 056 / 2 46	0 0070	220—230	12 52
						240—250	12 26
—	›	0 0922 / 4 60	0 0319 / 2 62	0 143 / 6 23	0 0556	280—290	13 81
						320—330	13 46
—	»	0 2516 / 12 56	0 0580 / 4 77	0 141 / 6 14	0 0256	360—370	1› 21
						400—410	14 31
—	»	0 0485 / 2 44	0 0178 / 1 46	0 007 / 0 32	0 458	440—450	14 84
						480—490	13 97
—	›	0 0064 / 0 32	0 0020 / 0 16	0 083 / 3 60	0 0111	520—530	15.10
						550—560	14 98
—	›	0 0047 / 0 23	0 0013 / 0 11	0 044 / 1 97	0 000›1	620—630	15 71
						650—660	15 42
—	›	0 0057 / 0 28	0 0010 / 0 08	0 033 / 1 42	0 0029	690—700	14 59
						730—740	17 38
—	›	0 0044 / 022	0 0036 / 0 30	0 019 / 1 083	0 0038	780—790	20 42
						820—830	20 42
						860—870	21 66
						900—910	21 64
						940—950	21 95
						990—1000	20 36

Итак, водная вытяжка в настоящем случае обнаружила при наличии солонцовой морфологии глубоко опресненную почву с небольшой щелочностью и признаками накопления в растворе солей кальция.



Фиг. 15. Солевой профиль остепненного солонца; III терраса р. Малый Узень. Разрез № 14

Строго говоря, подобный состав водорастворимых соединений свойствен не столько солонцам, сколько солонцеватым каштановым почвам, к которым в процессе эволюции и приводит процесс остепнения солонцов.

В Северном Крыму на высокой террасе Сиваша почвоведом И. Розмаховым установлены солонцы, очень сходные по своим свойствам с только что рассмотренными.

Ниже мы приводим анализ водной вытяжки из остепненных безгипсовых солонцов Северного Крыма (табл. 89).

Таблица 89

Остепненный безгипсовый солонец. Данные анализа водной вытяжки и SO_4 гипса (в % на сухую почву). Северный Крым. Разрез № 76. (Аналитик И. Розмахов).

Глубина в см	Сухой остаток	Минеральный остаток	Щелочность HCO'_3	Cl'	SO''_4	$Ca^{\cdot\cdot}$	$Mg^{\cdot\cdot}$	Валовая SO_4
0—5	0.07	0.05	0.019	0.006	0.005	0.01	0.001	0.01
15—20	0.07	0.05	0.029	0.004	0.006	0.003	0.004	0.02
22—27	0.16	0.12	0.030	0.01	0.006	0.004	0.003	0.017
45—50	0.21	0.17	0.074	0.05	0.027	0.004	0.001	0.032
65—70	0.30	0.27	0.050	0.09	0.11	0.001	0.008	0.14
80—85	1.47	1.30	0.027	0.10	0.78	0.14	0.02	1.07
115—120	0.42	0.39	0.053	0.11	0.12	0.012	0.004	0.15
155—160	0.34	0.31	0.052	0.10	0.08	0.008	0.002	0.10
255—265	0.81	0.76	0.034	0.09	0.40	0.05	0.006	0.78
500—510	1.06	0.99	0.040	0.10	0.54	0.04	0.03	0.68
720—730	1.13	0.99	0.038	0.01	0.59	0.04	0.037	0.75
1060—1070	1.95	1.77	0.024	0.07	1.22	0.19	0.013	4.50

Процесс остепнения в солонцах настоящего ряда начинается, конечно, раньше и может быть прослежен на террасах, где эти остепненные солонцы находятся в комплексе с остаточнослабосолончаковатыми.

Появление растительности помимо накопления Ca в верхних горизонтах почвы обрывает также и пленочные токи, направленные к поверхности. Этим прекращается восходящее поступление солей, ослабленное и без того глубоким залеганием грунтовых вод. Рассмотрим случай подобного сильно остепненного солонца, развитого на второй террасе р. Малый Узень близ с. Алексашкино.

Разрез № 6.[1] Растительность: *Pyrethrum achileifolium* (преобладает), *Artemisia pauciflora*, *Kochia prostrata* (отдельные экземпляры).

0—15 см. Темносерый, неясно комковатый с густой корневой системой; рыхлый.

15—30 см. Более темный и более плотный, с плохо выраженной (разрушенной) столбчатой структурой. Прерывистое вскипание по всему горизонту.

30—50 см. Светлее предыдущего, но значительно гумусирован. Перерытый. Сплошное сильное вскипание с 35 см. С 45 см отдельные расплывчатые пятна карбонатов Ca.

50—70 см. Желто-бурый, очень плотный с большим количеством пятен карбонатов Ca. С 55 см выделения карбонатов в виде ярких пятен белоглазки. Структура кубовидно-комковатая. Вскипание бурное.

70—200 см Желто-бурый суглинок, очень плотный до глубины 110 см. Ниже плотность сильно уменьшается. Выделения сульфатов в виде жилочек начинаются с 90 см.

[1] Описан Григорьевым.

Таблица 90

Остепненный солонец. Данные анализа SO_4 гипса, CO_2, полевой влажности и водной вытяжки (в % на воздушно-сухую почву). Заволжье. Разрез № 6.
(Аналитик М. Беспалова)

Глубина в см	Сухой остаток	Щелочность CO''_3	Щелочность HCO'_3	Cl'	SO''_4	Ca''	Mg''	Na'	SO^4 гипса	CO_2	Глубина образца в см	Полевая влажность в %	Глубина образца в см	Полевая влажность в %
0—5	0.108	Нет	0.039 0.64	0.004 0.11	0.025 0.52	0.001 0.05	0.0038 0.31	0.0040 0.17	Не опр.	Нет	0—5	11.67	265—270	20.01
15—20	0.099	»	0.037 0.61	0.004 0.11	0.011 0.23	Нет	Нет	0.0064 0.28	»	»	10—15 15—20	9.77 12.15	285—290 305—310	18.71 18.34
40—45	0.109	»	0.052 0.85	0.004 0.11	0.017 0.35	0.014 0.70	0.0066 0.05	0.0030 0.12	0.0016	»	25—30	12.26	325—330	17.64
75—80	0.496	»	0.048 0.79	0.190 5.36	0.054 1.12	0.018 0.90	0.001 0.08	0.1400 6.08	0.0625	7.43	35—40 45—50	10.97 10.00	345—350 370—375	19.00 15.89
85—90	0.516	»	0.052 0.85	0.200 5.64	0.073 1.52	0.013 0.65	0.001 0.008	0.1640 7.13	0 0889	7.12	55—60 65—70	10.29 10.28	395—400 410—415	16.47 16.76
100—105	0.589	»	0.047 0.77	0.212 5.98	0.111 2.31	0.015 0.75	0.0018 0.15	0.1876 8.16	0.1317	6.16	75—80	10.69	440—445	16.37
124—129	1.994	»	0.032 0.52	0.221 6.23	1.038 21.61	0.230 11.48	0.0113 0.93	0.2904 12.62	1.2180	4.93	85—90 95—100	10.92 12.15	470—475 480—485	18.95 19.86
195—200	0.637	»	0.037 0.51	0.197 5.55	0.057 1.19	0.025 1.25	0.018 1.48	0.1062[1] 4.62	0.1063	3.59	105—110	13.75	510—515	20.70
240—250	1.33	»	0.020 0.33	0.171 4.82	0.537 11.20	0.137 6.84	0.052 4.28	0.1202 5.23	0.0942	4.84	115—120 125—130	16.56 18.07	575—580 610—615	21.52 19.91
300—310	2.074	»	0.020 0.33	0.143 4.03	1.008 20.09	0.282 14.02	0.096 7.90	0.0780 3.38	0.2805	5.14	145—150	17.18	635—640	23.34
480—490	0.720	»	0.3 0.49	0.116 3.27	0.091 1.89	0.058 2.75	0.01 0.82	0.0480 2.08	0.0212	5.19	165—170 185—190	17.57 18.70	665—670 690—695	25.21 25.50
770—780	0.413	»	0.3 0.49	0.091 2.57	0.0110 0.23	0.46 2.40	0.006 0.49	0.0090 0.40	0.0196	5.19	205—210 225—230	17.90 18.09	715—720 745—750	23.85 28.67
С 780—790 грунтовая вода в г/л	Не опр.	0.010	0.215 3.52	4.472 126.11	3.840 79.94	0.940 47.01	Не опр.	Не опр.	—	—	245—250	18.43	775—780	26.29

[1] Здесь и ниже Na' высчитан по разности, т. е. с включением K.

Таблица 91

Остепненный солонец.

Валовой анализ (в % на сухую почву). Разрез № 6.

(Аналитик Г. Кадер)

Глубина в см	SiO_2	$Al_2O_3+P_2O_5$	Fe_2O_3	TiO_2	MnO	CaO	MgO	Потеря при прокаливании	Сумма	Гигроскопическая вода
0—5	70.38	9.34	4.34	2.42	0.12	2.21	1.61	7.37	97.79	3.65
15—20	69.46	10.86	4.07	2.59	0.12	2.31	1.69	6.59	97.66	4.03
40—45	59 99	10.06	5.22	1.68	0.09	8.93	2.31	10.35	98.63	4.14
60—65	55.28	10.29	4.37	1.27	0.08	12.34	2.31	12.11	98.05	3.70
124—129	56.94	10.84	5.02	1.45	0.08	10.30	2.38	8.88	95.89	5.16
195—200	60.24	11.15	5.07	1.93	0.09	8.05	2.59	8.74	97.86	4.45

Таблица 92

Анализ вытяжки 20% HCl (в % на сухую почву)

Глубина в см	SlO_2	$Al_2O_3+P_2O_3$	Fe_2O_3	TiO_2	MnO	CaO	MgO	Na_2O	K_2O	SiO_2 в 5% KOH	Гигроскопическая вода
0—5	0.06	4.47	4.19	0.15	0.10	0.78	1.10	0.16	0.66	9.45	3.55
15—20	0.04	5.26	3.90	0.16	0.10	0.92	1.21	0.39	0.65	13.84	4.03
40—45	0.11	5.01	4.44	0.12	0.07	5.76	1.82	1.02	0.63	13.70	4.14
60—65	0.07	4.10	4.03	0.11	0.06	10.76	1.83	1.21	0.57	9.03	3.70
124—129	0.15	5.27	4.14	0.24	0.08	8.88	2.01	0.55	0.65	14.69	5.16
195—200	0.12	6.18	4.41	0.28	0.08	6.66	1.84	1.98	0.69	15.03	4.43

На глубине 110—135 см максимум выделений сульфатов. С 155 см выделений сульфатов нет. Вскипание по всей толще бурное.

Ниже 135 см. Желто-бурый суглинок, заметно влажнеющий с глубины 250 см. Ниже этой глубины отдельные, неодинаково увлажненные, прослойки суглинка, что свидетельствует о его слоистости.

Грунтовая вода на глубине 7.8 м.

Водная вытяжка (табл. 90) дает уже знакомую картину большой опресненности профиля.

Все же на глубине 124—129 см обнаруживается максимум для всех солей (1.99%), в том числе и для гипса, которого за вычетом сульфатов водной вытяжки здесь остается лишь около 0.2% SO_4 (фиг. 16).

Очень интересные выводы позволяют сделать валовой анализ и солянокислая вытяжка (табл. 91, 92 и 93) при сопоставлении их с таковыми других солонцов.

Общая картина выноса соединений из горизонта 0—5 см близка к предшествовавшим случаям.

Наиболее стоек MnO (+46%), затем, нарушая свое обычное место, TiO_2 (+17—25%), далее SiO_2(+9%).

Таблица 93

Данные валового анализа горизонтов остепненного солонца (в пересчете на безгумусную и бескарбонатную навеску; в %). Разрез № 6

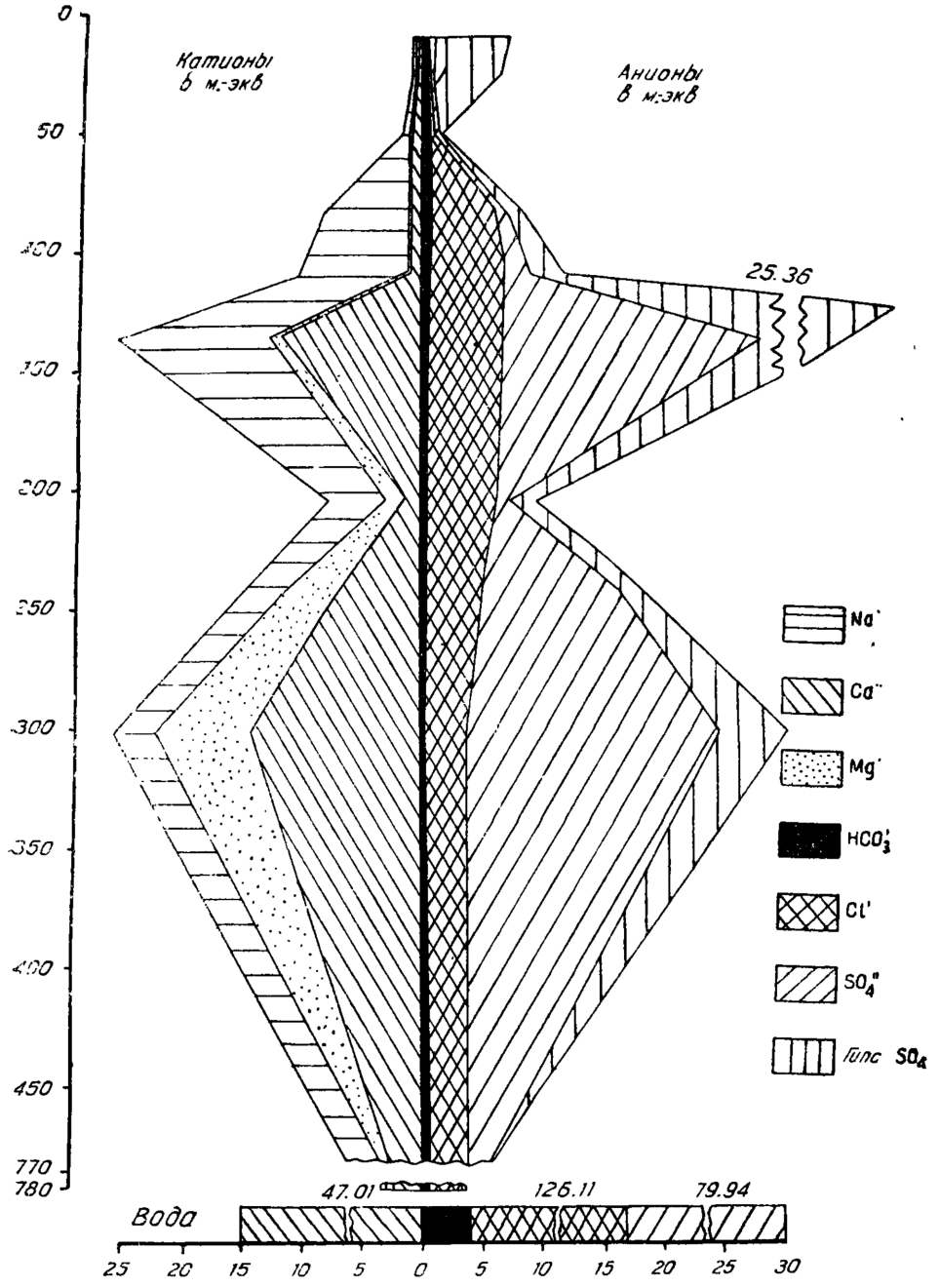
Окислы	0—5 см	15—20 см	60—65 см	195—200 см	0—5 в % от 195—200	15—20 в % от 195—200	15—20 в % от 0—5
SiO_2	78.01	76.38	69.94	71.30	+ 9	+ 9	— 3
Al_2O_3	10.34	11.93	13.02	13.19	—22	—10	+15
Fe_2O_3	4.81	4.47	5.52	6.00	—20	—26	— 8
TiO_2	2.68	2.85	1.61	2.28	+17	+25	+ 6
MnO	0.14	0.14	0.10	0.10	+40	+40	± 0
CaO	2.22	2.36	6.87	4.04	—46	—42	+ 6
MgO	1.78	1.85	2.85	3.14	—44	—42	+ 3

Окислы алюминия и железа почти поровну вынесены из верхнего горизонта (Al_2O_3—22%, Fe_2O_3—20%), причем Al_2O_3 и Fe_2O_3 накопились в нижележащих слоях, образуя иллювиальный горизонт.

MgO и CaO, как и обычно, занимают крайнее место.

Здесь не бросается в глаза замедление в выносе MgO и CaO по сравнению с предшествующими типами солонцов. Однако это делается заметнее при сопоставлении отношений CaO+MgO : Na_2O в солонцах остепненных, остаточносолончаковатых и содовых.

В содовом солонце (разрез № 26) по данным HCl вытяжки отношение CaO+MgO : Na_2O равно 1.3 : 1; а в остаточнослабосолончаковатом (разрез № 5) равно 4.2 : 1. В остепненном, разбираемом здесь, солонце (разрез № 6) это отношение очень сильно вырастает в пользу двухвалентных катионов и равно 11.7 : 1. В ослабленной степени эта закономерность для разрезов № 26 и 5 прослеживается на глубинах 10—15, 12—16 см.



Фиг. 16. Солевой профиль остепненного солонца; II терраса р. Малый Узень. Алексашкино. Разрез № 6

Таким образом можно считать доказанным, что эволюция солонцов по пути остепнения увеличивает в их верхних горизонтах количество Ca и Mg за счет вытеснения обменного Na, способствуя тем самым рассолонцеванию. Наоборот, эволюция солончаковатых солонцов к содовым формам влечет потерю Mg и Ca при одновременном увеличении роли Na.

Кроме аккумуляции Mg и Ca, происходит одновременно и аккумуляция K за счет замещения Na. Для имеющихся в нашем распоряжении случаев верхний горизонт содового солонца характеризуется отношением K: Na=0.32 : 1, остаточнослабосолончаковатого солонца — отношением K : Na=1.5 : 1 и остепненного — 4.1 : 1.

В отчетливой форме прослеживается нарастание роли K, по мере остепнения, и для более глубоких горизонтов (10—15, 12—16, 15—20 см).

Отношение SiO_2 : Al_2O_3, по данным солянокислой и щелочной вытяжек. здесь также не обнаруживает десиликации профиля. Для горизонтов же 15—20, 40—45 см проявляется приближение к 6 : 1.

Таким образом для последовательных стадий всего ряда остепнения заметно некоторое повышение отношения SiO_2 : Al_2O_3 в пользу кремнекислоты до величин, приближающихся к монтмориллониту, что уже характерно для каштановых почв.

Напомним, что в ряду солончаковатых солонцов была заметна другая закономерность — десиликация и приближение отношения SiO_2 : Al_2O_3 к пирофиллитовой и галуизитовой кислотам.

Сумма поглощенных оснований в остепняющихся солонцах, судя по данным Розмахова и нашим, равна 20—30 м.-экв.

На долю обменного Na в горизонте *B* приходится 1—4 м.-экв., т. е. 5—15%, на долю обменного Mg — 25—35% и на долю кальция 10—20 м.-экв., т. е. 50—70% от суммы, а иногда и выше.

В качестве примера приводим анализ поглощенных оснований И. Розмахова (табл. 94).

Таблица 94

Поглощенные основания в остепненных безгипсовых солонцах Северного Крыма. Разрез № 76.
(Аналитик И. Розмахов)

Глубина в см	В %		В м.-экв.				В % от суммы		
	$Ca^{\cdot\cdot}$	$Mg^{\cdot\cdot}$	емкость	$Ca^{\cdot\cdot}$	$Mg^{\cdot\cdot}$	$Na^{\cdot}$	$Ca^{\cdot\cdot}$	$Mg^{\cdot\cdot}$	$Na^{\cdot}$
0—5	0.26	0.04	16.59	13.0	3.33	0.26	78.3	20.0	1.7
25—20	0.25	0.05	17.26	12.5	4.16	0.60	71.9	24.5	3.6
22—27	0.28	0.11	25.09	14.0	9.25	1.84	55.8	36.9	7.3

Дальнейшая эволюция в ряду остепнения ведет к еще большему замещению обменного Na биологически аккумулируемым Ca. В каштановых солонцеватых (обычно) почвах на долю обменного Ca падает уже 75—85% от емкости обмена. Остальные 15—20% приходятся на долю Mg+Na+K. из них на долю Na приходится всего лишь 1—3% (101).

В качестве другого примера приводим данные анализа уже рассмотренных разрезов № 14 и 6 сильно остепненного солонца и солонцеватой каштановой почвы (табл. 95).

Таблица 95

Обменные катионы в остепненных солонцах.
Разрезы № 6 и 14.
(Аналитик Л. Мамаева)

№ разреза	Глубина в см	В %			В м.-экв.				В % от суммы		
		$Ca^{..}$	$Mg^{..}$	$Na^{.}$	$Ca^{..}$	$Mg^{..}$	$Na^{.}$	Сумма	$Ca^{..}$	$Mg^{..}$	$Na^{.}$
6	0—5	0.42	0.09	0.06	20.75	7.49	2.61	30.85	67.3	24.3	8.4
	15—20	0.45	0.05	0.03	22.32	3.98	1.44	27.74	80.6	14.3	5.1
14	0—5	0.37	0.07	0.02	18.41	6.07	0.95	25.43	72.5	23.8	3.7
	10—15	0.50	0.09	0.03	25.03	7.32	1.49	33.84	74.0	21.6	4.4
	15—20	0.39	0.07	0.10	19.60	5.46	4.29	20.35	52.3	26.7	21.0
	25—30	0.34	0.07	0.10	17.06	6.10	4.45	27.61	61.5	22.0	16.5

НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ В ГЕНЕЗИСЕ СОЛОНЦОВ

1. Общие черты солонцового процесса

Рассоление солончаков, образование и эволюция солонцов вызывают глубокие изменения первоначального солевого профиля, алюмосиликатного минерального комплекса и морфологических горизонтов.

Прежде всего выносу подвергаются нитраты и хлориды, далее сульфаты Ca, сульфаты Na, карбонаты щелочей и щелочных земель.

С момента выноса более или менее значительных масс хлоридов и сульфатов Na путем щелочного гидролиза и реакций с CO_2 воздуха образуется сода, мигрирующая вниз и взаимодействующая с гипсом. С этого момента часть гипса не просто выщелачивается, а, реагируя с содой, замещается углекислым кальцием и сульфатом Na. Одновременно начинает отщепляться в щелочной среде от алюмосиликатных минералов кремнекислота. Миграция ее в нисходящем направлении выводит кремнекислоту из профиля на ряду с другими солями. Часть кремнекислоты, встречаясь и реагируя с Mg-и Ca-солями нижних горизонтов, выпадает в виде вторичных силикатов Mg и Ca, которые могут играть роль цемента. Воздействие водных растворов углекислоты на силикаты Mg и Ca вызывает их карбонизацию; образуются углекислые кальций и магний и вторичная кремнекислота. Последняя является цементом карбонатных горизонтов.

Таким образом карбонаты кальция в солонцах являются в большой мере продуктом реакций соды с гипсом и карбонизации силикатов щелочных земель. На ряду с этим переходят в подвижные формы и начинают выноситься из элювиального горизонта и формировать иллювиальный горизонт соединения титана, железа, алюминия.

Во всех типах солонцов Mn всегда накопляется относительно других соединений в наибольшей степени; Mn также ни в одном случае не обнаруживает участия в формировании иллювиального уплотненного горизонта

солонцов. Соединения фосфора (P_2O_5) также принадлежат к числу наиболее относительно накопляющихся при солонцовом процессе, занимая обычно место после марганца, а иногда и обгоняя его в солонцах ряда остепнения. В аккумуляции фосфора наблюдается не только относительное накопление его за счет выноса других соединений, но и активная аккумуляция растительными организмами. Соединения фосфора участвуют в формировании иллювиального горизонта. Сложнее поведение остальных соединений. На ранних стадиях солонцового процесса способные к щелочному гидролизу соединения SiO_2 выносятся, повидимому, в форме силикатов щелочей из верхних горизонтов солонца, а частью и из его профиля. В эти периоды по интенсивности убывания из верхнего горизонта кремнекислота занимает место после Mg. Однако, очевидно, после израсходования этой подвижной части кремнекислоты остающиеся соединения Si в стойких минералах и кварце, естественно, способны к миграции лишь более медленной.

Поэтому в более поздних стадиях солонцового процесса кремнекислота пассивно аккумулируется в верхней части профиля, занимая обычно место после марганца и фосфора. Подвижность кремнекислоты, как показано водными вытяжками, тем больше, чем сильнее щелочная реакция среды. Поэтому в процессе эволюции к содовым солонцам кремнекислота все больше теряется из профиля. Таким образом при пассивной аккумуляции кварца и кремнекислоты стойких минералов (полевые шпаты) выщелачивание подвижной кремнекислоты идет одновременно со щелочными растворами.

Установлено также, что соединения кремнекислоты (определяемые в 5% KOH-вытяжке после солянокислой вытяжки) энергично участвуют в образовании иллювиального горизонта солонцов, накопляясь в них в заметных количествах.

Отношение извлекаемых HCl- и KOH-вытяжками SiO_2 и Al_2O_3 в рассмотренных солонцах укладывается в пределы 3.3 : 1—6 : 1.

При этом для солонцов солончаковатого ряда выявляется десиликация элювиального горизонта. Отношение $SiO_2 : Al_2O_3$ здесь уже, чем в материнской породе. Здесь оно или совпадает, или меньше величины типичной для пирофиллитовой кислоты (4 : 1).

В солонцах ряда остепнения намечается обратная тенденция: отношение $SiO_2 : Al_2O_3$ в элювиальном горизонте сохраняется равным материнской породе или же увеличивается в пользу SiO_2. В ряде случаев при этом намечается отношение, близкое или равное монтмориллониту 6 : 1. Интенсивная аккумуляция магния в иллювиальных горизонтах позволяет предполагать новообразование в них вторичных его силикатов. Впрочем, не исключено, что кремнекислота находится и в несвязанном состоянии.

Соединения алюминия и железа мигрируют в солонцах крайне замедленно. На ранних стадиях солонцового процесса Al_2O_3 и Fe_2O_3 (в меньшей степени) проявляют выраженную относительную аккумуляцию. В нашем случае это хорошо видно для сульфатно-хлоридных солонцов.

В последующей эволюции солонцов выщелачивание выносит из верхнего горизонта сначала Fe_2O_3, а затем Al_2O_3. При этом всюду потери железа выражены сильнее, чем потери алюминия.

Соответственно этому в формировании иллювиального уплотненного горизонта участвуют Al и Fe, но для соединений Fe иллювиирование количественно и по глубине профиля выражено значительно сильнее, чем для соединений Al.

Миграция алюминия происходит, как нам кажется, в виде алюмината щелочей, главным образом Na. Условия реакции (pH 9—10) для образования алюмината Na в солонцовом процессе в отдельные моменты, несомненно, осуществляются, а в содовых солонцах, бесспорно, имеются.

Миграция железа, видимо, происходит двояко: в виде коллоидных высокодисперсных органо-минеральных соединений (о чем можно судить по данным водных вытяжек) и в виде соединений закиси железа. Последнее при весеннем перенасыщении солонцов водой и их заплывании возможно как следствие процессов анэробиозиса.

Поведение титана в солонцовом процессе крайне сложно и изменчиво. В солонцах ранних стадий обнаружено отчетливое относительное накопление TiO_2. В содовых солонцах, т. е. в итоге длительного осолонцевания, промывания и развития резко щелочной среды и анаэробных условий, титан оказался вынесенным в значительной степени. В солонцах ряда остепнения снова в двух случаях обнаружилось значительно относительное накопление TiO_2, а в одном — его потеря. Очевидно, двойственность в поведении титана обязана двум типам его соединений: во-первых, рутилу TiO_2 — аналогу SiO_2, который устойчиво накопляется, приближаясь в этом отношении к кварцу, и, во-вторых, соединениям типа солей метатитановой кислоты (Na_2TiO_3?) — аналогам силикатов щелочей и щелочных земель. Титан обнаруживает всюду участие в иллювиальных горизонтах; очевидно, это и обязано миграции соединений типа титанатов. С точки зрения изучения подвижных форм титана его следовало бы искать, как и кремнекислоту, в щелочных вытяжках.

Магний в процесе выщелачивания, как и следовало ожидать, относится к числу элементов, выносимых в первую очередь. Однако на ранних стадиях Mg, выносясь сранительно медленно, обнаруживает некоторое относительное накопление. В последующих стадиях Mg подвергается очень значительным потерям. Все же в некоторых случаях заметны колебания в положении Mg в ряду других соединений. Иногда он оказывается более стойким, чем SiO_2 и TiO_2, выщелачиваясь медленнее их. Особенно заметна пониженная скорость выщелачивания Mg при сопоставлении с Ca. Вымывание кальция всюду, за исключением остепняющихся солонцов, значительно превосходит скорость вымывания магния. Даже на ранних стадиях, когда MgO еще сохраняет стабильное положение или накопляется, потери CaO достигают 70%. Особенно следует подчеркнуть, что в формировании иллювиальных горизонтов магний всегда принимает активное участие.

Все это говорит о том, что Mg входит не в соединения типа простых солей, как большая часть Ca, а в состав значительно более стойких силикатов и алюмосиликатов. В стадиях остепнения солонцов и Mg и, особенно, Ca обнаруживают активное накопление, что связано уже с деятельностью растительности. Такую же тенденцию, судя по данным солянокислых вытяжек, обнаруживает на стадиях остепнения и K.

На основании проанализированного выше материала можно вывести следующий схематический ряд подвижности и последовательности выпесения элементов из элювиального горизонта солонца:

$$MnO,\ P_2O_5,\ SiO_2,\ Al_2O_3,\ Fe_2O_3,\ MgO,\ (SiO_2),\ CaO.$$

Однако в процессе остепнения кальций в этом ряду начинает перемещаться влево, обнаруживая замедление в выщелачивании, или накопление.

Последовательность участия в формировании иллювиального горизонта путем вмывания, по данным валового анализа, характеризуется несколько другим рядом:

$$MnO,\ SiO_2,\ CaO,\ Al_2O_3,\ Fe_2O_3,\ TiO_2,\ MgO.$$

В наибольшей степени накоплению в иллювиальном горизонте подвержены магний и титан, которые обычно занимают крайние места в рядах отдельных стадий солонцов. Большое участие в иллювиальных процессах принимает железо, занимающее устойчивое место в рядах. Соединения алюминия в формировании иллювиального солонцового горизонта играют уже меньшую роль. Соединения марганца в солонцовый горизонт не вмываются; во всяком случае, данные валового анализа этого не обнаружили ни разу. Кремнекислота же, по данным валового анализа, хотя и не переходит в иллювиальный горизонт, но по щелочным вытяжкам обнаруживает в нем ясное накопление.

Таким образом в солонцовом процессе происходят глубокие изменения в минералогическом и химическом составах горизонтов по сравнению с материнской породой. Нет никаких оснований ограничивать солонцовый процесс лишь механическим перемещением пептизированных коллоидных фракций без изменения качественного состава, как это намечается в воззрениях некоторых почвоведов физико-химиков.

2. Особенности основных направлений солонцового процесса

Солончаковатые сульфатно-хлоридные солонцы являются в нашей схеме исходными для остальных форм солонцов. Зарождаясь в условиях первоначального рассоления хлоридно-сульфатных солончаков в результате понижения базиса эрозии, врезания гидрографической сети и опускания уровня грунтовых вод, эти солонцы отличаются: а) осолонцеванием верхних 20—30 см, где обособляется корковый горизонт *A* и неразвитый солонцовый горизонт *B*, и б) продолжающимся засолением всей остальной части профиля с накоплением максимума солей в подсолонцовом горизонте. В составе солей подсолонцового горизонта преобладают хлориды. Сезонные колебания уровней грунтовых вод и условий испарения (температуры) создают для верхней части профиля режим ритмической смены засоления и рассоления, ведущий в осолонцованной части профиля к поступательному замещению обменного кальция и магния натрием и выносу их из профиля.

В осолонцованной части солонца при этом вначале формируется гипсовый горизонт, а затем над ним и в нем псевдоморфический горизонт угле-

кислого кальция (реакция соды и гипса с образованием углекислого кальция). Дальнейшее рассоление солонцов проходит по двум типам: 1) без отрыва профиля солонца от грунтовых вод и 2) с отрывом профиля солонца от грунтовых вод.

Рассоление без отрыва от грунтовых вод будет протекать тем интенсивнее и уйдет тем дальше, чем больше выпадает атмосферных осадков в районе и чем он холоднее. Кроме того, оно уйдет тем дальше, чем древнее геологический возраст данного района.

Географически это приводит к тому, что последовательные формы солонцов солончаковатого ряда располагаются в более северных районах или на поверхностях, раньше сформировавшихся, дольше и интенсивнее опресняемых. Грунтовые воды и солевой профиль солонцов при этом меняют свой состав, отдавая последовательно хлориды и сульфаты Ca и Na и обогащаясь содой. Поглощающий комплекс получает максимальное насыщение Na.



Фиг. 17. Схема геоморфологического расположения солонцов различных типов

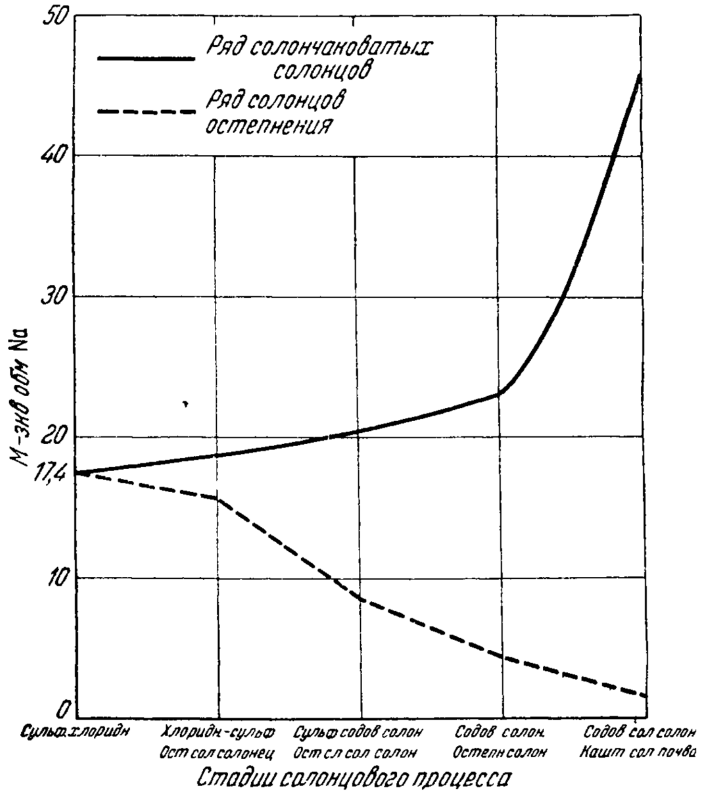
Рассоление с отрывом от грунтовых вод протекает на глубоко дренированных и приподнятых элементах поверхности. Географически это выражается в распространении стадий солонцов данного ряда на системах последовательных по возрасту древних террас и водоразделов (фиг. 17).

Прекращение восходящих токов, подающих соли в почвенные горизонты, и поселение полынной, полынно-злаковой и злаковой растительности влекут потерю солончаковатости и солонцеватости при замене обменного натрия кальцием, магнием и калием зольного остатка, т. е. вызывают процесс остепнения солонцов.

В итоге в ряду солончаковатых солонцов (луговых) формируются хлоридно-сульфатные гипсоносные солонцы, содово-сульфатные и содовые (сульфатно-содовые) солонцы, содовые солонцы-солончаки. В ряду этих же солонцов, кроме смены состава солевого профиля и состава грунтовых вод от сульфатно-хлоридного и хлоридно-сульфатного к сульфатно-содовому и содовому, нарастает количество обменного натрия и обнаруживается тенденция к увеличению емкости обмена, что, очевидно, объясняется увеличением pH (до 9.5); уменьшается количество кремнекислоты, выносимой в виде Na_2SiO_3, имеются признаки уменьшения подвижного титана; возрастает количество водорастворимого гумуса и переходящих в водную вытяжку полуторных окислов.

В ряду остепненных солонцов последовательно формируются остаточносолончаковатые солонцы, остаточнослабосолончаковатые, остепненные безгипсовые и солонцеватые каштановые почвы.

Остаточнослабосолончаковатые солонцы являются еще переходным звеном. Это выражается и в периодической связи с грунтовыми водами, и в солончаковатости профиля. В солях при этом имеется выраженный максимум, главным образом, сульфатов Na в горизонтах 40—70 см.



Фиг. 18. Изменение количества обменного Na в солонцах различных стадий

Однако и в них намечается прогрессирующее в дальнейших стадиях накопление валового и обменного кальция, магния и K при относительном уменьшении Na (фиг. 18).

Остепненные и солонцеватые каштановые почвы отличаются уже ясными признаками накопления щелочно-земельных металлов и калия и уменьшением натра. Это отчетливо видно из данных солянокислых вытяжек и на обменных основаниях, где Na вытесняется по мере развития процесса остепнения. Однако в связи с уменьшением щелочной реакции одновременно намечается и уменьшение обменной способности.

При разборе признаков частных форм солонцов нами всюду подчеркивались морфологические признаки каждого типа.

Эти два основных ряда эволюции солонцов могут при поднятии базиса эрозии начать развиваться в обратном направлении — в направлении

восстановления засоленности профиля и даже превращения в реградированные солончаки. Географически это будет проявляться в распространении вторичносолончаковатых солонцов на береговых и террасовых образованиях областей поднятия общего (Черное, Азовское моря) или местного (разливы в Каспийской равнине) базиса эрозии.

Из сказанного видно, что классические морфологические признаки солонцов (осоложенный верхний горизонт, столбчатый горизонт, под ним карбонатный и ниже гипсовый) не для всех типов солонцов являются типичными и обязательными.

Они отсутствуют, либо выражены очень плохо в ряду солончаковатых солонцов. Плохо выражены они и у остепненных форм. Лишь формы остаточносолончаковатых солонцов отличаются наличием этой классической морфологии. Таким образом можно сказать, что прежняя категория корковых солонцов объединяет в себе преимущественно солончаковатые солонцы различных типов. Так называемые столбчатые и глубокостолбчатые солонцы объединяются солонцами остаточносолончаковатыми. Призматические и столбчато-призматические — преимущественно остепненные солонцы.

ГЛАВА V

РАСТЕНИЯ И СОЛИ

ВЛИЯНИЕ СОЛЕЙ НА РАСТЕНИЯ И УСЛОВИЯ ИХ СОЛЕУСТОЙЧИВОСТИ

Несмотря на исключительную важность вопроса о влиянии солей на культурные растения, он изучен далеко еще не достаточно.

Значительно больше имеется данных, характеризующих специфически солончаковую флору и ее приспособленность к развитию в обстановке высоких концентраций солей в почвенном растворе. Назовем здесь классические исследования Б. А. Келлера (116, 117), Stocker (119, 120), Killian (182) и др. Stocker разделяет растительность на галофитов и гликофитов. Галофиты характеризуются тем, что они (по Б. А. Келлеру) нуждаются в таких высоких концентрациях легкорастворимых солей, которые гибельны для гликофитов. Верхней границей концентрации солей для морских галофитов является 0.2—0.3%.

В Мертвом море с его концентрацией солей 19—20% организмы развиваться не могут, исключая некоторых бактерий и водорослей.

Stocker и Б. А. Келлер относят к числу выраженных галофитов семейства: *Potamogetonaceae*, *Hydrocharitaceae*, *Chenopodiaceae*, *Zygophyllaceae*, *Tamaricaceae*, *Franceniaceae*, *Rizophoraceae* и *Plumbaginaceae*. Для сухопутных галофитов Stocker принимает широкую амплитуду концентрации солей 0.3—20%. Но главная масса галофитов приспособлена к концентрациям 2—6% солей. Биологическое приспособление галофитов к солям идет по различным направлениям.

Некоторые галофиты способны не поглощать соли (мангровые). Другие, наоборот, поглощая соли, способны регулировать внутреннее осмотическое давление и, кроме того, сбрасывать переполненные солями листья. Обычно галофиты этого типа отличаются суккулентным (мясистость и сочность) видом (*Salicornia*, *Halocnemum*, *Anabasis*). Наконец, третьи имеют обессоливающий устьичный аппарат в листьях (*Statice*, *Armeria*, *Tamarix*, *Reaumuria*, *Frankenia*, *Aeluropus*). Ежедневно на листьях этих растений выделяются капли концентрированных растворов солей. Суккулентность в растениях этого типа выражена значительно слабее. Кроме того, приспособление идет и по пути отбора форм с длинными, достигающими до грунтовых вод корнями (кермек — до 5 м, тамариск — до 30 м, чий).

Некоторые специфические виды (*Camphorosma*) отличаются исключительно быстрой способностью регенерации корневых волосков, именно в тех точках почвы, которые оказались смоченными случайным ливнем или росой.

Все галофиты отличаются высоким осмотическим давлением клеточного сока, особенно в листьях, доходящим до 100—200 ат. Так, по данным Stocker, индийские мангровые имеют давление в клеточном соке до 163 ат. кермек — до 165 ат, *Avicenia* — до 205 ат. Все это сообщает большую сосущую силу корневой системе галофитов. Разница в сосущей силе корней и соответствующей сфере почвы равна 3—5—10 ат. Специфическая флора солонцовых пятен, судя по исследованиям Stocker в Венгрии, способна расти на почвах, имеющих осмотическое давление не выше 28 ат. Обычные же виды степных растений способны переносить давление почвенного раствора лишь в 10—12 ат.

Солончаки, характеризующиеся осмотическим давлением 300—400 ат. растительности обычно не имеют. Впрочем, в нижних горизонтах солончака, где солей меньше, осмотическое давление равно 100—110 ат, и это уже используется соответствующими галофитами.

Интересны и экспериментальные исследования Stocker, выясняющие влияние солей на отдельные процессы в организмах галофитов и гликофитов. Результаты этих исследований несколько разъясняют причины токсичности солей для культурных растений, принадлежащих, как правило, к гликофитам.

Поступление солей в растение усиливает энзиматический распад крахмала и образование диастаза, что влечет за собой увеличение осмотического давления и солестойкости растений. Однако при высоких концентрациях солей, особенно у гликофитов, энзиматические процессы останавливаются. Наибольшим действием при этом отличаются Na, K, NO_3, Cl, значительно слабее — Mg, Ca, SO_4. Возможно, в этом заключается одна из причин явления антагонизма солей. Надо сказать, что в отличие от других ионов, Cl и NO_3 вызывают большую текучесть, а, следовательно, и проницаемость протоплазмы.

Различно проявляется действие солей и на устьичном аппарате гликофитов и галофитов. Высокие концентрации солей у гликофитов вызывают паралич устьичного аппарата листа и, как следствие, высокую транспирацию, высыхание и гибель растения. Обратная реакция у галофитов. Во-первых, устьичный аппарат нормально функционирует при гораздо больших концентрациях, во-вторых, при дальнейшем поступлении солей в организм устьицы закрываются и транспирация сводится к нулю.

Столь же различно влияние солей и на ассимиляционный аппарат. У гликофитов соли, достигая хлоропластов, вызывают быстрое падение ассимиляции и разрушение протоплазмы. У галофитов соответственные концентрации переносятся свободно. Больше того, наблюдается расстройство функции при меньших концентрациях солей.

Stocker указывает, что и дыхание гликофитов нарушается также под воздействием солей.

Таким образом механизм повреждения растений солями крайне сложен и включает различные моменты. В числе их, на основании исследований

Stocker и более ранних — Тулайкова (22), Harris (33), Hansteen (127), можно назвать уже с известной долей бесспорности: 1) нарушение поступления воды в клетку вследствие того, что осмотическое давление в почвенном растворе больше, чем в клетке (физиологическая сухость); 2) нарушение процессов ассимиляции, дыхания, превращений крахмала; 3) паралич устьичного аппарата и ненормально высокая транспирация, влекущая высыхание растения.

Нарушение нормального поступления водных растворов в растение, естественно, должно повлечь за собой расстройство в зольном питании и «голодание» растения в отношении отдельных элементов. Наконец, есть прямые указания на явления плазмолиза клеток и их отмирания при крайних концентрациях солей, а также и непосредственное повреждение поверхностей ткани солями.

В основе всех этих явлений лежит биологическая неприспособленность большинства культурных растений к свойствам той среды, в которую они попадают на засоленных почвах.

В сумме перечисленные явления могут проявлять себя на всех стадиях развития растения от прорастания до созревания с нарушением процессов общего развития организма, приводя в конечном счете к понижению или гибели урожая.

Изучение роли осмотического давления солей, проведенное B. C. Büffum (123), Н. М. Тулайковым (122), Стольгане (124) и И. В. Якушкиным (125), показали, что повышение осмотического давления почвенного раствора вследствие повышенных концентраций солей: а) задерживая поступление воды в зерно, замедляет, а иногда и прекращает прорастание семян; б) укорачивает вегетационный период растений и в) уменьшая общую массу урожая, увеличивает относительное содержание азота в зерне пшениц. При этом И. В. Якушкин приходит к выводу, что «степень вредоносности солей пропорциональна не концентрации их, а осмотическому давлению, как это установлено теперь с полной доказательностью».

Однако незначительные повышения осмотического давления (до 2 ат) часто вызывают обратное действие, стимулирующее повышение урожая. Это отмечается как для сернокислого, так и для хлористого натра (Якушкин, Стольгане).

В этих случаях содержание азота и белковость зерен пшеницы падают.

Изменения в физических условиях питающей среды и нарушение нормального поступления растворов в растение неминуемо ведет к расстройству питания. Уже И. В. Якушкин ставит вопрос о том, что токсичность солей нельзя объяснить лишь одним осмотическим давлением и физиологической сухостью.

P. L. Hibbard полагает, что при этом нарушается нормальное поступление необходимых для растения элементов Fe, Ca, P. Повидимому, этот список необходимо распространить на N, Si и, в особенности, на ряд «микроэлементов», физиологический дефицит которых может сказаться прежде всего. Этот вопрос подлежит большой разработке в будущем. Необходимо систематическое исследование изменений химического состава всего растения и его органов под влиянием расстройства питания,

вызванного солями. Этот путь многое объяснит и позволит многое устранить и улучшить в культуре растений на засоленных почвах.

Прямое повреждение поверхностных тканей растений связывается, главным образом, с действием соды. Так, Harris (33) и Hibbard (126) отмечают способность соды вызывать коррозию поверхностной оболочки корней и прикорневых шеек, что нарушает обмен веществ между листьями и корнями (приток от листьев). Впрочем, еще раньше Hansteen (127) аналогичное влияние приписывал ионам Na и K.

Результаты изучения токсических свойств различных солей также несколько противоречивы.

В частности, несколько неопределенно положение магнезиальных солей. M. Magowan (по Harris) считает, что хлористый магний обладает исключительной токсичностью и ряд солей в порядке убывания токсичности рисуется ею в следующем виде: $MgCl_2$, NaCl, KCl, $CaCl_2$. Slosson и Büffum дают следующий нисходящий ряд токсичности солей (по Harris): Na_2CO_3, NaCl, Na_2SO_4, $MgSO_4$. Они опираются при этом на достаточно веские экспериментальные данные (см. ниже).

Высшие концентрации солей, не замедляющие прорастание семян в растворах (в %)

	$MgSO_4$	Na_2SO_4	NaCl	Na_2CO_3
Пшеница	1.0	0.7	0.4	0.4
Рожь	1.0	0.7	0.4	0.1

На основании своих не оконченных исследований, проведенных на водных культурах, Гедройц (128) установил следующий ряд токсичности солей в отношении горчицы, льна, вики, люцерны, ячменя и овса, начиная от наиболее ядовитых: $MgSO_4$, $MgCl_2$, K_2SO_4, KCl, $Ca(NO_3)_2$, KNO_3.

По странной случайности К. К. Гедройц, к сожалению, не исследовал ряд солей Na_2CO_3, $NaHCO_3$, NaCl, $CaCl_2$, которые, судя по данным других исследователей, заняли бы место впереди сернокислого магния.

Исследования T. Kearney и L. Harter (129), проведенные несколько раньше с водными культурами кукурузы, сорго, хлопком, овсом, сахарной свеклой и лупином, показали, что магнезиальные соли также занимают в ряду первые места по токсичности: $MgSO_4$, $MgCl_2$, Na_2CO_3, $NaHCO_3$, Na_2SO_4, NaCl. Однако даже очень небольшое прибавление гипса выводило магнезиальные соли на последние места, и наибольшей токсичностью в присутствии гипса отличались карбонаты щелочей: Na_2CO_3, $NaHCO_3$, NaCl, Na_2SO_4, $MgCl_2$, $MgSO_4$.

Повидимому, при опытах, проводимых не на водных культурах и песке, а на почвах, всегда создавались несколько иные условия, вследствие дополнительного участия обменного Ca или Ca гипса и карбонатов, что и вело к совершенно другим результатам. Именно таким образом объяснил К. К. Гедройц (128) противоречащие его данным результаты исследований F. S. Harris. Проведя опыты на почвах, искусственно засоленных различными солями, Harris установил следующий нисходящий порядок токсичности солей: NaCl, $CaCl_2$, KCl, $NaNO_3$, $MgCl_2$, KNO_3 и $Mg(NO_3)_2$, KNO_3, Na_2SO_4, K_2SO_4, $MgSO_4$.

Основное, что меняет положение магнезиальных солей в водных культурах и на почвах, очевидно, заключается именно в дополнительном участии кальция почвы и в физиологическом уравновешивании магния, согласно закономерностям антагонизма Ca — Mg, установленным Loew, Osterhout, Aso, Furuta.

Исследования Валуйской опытной станции (С. А. Делиникайтис, 130) показывают, что наибольшей токсичностью на искусственно засоленных почвах каштанового и солонцового типа обладают хлориды натрия и кальция, затем сульфаты натрия и, наконец, хлориды и сульфаты магния:

$$NaCl,\ CaCl_2,\ Na_2SO_4,\ MgCl_2,\ MgSO_4.$$

Урожай надземной массы пшеницы
(в г на сосуд)

	Концентрац. 0.10%	Концентрац. 0.20%
NaCl	17.5	1.3
Na_2SO_4	—	17.7
$MgCl_2$	30.9	19.2
$MgSO_4$	49.5	34.1
$CaCl_2$	22.7	7.9
$CaSO_4$	56.4	50.5

Принимая этот ряд за основу и учитывая другие литературные данные, токсичность солей в присутствии соединений Ca можно представить в следующем нисходящем порядке:

$$Na_2CO_3,\ NaHCO_3,\ NaCl,\ NaNO_3,\ CaCl_2,\ Na_2SO_4,\ MgCl_2,\ MgSO_4.$$

Противоречивость результатов различных исследователей объясняется тем, что опыты осложнялись различными условиями влажности и концентрации, чистоты и засоренности реактивов, растворов, песка и почвы, явлениями обменных реакций, видами культур, условиями температуры и техники опытов. Сопоставление ядовитости отдельных катионов и анионов также не лишено противоречий. Классическими работами по этому вопросу являются, несомненно, исследования G. Hansteen (127) в Норвегии. Остановимся на его выводах подробнее, тем более что они в значительной степени проливают свет на явление антагонизма и, в особенности, на роль кальция. Hansteen на основании опытов с проростками пшеницы, ячменя, вики, тыквы в пробирках с водными растворами азотнокислых (отчасти хлористых и сернокислых) солей Na, K, Mg и Ca пришел к ряду следующих интересных выводов:

1. Клеточная стенка корневых отростков играет роль особой мембраны, вступая в адсорбционные реакции с катионами растворов.

2. Характер этих реакций и влияние катионов на клеточную стенку в общем подчиняется лиотропному ряду катионов.

3. Чистые растворы солей Mg, Na, K (и дестиллированная вода) вызывают отмирание корней растения.

4. Чистый раствор солей кальция, наоборот, способствует [даже при концентрациях 0.328% $Ca(NO_3)_2$] развитию длинных плотных белых корней со множеством мелких корневых волосков.

5. Повреждение растения ионами Mg, Na и K сказывается прежде всего в точке роста, на конце корешков, и проявляется под микроскопом в разбухании, ослизнении, растворении стенок клеток и отделении их от нижележащих, обнажающихся слоев.

6. Поражение ткани корня всегда идет снаружи внутрь и не зависит от содержания кальция внутри растений или в соседнем сосуде при разделении корней растения на два пучка.

7. Действие солей Mg, с одной стороны, Na и K, — с другой, различно. Первые вызывают превращение клеток в слизистую бесструктурную массу, переходящую постепенно в раствор. Действие солей Na и K проявляется преимущественно в чрезмерном набухании, водянистости и «желатинизированности» тканей.

8. Растворение клеточных стенок под влиянием солей Mg, Na и K проявляется особенно сильно на молодых тканях.

9. Исследование продуктов, переходящих при этом в раствор, установило для различных растений одну и ту же группу веществ — пектиновые вещества и жирные кислоты.

10. Добавление к чистым солям Mg, Na, K ничтожных количеств солей кальция радикально снижает их поражающее действие. Клетки, соприкасающиеся с раствором солей, не обнаруживают признаков ослизнения и отмирания, корни ветвятся и развиваются лучше. Наиболее полно проявляется антагонистическое действие Ca в отношении K, меньше — в отношении Na. Однако антагонистическое действие в отношении одновалентных катионов проявляет и Mg. Полный антагонизм установлен Hansteen при соотношении Ca : Mg=1 : 2, Ca : K=1 : 1000. Но лучшее развитие растения обнаруживается при отношении Ca : K=1 : 1.

11. При концентрациях, с которыми автору приходилось работать, он полагает, что осмотическое давление в токсичности солей значения не имеет. Проявляется лишь специфическое значение катионов. Последнее заключается в действии катионов, соприкасающихся с клеточной тканью при их адсорбции на клеточную стенку.

Кальций сообщает клеточной мембране более плотную консистенцию. Магний и одновалентные калий и натрий, наоборот, сообщают коллоидной фазе клетки водянистость и подвижность. Присутствие кальция в смесях солей понижает адсорбцию Mg, K и Na и тем самым предохраняет ткань от разрушения. Естественно, что роль Ca как антагониста наиболее сильно проявляется в отношении одновалентных катионов.

Мы затронули лишь часть выводов и материалов крайне интересных исследований Hansteen. Но и они в значительной степени позволяют разобраться в механизме и специфике влияния отдельных катионов.

Изучению этого вопроса посвящены, правда, в менее систематической форме, и работы других исследователей. Рассмотрим некоторые из них.

Исследования К. К. Гедройца (128) с полной очевидностью доказали исключительно высокую токсичность иона OH, превосходящего в этом отношении другие анионы, располагающиеся по данным водных культур

в восходящий ряд SO_4, Cl, NO_3. Порядок уменьшения токсичности катионов Гедройц устанавливает следующий: H, Mg, K, Ca.

Исследования в условиях почвенной среды привели, наоборот, Harris, как нам кажется, к более правильному заключению о наибольшей токсичности среди анионов CO_3 и среди катионов Na. Harris вообще был склонен приписывать ведущее значение в токсичности солей не столько катионам, сколько анионам. Бо́льшую токсичность Cl и Na приписывает также Micheels и Делиникайтис. Это можно проследить на интересных опытах Валуйской опытной станции (130).

Токсическая роль анионов SO''_4 и Cl' на искусственно засоленной почве

Концентр Na—0 12%	Урожай в г на сосуд	Концентр. Ca—0.11%	Урожай в г на сосуд
Na_2SO_4	30.1	$CaSO_4$	57 2
NaCl	1 3	$CaCl_2$	. 7 9

Токсическая роль катионов на искусственно засоленной светлокаштановой почве
(урожай сухой массы в г на сосуд)

Контроль	Концентр. 0 1%		
0 солей	NaCl	$CaCl_2$	$MgCl_2$
55.8	17.5	20.7	30 9
0 солей	Na_2SO_4	$MgSO_4$	
46.4	35.4	46.1	

Высокая токсичность нормальной соды связывается К. К. Гедройцем (128) не столько с анионами CO_3, сколько с явлением гидролиза соды и образованием ионов OH, отличающихся наиболее выраженной ядовитостью.

Соответственно двууглекислый натрий менее ядовит, так как «раствор $NaHCO_3$ почти нейтрален» и содержит ионов OH в растворе несравненно меньше соды. Отсюда К. К. Гедройц делает очень важное заключение о том, что увеличение в почвенном растворе запасов углекислоты будет снижать токсичность карбоната натрия, переводя его в бикарбонат. Поэтому почвы, богатые перегноем своим или внесенным извне, будут сильнее снижать токсичность растворов соды. Интересно здесь привести наблюдения, Sigmond о том, что вика и репа умерщвляются концентрацией Na_2CO_3 0.5%, но так же, как и пшеница, не повреждаются 0.5% $NaHCO_3$.

Попытки точнее исследовать состав засоляющих почвы солей показали, что кроме обычных солей в засолении принимают участие соли аммонийные, литиевые, иодистые и бромистые. Исследования П. Купена (131) показывают, что растения крайне чувствительны к этим солям, поэтому участие последних в солончаковых аккумуляциях целесообразно учитывать. В частности, проростки пшеницы угнетаются следующими концентрациями в растворе (в %):

$(NH_4)_2SO_4$ — 0 002	CaJ_2 — 0 01
LiCl — 0 008	$LiNO_3$ — 0.02
NH_4Cl — 0.01	Li_2SO_4 — 0.03
MgJ_2 — 0.01	$NaBO_2$ — 0.06
$BaCl_2$ — 0 01	$CaBr_2$ — 0.25

Мы уже упоминали, что физиологическая роль отдельных солей резко меняется в их смесях. Обычно токсичность смеси двух, трех солей не равна сумме их токсичностей порознь и не больше токсичности наиболее ядовитой соли, а, как правило, ниже. Наблюдается как бы взаимная нейтрализация солей, — их «антагонизм». Так как в практике земледелия мы обычно имеем дело со смесями солей, то явление антагонизма солей и возможность использования его в целях улучшения засоленных почв приобретают большое значение.

Как следует из работ Loew и его школы, Furuta, Hansteen и др., наиболее выражены положительные антагонистические свойства у солей Ca и особенно у $CaSO_4$ как в отношении Mg, так и в отношении Na и K и даже Cu и Zn.

Выше мы уже касались исследований Hansteen, объясняющего явление антагонизма с точки зрения физико-химического влияния кальция на проницаемость клеточных стенок ткани корня. Но допустимо дополнительное привлечение и других объяснений. Так, весьма вероятно и образование новых, менее токсических соединений: например, смесь $CaCl_2$ и Na_2CO_3 поведет к образованию углекислого кальция и его выпадению из раствора.

Не исключено также, что смеси солей меняют активность ионов, снижая ее и этим самым уменьшая их ядовитость. Повидимому, лишь этим и можно объяснить антагонистический эффект таких пар солей разных катионов, но одного аниона, как, например, $MgSO_4$ и Na_2SO_4. Установлен также антагонистический эффект пар Na_2SO_4 и $MgCl_2$, NaCl и $MgSOSO_4$.

Miyake показал на примере риса антагонистическое действие Ct и SO_4, которое выражено, однако, слабее, чем у катионов. Им же установлено антагонистическое действие между азотными, сернокислыми и хлористыми солями калия и натрия.

В качестве примеров проявления антагонизма солей в водных культурах можно привести опыты Osterhout (132). Изучая водные культуры пшеницы, льна, бобов, свеклы, на растворах KCl, $MgCl_2$, $CaCl_2$ без примеси и с примесью NaCl, Osterhout установил, что прибавление NaCl резко улучшает развитие растений по сравнению с сосудами чистой соли без примеси NaCl. Отсюда следует, что эффект антагонизма проявляет себя положительно даже тогда, когда общая концентрация солей не понижается. Уменьшение концентрации одной из солей может ухудшить развитие растения.

Harris приводит на этот счет интересный пример (33). Растение удовлетворительно развивается при следующем соотношении солей в растворе — 0.0398% Na_2CO_3 + 0.0710% Na_2SO_4.

При уменьшении концентрации Na_2SO_4 вдвое растение гибнет.

Все это говорит о том, что явление антагонизма солей может быть с большим успехом использовано для создания оптимального соотношения солей в почве. Здесь возможен путь не только уменьшения суммы солей, но и их увеличения. Это подтверждается примерами улучшения некоторых почв Калифорнии (содержащих до 5% $MgSO_4$) путем прибавления солей кальция. Бесспорно, что эффект гипсования и известкования солонцов в большинстве случаев обязан явлениям антагонизма гипса

в отношении других солей. Stewart на песчаных культурах также показал это интересное явление. По его исследованиям, пшеница, овес, горох гибнут при концентрации 0.039% NaCl, но переносят концентрации до 1.0% смесей солей. Пшеница и овес в состоянии перенести в песчаных культурах концентрацию смеси солей даже до 2.0%, однако при условии, что в ней содержится 0.125% хлоридов (Harris). Упомянем также указание 'Sigmond на то, что токсичность соды значительно понижается от присутствия хлористого и сернокислого натрия.

Антагонизм солей может сказываться положительно не только непосредственно, но и косвенно через биологию почвы. Так, Lipman показал антагонистическую роль NaCl, Na_2CO_3, Na_2SO_4, $NaNO_3$ в процессах нитрификации и фиксации азота.

Наибольшее антагонистическое действие проявляется между 0.7% Na_2CO_3 и 0.2% NaCl. Нейтрализующее взаимодействие солей в условиях различных почв, различных смесей, соотношений и концентраций солей весьма различно.

Различно оно и для определенных культур. Можно утверждать, что в каждом районе и для каждой культуры явление антагонизма сложится по-своему. Сошлюсь на указание Н. А. Димо на сессии ВАСХНИЛ 28 февраля 1936 г. о том, что лишь большим участием кальция в составе солей муганских солончаков можно объяснить способность хлопка выносить сравнительно высокую концентрацию солей без особого снижения урожая (цифры А. Н. Конюк): до 0.3% урожай 21 ц/га, до 0.6%—24.6 ц/га, до 1.0%—12.0 ц/га, свыше 1.0%—1.7 ц/га.

Внимательное рассмотрение последних цифр показывает, что некоторое увеличение суммы солей в условиях Мугани не только не угнетает хлопок, но даже повышает его урожай, т. е. оказывает стимулирующее действие. Очевидно, для многих случаев и для многих растений возможно найти такую концентрацию смеси солей, которая не только не угнетает их развитие, но, наоборот, активирует. Исследования Якушкина и Стольгане на водных культурах пшеницы, проса, ячменя показали, что небольшое повышение концентрации солей и осмотического давления вызывает положительный эффект.

Все это говорит о том, что нельзя механически и односторонне подходить к оценке физиологической роли солей, огульно рассматривая ее как отрицательную. Неправильно будет и при борьбе с засоленностью рассчитывать на предельное удаление солей промыванием почв.

В этих случаях можно спуститься ниже оптимума. Поэтому совершенно необходимо экспериментально для данной культуры в производственной обстановке установить оптимальные концентрации и соотношения солей, к достижению которых и направлять уже хозяйственные мероприятия.

Стимулирующее действие солей может сказываться и на прорастании семян.

Harris указывает, например, что концентрации 0.4% NaCl, Na_2SO_4, $MgSO_4$, Na_2CO_3 оказывали положительное влияние на прорастание семян и развитие растений. В частности, Jarius установил, что концентрация

0.4% NaCl стимулировала прорастание семян пшеницы, риса, репы, маиса. вики, бобов.

Косвенно стимулирующее действие невысоких концентраций солей может сказаться на растениях через микрофлору почвы. Kelley, найдя, что 0.1% Na_2CO_3 токсичен для нитрификаторов в присутствии 0.15% $(NH_4)_2 SO_4$, показал, что эта же концентрация на фоне 0.0625% $(NH_4)_2SO_4$ действует стимулирующе. Такое же стимулирующее нитрификацию действие некоторые приписывают NaCl в концентрациях меньше 0.1% (Harris).

Сопоставление токсических концентраций солей, найденных по водным и песчаным культурам и полученных на почвах, показывает, что растения на почвах обычно переносят бо́льшие концентрации солей, чем в водных и песчаных культурах. Последние же занимают промежуточное положение.

Причины этого, как следует из сказанного выше, прежде всего могут заключаться в антагонизме солей и адсорбции солей и ионов. Умеряющее значение ядовитого действия солей приписывают также органическому веществу почвы. Harris и Pittman прямо указывают, что при одной и той же концентрации солей и влажности почвы растение лучше развивается на почвах более гумусных.

Имеются также указания на то, что чем глинистее механический состав почв, тем слабее проявляется токсическое действие солей (Harris, Hibbard). Очевидно, и здесь дело связано с явлениями адсорбции.

Большим регулятором токсичности солей является влажность почвы. Высокая влажность в комбинации с высокой гумусностью почв — наиболее сильные факторы, снижающие токсичность солей в почвах. Harris приводит, например, данные, показывающие, что при 25% влажности рис хорошо развивается при содержании солей 2.25%, ячмень и люцерна при содержании 1.00%. Условия влажности на засоленных почвах приобретают очень большое значение в сухом земледелии. Всем известны прекрасные урожаи пшеницы во влажные годы на солонцах или на черных высокогумусных влажных луговых солончаках.

Murphy (133) приводит интересные наблюдения в Oklahoma (США), показывающие, как зависима граница токсичности солей от условий влажности почвы. В 1928 году, влажном, предельной для пшеницы была конпентрация солей 0.866%. В 1929 году, более сухом, пшеница гибла уже при концентрации 0.443%.

Об этом еще ярче свидетельствуют эксперименты Harris (33) на песчаных культурах (табл. 96).

Таблица 96

Токсические концентрации (в %)
и их зависимость от влажности (в %)

NaCl	при влажности	12 — 0.29	при	влажности	18 — 0.57
Na_2CO_3	»	» 12 — 0.27	»	»	21 — 0.33
Na_2SO_4	»	» 12 — 0.80	»	»	24 — 1.60

Отсюда ясно, что при изучении токсичности солей нужно обязательно наблюдать за влажностью почвы. Повидимому, кроме процентного

выражения солей, содержащихся в почве, границы их токсичности будет правильнее выражать в концентрациях на влажность почвы. Последняя величина отразит, таким образом, оба фактора.

Кроме влажности, известное умеряющее значение имеет и запас питательных веществ. Hibbard указывает, что чем богаче почва питательными веществами, тем растение лучше переносит соли.

Такое же значение имеют удобрения. Очевидно, общая развитость растения обусловливает и общую его высокую стойкость. Вообще говоря, роли растительности, приспособленности растительности к солям необходимо приписать очень большое значение.

Очевидно, что, регулируя режим влажности засоленных почв в целях снижения концентрации солей, обеспечивая удобрениями и высокой агротехникой оптимальные условия для развития растений, особенно в ранние периоды, мы в значительной степени можем повысить солестойкость растений и тем самым их урожайность.

СОЛЕСТОЙКОСТЬ РАСТЕНИЙ И ЕЕ ФАКТОРЫ

Существующие материалы о токсических концентрациях солей для отдельных сельскохозяйственных растений обычно устанавливались грубым приближенным способом путем прямого сопоставления общего состояния растения и его урожайности с количеством солей, находящихся в почве.

Этот метод изучения солестойкости растений не учитывает обычно того режима влажности почв, который сопутствует растению во время его развития. Не учитывается при этом и тот фактический состав солей, который складывается в почвенной влаге при ее изменениях, метеорологические условия периода наблюдений и, наконец, биологические особенности различных сортов одного и того же вида растений.

Между тем (мы подчеркивали это неоднократно), способность растения переносить соли чрезвычайно меняется в зависимости от комплекса этих факторов при одной и той же величине засоленности почв.

Поэтому в материалах о токсических концентрациях солей в почвах в полевых условиях можно найти много противоречий и неясностей, как это показано ниже.

В связи с этим необходимо предостеречь от механического перенесения в нашу практическую производственную обстановку существующие показатели токсичности солей, найденные этими методами и в большинстве случаев на американских почвах. Это касается в особенности вопросов установления верхних пределов токсических количеств солей в почвах, вопросов о выбраковке освоенных территорий или обоснования сниженности урожаев.

Необходимы систематические исследования в важнейших районах нашего орошаемого земледелия, физиологического действия на растение тех концентраций и того состава солей, которые фактически складываются при данных условиях влажности (число и величина поливов) почвы и условиях погоды. Лишь этим путем можно установить твердо обоснованные пределы полезных, безвредных и токсических концентраций солей для определенных климатических и почвенных условий и для определенного (местного) сорта растений.

В числе факторов, действующих на сопротивляемость растений токсическому действию солей, основными являются следующие: тип строения корневой системы, тип надземной части растений и густота их стояния на единице поверхности, соотношение области основной массы залегания солей с областью основной массы распределения корней, фаза развития растения, соленосность и влажность почвы.

Растения типа злаков (зерновые хлеба), культурные травы, имеющие мочковатый тип корневой системы с расположением их главной массы близ самой поверхности почв, очень нестойки на поверхностно-засоленных почвах даже при невысокой засоленности всего профиля, так как и соли больше всего концентрируются близ поверхности (Harris).

Растения с глубокой корневой системой типа бобовых (люцерна), хлопка, свеклы и др., укрепляясь весной, когда соли несколько опущены, развивают основную массу корней в нижней части профиля, где меньше концентрация солей и больше влажность. Это дает впечатление высокои солестойкости названных растений. Между тем, натыкаясь на глубинные соленосные горизонты, что возможно в солонцах с подсолонцовым засолением каспийского типа, глубококорневые растения могут оказаться менее стойкими, чем злаки, которые, развиваясь в горизонтах более опресненных, естественно, в аналогичных пунктах не погибнут. Вообще говоря, солестойкость растений понижена на ранних стадиях развития. По мере роста и укрепления организма и его тканей солестойкость возрастает. Это подмечено в отношении свеклы, люцерны, хлопка. Успев развиться при повышенной влажности и уменьшенной концентрации солей, эти растения приобретают затем большую солестойкость. Далее, мощность надземного развития люцерны, хлопка и частая культивация пропашных (свекла), способствуя уменьшению испарения, сохраняют пониженные концентрации солей в почве и тем самым повышают солестойкость самих произрастающих растений (Harris).

Засоленные почвы расположены в самых различных термических поясах. Это ограничивает возделывание ряда наиболее солестойких растений, как, например, пальма, рис и хлопок, лишь самыми теплыми районами засоленных почв.

Из других растений, которые, по исследованиям Stewart, обнаружили наиболее высокую солестойкость при проращивании семян в песке, назовем ячмень, затем рис, пшеницу, овес, горох, люцерну, красный и белый клевер.

В общем же для них были фатальны концентрации Na_2SO_4—1%, NaCl и Na_2CO_3—0.5%.

Исследования Harris (33, 134), проведенные на почвах, показали, что порядок уменьшения солестойкости растений можно выразить следующим рядом: ячмень, овес, пшеница, люцерна, сахарная свекла, кукуруза, канадский горох. Этот ряд растений подтверждается и многими другими исследователями (Claudel, Crochetelle, Loughridge и др.).

Ниже приводятся данные Guthrie и Helms, показывающие солестойкость пшеницы, ячменя и риса в обстановке опыта по отношению к NaCl и Na_2CO_3.

Эти эксперименты показывают также, что солестойкость одних и тех же растений при проращивании семян и росте может быть различной.

Таблица 97

Солестойкость пшеницы, ячменя, риса при проращивании семян и развитии проростков

Концентрации в % / Характер повреждения	NaCl			Na_2CO_3		
	пшеница	ячмень	рис	пшеница	ячмень	рис
Проращивание семян замедлено	0.05	0.1	0.1	0.3	0.25	0.25
Не прорастают	0.2	0.25	0.4	0.5	0.6	0.5
Рост нарушен	0.05	0.1	0.15	0.1	0.15	0.25
» остановился	0.2	0.2	9.2	0.4	0.4	0.4

Растения, проросшие при более высоких концентрациях, затем останавливаются в росте при более низких. При этом может меняться и последовательность солестойкости.

Чтобы попутно охарактеризовать влияние солей на прорастание семян, отметим, что это прорастание замедляется параллельно с ростом засоленности субстрата. Сошлемся на яркий пример, приводимый Виленским (11) из работы B. C. Büffum.

Проросло семян пшеницы за 16 дн. на незасоленной почве 92%
» » » » 27 » при 1% солей 68
» » » » 27 » » 2.25 » 12
» » риса » 15 » на незасоленной почве 98
» » » » 27 » при 1% солей 94
» » » » 27 » » 2.34 » 92
» » » » 27 » » 5.00 » . . . . . 5 зерен

Задержка в прорастании семян и последующие задержки и остановки в росте растений чрезвычайно опасны в условиях нашего сухого земледелия, когда пропускаются лучшие сроки развития и оптимальные условия влажности почвы. Уже одним этим величина урожая значительно снижается.

ТОКСИЧЕСКИЕ КОНЦЕНТРАЦИИ СОЛЕЙ ДЛЯ КУЛЬТУРНЫХ РАСТЕНИЙ

Кормовые травы

Люцерна — весьма чувствительна к солям в молодом возрасте. Поэтому для ее культуры на солончаках в США применяют интенсивный полив с промывкой солей. В юном возрасте, по данным Loughridge, лимитом для люцерны являются концентрации 0.070% Na_2SO_4, 0.005% NaCl при 0.082% суммы солей. Для Средней Азии лимит этот значительно выше

0.2—0.3% сухого остатка (Б. С. Коньков). Высшим лимитом для старой люцерны являются концентрации (в %):

Na_2CO_3 — 0.03 — 0.09 (Harris)
NaCl — 0.036 (Loughridge)
Na_2SO_4 — 0.641 »

сумма солей на суглинистых почвах — 0.7 (Harris)
» » » песчаных почвах — 0.2 »
» » в почвах Ср. Азии — 1—1.5 (Коньков, 135)

Вообще же люцерна предпочитает дренированные сухие, аэрируемые угодья. По венгерским данным ('Sigmond), туркестанская люцерна менее солестойка, чем венгерская. В одних и тех же условиях венгерская люцерна дает урожай 41.5 квинтала, а туркестанская — 33.8, перенося хорошо содержание солей до 0.12—0.15%. В Венгрии наблюдается отмирание люцерны в орошаемых условиях на 5—6 году, когда корни ее достигают глубинных засоленных горизонтов.

Донник (*Melilotus officinalis* и *M. alba*) в американских условиях часто предпочитается люцерне, по сравнению с которой он более солестоек, переносит лучше содовое засоление и хорошо развивается на недренированных избыточноувлажняемых угодиях.

Его недостатком является то, что он двухлетник, а возобновление культур на засоленных почвах затруднено вообще. Для избежания дурного привкуса у сена, обусловленного кумарином, рекомендуются ранние укосы.

Вика (*Vicia salvia*, *V. villosa*), в американской практике широко применяющаяся в качестве сена для выпасов и зеленых удобрений, имеет верхним лимитом хорошего произрастания концентрацию солей 0.4—0.6 %.

Такую же предельную концентрацию имеет полевой горох (*Pisum sativum*) — 0.4% (главным образом Na_2SO_4). Несколько большие концентрации переносит костер (*Bromus inermis*) — 0.5—0.7%, пырей (*Agropyrum repens*) — 0.6—0.8% и райграс (*Lolium italicum*) — 0.6—0.8%.

Несравненно бóльшие концентрации могут переносить ряд специфически солончаковых кормовых растений: *Distichlis spicata* — 3—5%, *Atriplex semibaccata*, *Elymus condensatus* и др.

В Венгрии почвы, содержащие солей больше 0.2%, используются преимущественно без распашки под кормовые травы. При содержании солей меньше 0.3% получается еще очень хорошее сено ('Sigmond).

Зерновые злаки

Ячмень наиболее солестоек по сравнению с другими злаками и является важнейшей культурой засоленных почв; в частности он хорошо переносит соду. Средний лимит токсичности 0.2—0.4%. Иногда получается хороший урожай и при концентрации 0.6%. При культуре на фураж ячмень выносит концентрации до 0.6—0.8%. В приморских областях он

культивируется вполне удовлетворительно на почвах, засоляемых морской водой до суммы солей в верхних 6 дюймах почвы до 1.6—2.0%.

Этим данным Harris противоречат лимиты Loughridge Na_2SO_4— 0.075%, Na_2CO_3 — 0.076%, NaCl — 0.003%, сумма — 0.160%, а также и указания Б. Н. Кречуна о том, что на содовых солонцах Драбовского опытного поля Полтавской губ. ячмень оказался чувствительнее других злаков (по Виленскому).

О в е с несколько менее солестоек, чем ячмень. По наблюдениям Коссовича и Захарова, он переносит в условиях вегетационного опыта 0.097% NaCl. Harris считает лимитом для верхнего фута сумму 0.5—1.0%. Высшей концентрацией соды является 0.06—0.07%.

П ш е н и ц а принадлежит к довольно солестойким культурам; она занимает место после ячменя и овса.

При культуре на сено пшеница переносит в верхнем футе сумму 0.4—0.6% и при культуре на зерно 0.1—0.4%. Harris указывает даже на то, что пшеница хорошо росла при концентрации солей 0.876% (0.1146% Na_2CO_3, 0.1577% NaCl, 0.5840% Na_2SO_4) в верхнем футе.

Данные цифры приводятся Harris для различных частей штата Utah. Указываются случаи роста пшеницы в Америке при сумме солей —2.0% (NaCl очень мало). Эти непомерно высокие лимиты солей вызывают сомнение, так как неизвестны условия влажности и карбонатности почвы, сорт пшеницы и т. д. На примере пшеницы можно видеть, что токсические концентрации могут значительно колебаться в зависимости от соотношения солей и условий влажности. Так, по данным вегетационных опытов Безенчукской опытной станции, пшеница на супесчаных черноземах переносит концентрацию NaCl — 2.83% и Na_2SO_4 — 8.9%.

Таблица 98

Урожай пшеницы на искусственно засоленной каштановой почве Валуйской станции (в г на сосуд)

Концентрации в % / Соли	0 0	0 05	0 10	0 15	0 20
NaCl	19 1	13.8	5 2	0 0	0 0
Na_2SO_4	—	18 0	15 2	—	4 4

По исследованиям Валуйской опытной станции, содержание NaCl — 0.30% и Na_2SO_4 — 2.40% губительно для пшеницы, а концентрации ионов Cl— 0.05—0.10%, SO_4—0.30—0.40% угнетают ее развитие (табл. 98) (130).

Наблюдения Б. Скалова на почвах б. Темирского уезда также показали, что пшеница больше всего угнетается хлористым натром и содой.

Хлориды в условиях типичной полевой влажности задерживают рост пшеницы при содержании иона Cl′ в почве 0.01%, и при содержании 0.04—0.05% препятствуют даже всходам. Щелочность токсична в тех же, примерно, количествах — 0.05—0.06%, усиливая отрицательную роль

хлоридов. Эта величина близка к той, которую дает Harris для штата Utah — 0.05%.

Сильное увлажнение заметно снижает токсичность названных количеств.

В почвах Муганской степи, по наблюдениям Тулайкова, пшеница может переносить без особого ущерба в верхних 30 см содержание NaCl до 0.04—0.07%.

По данным Murphy (штат Oklahoma), урожай пшеницы в зависимости от содержания солей (в %) изменяется следующим образом:

урожай	хороший	— 15 буш.	при содержании	солей	— 0.193
»	средний	— 10 »	»	»	— 0.336
»	плохой	— 5 »	»	»	> 0.600

Однако имелись случаи получения урожая пшеницы в 15 бушелей при содержании солей 0.398% и плохого урожая при содержании 0.340%. Это еще раз свидетельствует о необходимости учета не только концентрации солей, но и их состава. В отношении пшеницы, как и большинства других растений, наиболее вредными являются сода, хлористый натрий и нитраты, содержание которых в количестве 0.5—0.7% нацело губит урожай (Harris).

В солестойкости пшеницы большую роль играет соотношение солевого профиля почвы и основной массы корневой системы. Решающее значение играют верхние 6 дюймов (Harris) — главная зона корнеобитания.

Ниже приводится заимствованный у Harris пример из работ Shutt и Smith.

Пшеница развита хорошо		Пшеница развита плохо
0—6 дюймов	0.00% солей	0.123% солей
1 фут	0.178 »	
1—6 »	0.8 »	0.7 »

Рожь рекомендуется Harris для культуры на зерно или на зеленое удобрение в случае, если другие зерновые не выдерживают засоленности почв. При этом в качестве лимитов указывается содержание солей до 0.5 — 1.0%.

Просо, принадлежа к числу солестойких культур, дает хороший рост при содержании солей до 0.135—0.592% (Murphy) и отличается устойчивостью на содовых солонцах (Драбовское опытное поле).

Средним лимитом являются величины порядка 0.30—0.35% суммы солей (Murphy).

Рис обладает не особенно высокой солестойкостью. По Loughridge, для риса предельными концентрациями являются:

Na_2SO_4	Na_2CO_3	NaCl	Всего солей
0.060%	0.006%	0.011%	0.078%

Но принадлежа к культурам, возделываемым в условиях очень высокой влажности, рис переносит довольно высокие концентрации солей.

Harris, например, указывает, что в Египте рис в этих условиях переносит до 1% NaCl.

Корнеплоды и клубнеплоды

Свекла сахарная, по многим указаниям, обладает высокой солевыносливостью. Но эта солевыносливость полностью проявляется лишь после укоренения свеклы. В раннем возрасте солестойкость свеклы понижена. Поэтому культура свеклы на солончаковатых почвах должна сопровождаться промывкой солей перед посевом. Общим лимитом содержания солей в почве для свеклы ряд исследователей (Loughridge, Harris) считают 0.2—0.3%. После укоренения свекла может переносить уже содержание солей 0.4—0.6% и выше.

Наибольшей токсичностью для свеклы отличаются NaCl и $NaNO_3$ (Колорадо, Калифорния, Сред. Азия), причем отрицательное действие их сказывается не на массе урожая, а на сахаристости. Прекрасно перенося концентрации 0.2—0.4% NaCl, свекла теряет сахаристость настолько, что сохраняет значение лишь как кормовая. Еще больше падает сахаристость у свеклы при участии нитратов натрия (Harris, Headden). Хуже переносится сахарной свеклой сода; лимитом для Na_2CO_3 указывается содержание 0.025—0.05%. Сернокислый натрий переносится легче других солей и без снижения качества в таких концентрациях (0.3—0.6%), которые при других солях губительны (Loughridge, Harris). При концентрациях до 0.06% Na_2SO_4 может являться стимулятором роста и сахаристости свеклы (Рыженкова, 136). Впрочем, слабая засоленность почв вообще повышает сахаристость свеклы (Виленский, Harris). Так, Harris говорит о положительном влиянии концентраций солей в почве до 0.05—0.07%.

Кормовая свекла, как следует из сказанного, является очень солестойким растением. Влияние солонцеватости на свеклу не изучено. Есть указания на то, что солонцеватость снижает ее урожайность. Однако слабая солонцеватость иногда способствует росту сахаристости (Рыженкова).

Картофель, по наблюдениям Harris, переносит соли плохо, особенно в случаях значительного участия NaCl и $NaNO_3$. Картофель может развиваться неплохо при содержании солей до 0.2—0.4%, но качество его при этом будет очень низким. Даже концентрации порядка 0.1% снижают качество картофеля. Поэтому Harris считает целесообразнее заменять на засоленных почвах картофель другими растениями.

Лук значительно более солестоек (Hibbard, Harris), но и он плохо переносит участие в составе солей нитратов натрия. Нитраты кальция даже в количестве 0.45—0.57% влияют положительно. Обычные соли (без соды) удовлетворительно переносятся при содержании их 0.11 (Shutt) — 0.24% (Hilgard). Лимитом является величина 0.4—0.6% (Kearney).

Прядильные

Лен. Данных о солевыносливости льна крайне мало. Есть указания Kearney на то, что лен хорошо развивается при содержании 0.4% солей в первом футе.

Х л о п о к принадлежит к числу относительно солестойких растений. Солестойкость хлопка связана с высоким осмотическим давлением клеточного сока до 16 ат (137). Однако очень высокие концентрации солей, как указывает Harris, вызывают снижение качества волокна: укорачивается длина и приобретается узловатость. Коротковолокнистые сорта хлопка развиваются в США удовлетворительно при содержании солей 0.4—0.6% (Kearney). Чувствительность длинноволокнистых сортов выше. Особенно сильной токсичностью для хлопка отличаются хлориды и нитраты натрия.[1]

Близки к этому величины, установленные M. Mossèri для хлопка в Египте (табл. 99) (138).

Таблица 99

У р о ж а й х л о п к а в Е г и п т е в з а в и с и м о с т и о т с о с т а в а и к о н ц е н т р а ц и и с о л е й

Почва	Урожай в кантарах на 1 фед-дан	Концентрация солей в %			
		NaCl	Na_2CO_3	$NaHCO_3$	$CaSO_4$ и $MgSO_4$
Плохая	До 1	0.275	0.085	0.246	Следы
Средняя	» 3	0.200	0.045	0.117	»
Хорошая	» 5	0.125	Следы	0.152	»

Токсические концентрации солей для хлопчатника в условиях СССР изучены совершенно недостаточно. Специальная сессия Всесоюзной Академии с.-х. наук имени Ленина, посвященная культуре хлопка (февраль 1936 г.), отметила задачу изучения физиологического действия солей на хлопок и выяснения токсических градаций их как первоочередную, ибо совершенно нетерпимо в дальнейшем пользоваться лимитами, установленными в Египте и США. Б. В. Федоров (139). на основании своих наблюдений, устанавливает следующие градации солей в корнеобитаемом горизонте почв для Средней Азии:

а) нормальное развитие хлопчатника

плотный остаток — 0.200—0.350%
Cl — 0.005—0.012
SO_4 — 0.060—0.160

б) явное угнетение хлопчатника

плотный остаток — 0.400—0.700%
Cl — 0.015—0.034
SO_4 — 0.200—0.300

в) предельное содержание солей

плотный остаток — 0.80%
Cl' — 0.04
SO_4'' — 0.30

Интересные наблюдения Панкратовой-Глаголевой (137) в вегетационных сосудах дают сходные величины. Сильное угнетение хлопка вызывалось концентрацией 0.73% NaCl; концентрация 1.46% оказалась губительной, концентрация же 0.37% оказала положительное действие,

[1] Повреждение хлопчатника нитратами в совхозе Пахта-Арал установлено в 1936 г. А. Т. Кирсановым и А. Н. Розановым.

увеличив урожай сырца по сравнению с контролем на 10%. Все концентрации вызывали опаздывание всходов. Более повышенные вызывают задержку роста, бутонизации и созревания. Токсичность NaCl значительно смягчалась введением в сосуды дополнительно KCl и $CaCl_2$ в отношениях к NaCl, как 2 : 2 : 100. Особенно интересно положительное влияние KCl и $CaCl_2$ как антагонистов при концентрации 1.46%, когда в их присутствии хлопок взошел и плодоносил, правда, намного ниже контроля.

Полевые наблюдения Г. В. Беляковой (140) на Голодностепской опытной станции показали, что нормальный хлопок развивается на участках со следующим содержанием солей в полутораметровом слое за сезон: сухой остаток 0.245—0.523%, Cl — 0.14—0.15%, SO_4 — 0.146—0.259%. Угнетенный хлопок развивается при следующем содержании солей:

сухой остаток — 0.871 — 0.976%
Cl — 0.057 — 0.065
SO_4 — 0.452 — 0.510

В условиях Мугани при концентрации солей выше 1.00% в слое 0—10 см культура хлопка экономически считается нерентабельной. Для египетского хлопка границей рентабельности является концентрация 0.7% (Рыженкова, 141). По наблюдениям А. Н. Конюк, сообщенным Н. А. Димо на сессии Всесоюзной академии с.-х. наук им. Ленина, в Муганской степи токсическими являются концентрации 0.6—1.0%; концентрации меньше 0.6% действуют стимулирующе, а больше 1.0% сводят урожай почти к нулю.

Таким образом токсические концентрации солей в муганских солончаках выше, чем в голодностепских. Н. А. Димо приписывает это значительному участию солей кальция, действующих антагонистически.

Б. В. Федоров в своей классификации засоленности почв Средней Азии также отмечает, что и солончаки Ферганы при тех же концентрациях солей менее токсичны, чем солончаки Голодной Степи. Причина заключается в большем участии сернокислых солей в Фергане, чем в Голодной Степи. Солестойкость хлопка в семенах и раннем возрасте значительно меньше, чем в зрелом. По наблюдениям Конькова, концентрации порядка 0.2—0.4% вредят нормальному прорастанию семян и развитию хлопчатника в юном возрасте. Однако в случае закрепления корневой системы, во второй период развития хлопок переносит безболезненно содержание солей до 1.5—2.0%.

Таким образом основные задачи агротехники в этом случае, как и в случаях с люцерной и свеклой, заключаются в том, чтобы избежать высоких концентраций солей в ранние периоды развития растений.

Принято считать (Н. А. Димо, Л. П. Розов), что содержание солей 0.5% и выше в верхнем горизонте является лимитом для культуры хлопка. Необходимо отметить, что, являясь крупным растением, затеняющим почву и будучи пропашной культурой, хлопчатник уменьшает процессы поверхностного испарения капиллярных растворов, а тем самым и процесс засоления почв.

Древесно-садовые

П а л ь м ы являются самой солестойкой культурой, выносящей в поверхностных горизонтах почвы до 3.0—4.0% NaCl при содержании в ниж-

них до 0.6—1.0% (Harris). Концентрации NaCl порядка 0.5% безвредны. Сода переносится пальмой хуже. Все же и сода в концентрациях 0.06% безвредна. Сернокислый натрий хорошо переносится в количестве 2—5%.

Качество плодов при этом страдает мало. Исходя из высокой солестойкости пальм, было бы целесообразно попытаться акклиматизитровать некоторые их сорта в южных районах Средней Азии и в Закавказье.

О л и в к о в о е д е р е в о также обладает известной солестойкостью, перенося концентрацию солей до 0.25%.

В и н о г р а д, обладая солестойкостью в пределах до 0.2—0.3% солей, выше этой концентрации гибнет. Американские лозы имеют репутацию более солестойких, чем европейские.

П р о ч и е ф р у к т о в ы е д е р е в ь я: апельсин, миндаль, груша, фиговое дерево, яблоня, переносят содержание солей не выше 0.1—0.2%. Еще меньшей солевыносливостью обладают сливы, абрикосы, лимон, персик, тутовое дерево. Концентрации солей 0.08% являются для них пределом (Loughridge, Harris, Hibbard). При повышенных концентрациях солей сильно страдает качество плодов.

В нашем обзоре литературных данных о токсических количествах солей для растений мы неоднократно подчеркивали противоречивость найденных показателей и широкие пределы их колебаний в зависимости от почвенных и метеорологических условий и свойства растений.

Мы подчеркивали также и те случаи, где установлено стимулирующее положительное влияние солей.

Все это говорит за то, что существующими показателями токсичности солей мы можем пользоваться лишь в качестве отправных придержек. Ближайшей задачей будущего является глубокая исследовательская работа по установлению пределов токсичности солей в производственных условиях на строго определенных типах засоленных почв и для определенных культивируемых на них растений.

На этот путь в настоящей период вступил Почвенный институт Академии Наук СССР в своих исследованиях засоленных почв долины р. Вахш и почв совхоза Пахта-Арал (Ср. Азия).

ВЛИЯНИЕ ПОГЛОЩЕННЫХ КАТИОНОВ НА РАСТЕНИЕ

Вопрос о влиянии поглощенных катионов на растение является одним из наименее изученных. Между тем химическая мелиорация солонцов нуждается в сознательном установлении совершенно определенных градаций оптимального соотношения катионов Ca и Na в почвах. Основоположником исследования этих вопросов явился К. К. Гедройц (142). Его исследования еще в 1913 г. установили, что полное насыщение образцов тульского чернозема в отдельности NH_4, Na, K (на фоне полного удобрения N, P, K и Mg при внесении и без внесения $CaCO_3$) приводит к гибели засеянных семян. Семена ослизняются и полностью не всходят. Эти данные подтверждались многочисленными повторными опытами с включением и других катионов. Опыты с Mg давали тот же результат. В отдельных случаях наблюдались единичные всходы, но они быстро погибали или же давали ничтожный урожай. Совершенно особое место во всех опытах занимал

кальций. Полное насыщение образцов чернозема кальцием не только не снижало урожай, но, наоборот, увеличивало. Близкое место к кальцию занимал стронций. Позднее наблюдения Гедройца были подтверждены исследованиями А. Т. Кирсанова и его сотрудников. Наибольшей токсичностью отличались NH_4 и Na. Введение кальция ослабляло токсическое действие других катионов. Водород также ослаблял отрицательное действие Mg и Na.

По данным А. Т. Кирсанова (143), токсичность обменного натрия неодинакова на различных почвах и для различных растений. Так, в его опытах горчица обладает большей чувствительностью, чем овес. Уже 15—20% Na от емкости отзываются резко отрицательно на развитии растения и на урожае.

Учитывая, что данные А. Т. Кирсанова получены в условиях вегетационного опыта при разбавлении почвы инертным песком и при оптимальной влажности, можно полагать, что токсический лимит обменного Na для полевых условий приблизительно равняется 10% от емкости.

В противоречии с этими данными находятся исследования Е.И. Ратнера (144), которым установлено, опять-таки в условиях вегетационного опыта, что содержание обменного Na до 20—30% от емкости обмена не снижает урожай овса и яровой пшеницы. Угнетение заметно сказывается лишь с 40% и при 65—70% Na от емкости обмена растение гибнет. В случае почв, богатых органическим веществом, указывает Ратнер, отрицательное влияние обменного Na сказывается сильнее.

Такие расхождения в установлении лимитов токсичности обменного Na указывают лишь на большую сложность и многообразность этого явления.

Изменения в физике почв, вызываемые даже ничтожными дозами натрия, в условиях вегетационных опытов не наблюдаются, и с ними необходимо считаться лишь в полевой обстановке.

Гедройц и многие другие исследователи видят токсическое действие обменного Na, K, NH_4 в способности их путем гидролитических реакций отщеплять в почвенный раствор ионы OH, отличающиеся, как известно, крайней токсичностью. Роль подобного гидролиза вероятна еще и потому, что в солонцовом горизонте присутствуют свободные силикаты и алюминаты натрия, сода и гумат натрия.

Ратнер приписывает гумату натрия очень высокую токсичность. Kelley, в результате изучения корневой системы проростков ячменя, в насыщенной натрием почве, — пришел к мысли, что причина токсичности почвы, насыщенной обменным Na, заключается в нарушении нормального поступления кальция в растение и в расстройстве кальциевого питания. Таким образом носителем токсичности в солонцах, по Kelley, является не жидкая фаза, а твердая (145). Ратнер, так же как и Kelley, видит причину токсичности солонцов в нарушении кальциевого питания. Нам кажется, что на ряду с ядовитостью ионов OH последнее обстоятельство, действительно, является одной из решающих причин токсичности почв, насыщенных натрием до высоких степеней.

Уже Гедройц предостерегал от одностороннего взгляда на токсичность обменного Na, считая, что небольшие количества его не только совершенно необходимы для растения, но оказывают даже положительное влияние. Эта точка зрения разделяется также Ратнером, Розовым и Ромашевым.

Очевидно, положительное влияние натрия здесь сказывается в наибольшей степени через повышенную растворимость соединений фосфора.

Так, Ромашев указывает, что на почвах Макиевской опытной станции присутствие 0.02% поглощенного натрия повышает доступность почвенных соединений растению и поэтому желательно (108).

Л. П. Розов (146) считает, что пределом положительного влияния обменного натрия на растение является величина не выше 5% Na от емкости. Но эта граница, как и граница выраженного отрицательного влияния, — весьма приближенная и нуждается в уточнении для определенных типов солонцов и растений в производственной обстановке.

Систематических данных, характеризующих токсичность обменного Na в полевых производственных условиях, пока нет. Вопрос осложняется еще и тем, что в полевых условиях отрицательное действие обменного натрия слагается из нескольких величин, как, например: токсичность самого обменного Na, отрицательное влияние на растение физических свойств солонца (водно-воздушный режим), подавление деятельности микроорганизмов почвы.

Наблюдения Гантимурова в Забайкалье (147), Ромашева на Украине и Калмыцкой АССР (108) показывают, что для полевых условий отрицательно влияющая величина поглощенного Na колеблется от 0.1 (Украина, Забайкалье) до 0.2% от почвы. Эти величины будут соответствовать 10—20% обменного натрия от емкости.

Отрицательное влияние обменного Na через физические свойства солонца сказываются и при меньших его количествах. По исследованиям многих авторов (Антипов-Каратаев, Иванова, Щаврыгин и др.), 5—10% Na от емкости обмена уже значительно ухудшают агрофизические свойства почвы: сильно замедляется капиллярное движение растворов, падает фильтрационная способность, уменьшается аггрегатность, возрастает коркообразование и т. д.

Заканчивая обзор этих немногочисленных данных, можно в качестве очень ориентировочных величин принять следующие:

1. Содержание обменного Na до 3—5% от емкости обмена почвы сказывается положительно, либо безвредно.

2. Содержание обменного Na до 5—10% от емкости вызывает заметные отрицательные агрофизические свойства, с которыми необходимо бороться мерами агротехники (обработка, севооборот).

3. Содержание обменного Na до 10—20% от емкости поглощения вызывает сильную солонцеватость, сопровождающуюся резко отрицательными физическими свойствами и физиологической токсичностью обменного натрия. С этой солонцеватостью необходимо бороться при помощи химических мелиораций.

4. Содержание обменного Na до 20—40% от емкости вызывает резко выраженные явления токсичности и потери плодородия солонца.

Смысл операций по химической мелиорации солонцов, будет ли это гипсование и известкование, либо обработка карбонатных солонцов серой, хлором, кислотами и т. д., сводится к введению обменного Ca в поглощающий комплекс и к выравниванию отношения между Ca и Na в солонцовом горизонте.

При этом нейтрализуются соединения, дающие при гидролизе ионы OH, и обеспечивается нормальное поступление Ca в растение, т. е. ликвидируется голодание на кальций. Естественный процесс остепнения солонцов под воздействием растительности сводится также к биологической аккумуляции Ca в поверхностных горизонтах и к замещению кальцием обменного Na в солонце.

Травосеяние, как мера борьбы с солонцеватостью, по этим же причинам научно обосновано и практически эффективно. Необходимо лишь, помимо известных уже культур, подобрать или вывести культуры, обладающие, по возможности, наиболее высоким содержанием Ca и Mg в золе, особенно в подземных частях (в корнях).

ГЛАВА VI

ОРОШЕНИЕ И МЕЛИОРАЦИЯ ЗАСОЛЕННЫХ ПОЧВ

ЗАСОЛЕНИЕ ПОЧВ ПРИ ОРОШЕНИИ И МЕРЫ ПРОФИЛАКТИКИ

Орошение, являясь основным способом освоения засоленных почв засушливых стран для полеводства, вызывает в почвах глубокие изменения как положительного, так и отрицательного характера.

Не останавливаясь на всех деталях этого вопроса, требующих особых исследований и описания, остановимся лишь на явлениях вторичного засоления — наиболее частого спутника орошаемого земледелия.

Социалистическое орошаемое земледелие получило в наследство от единоличного хозяйства запущенную, отсталую технику орошения, безграмотный подход к эксплоатации ирригационных систем и, как следствие всего этого, широко распространенное засоление ранее незасоленных почв. По ориентировочным подсчетам, сообщенным академиком Костяковым на 3-й сессии Всесоюзной академии с.-х. наук им. Ленина в феврале 1936 г., к настоящему моменту площадь засоленных и заболоченных при орошении земель достигает громадной величины — около 2 млн. га (148).

Так, например, в Средней Азии засолено и заболочено около 1500 тыс. га — 47% фактически орошаемой площади, в Закавказье — около 390 тыс. га — 40% фактически орошаемой площади, на Северном Кавказе — около 75 тыс. га — 35% фактически орошаемой площади.

По отдельным орошаемым районам средний процент засоленности значительно выше, достигая, например, в Голодной Степи около 80%, а в Муганской степи около 70% (Глыбин и Костяков).

Основные массивы засоленных при орошении почв в Средней Азии расположены в главнейших хлопковых районах: Голодная Степь, Ферганская долина, Бухарский оазис, среднее и нижнее течение Аму-дарьи, Мервский оазис (149). В Закавказье ирригационное засоление особенно распространено в Муганской, Сальянской, Ширванской и Мильской степях (150).

При этом ежегодно выпадает из орошения вследствие засоления не менее 3000—3500 га (Говерт).

Из общей площади засоленных почв, по подсчетам академика Глушкова, свыше 1 млн. га заброшено полностью, и ежегодно выпадает из хозяйственного использования до 80 тыс. га.

На остальной засоленной орошением территории полевые культуры дают низкий урожай, снижая производительность труда в земледелии. При этом задерживается переход к рациональным севооборотам и правильной организации территории.

Все это влечет за собой большие потери в общей экономике народного хозяйства (Костяков).

По имеющимся у нас данным, эти статистические сведения преувеличены, так как учет засоленных площадей ведется обычно по внешним признакам и со значительными округлениями.

Все же они сигнализируют с полной убедительностью о необходимости срочного принятия мер по борьбе с засолением почв при орошении.

Еще грандиознее ирригационное засоление распространено в капиталистических странах. Так, засоленная при орошении площадь в США достигает 3—3.5 млн. га, в Египте — 1 млн. га, в Индии — 2—2.5 млн. га (148).

Ирригационное засоление, основные причины которого коренятся в единоличном, распыленном отсталом мелкокрестьянском и хищническом кулацко-байском земледелии прошлого, может быть преодолено лишь в социалистическом колхозном и совхозном земледелии, построенном за годы первой и второй пятилеток под мудрым руководством партии большевиков и товарища Сталина, ибо подлинно научное орошаемое земледелие возможно лишь при условии планового и комплексного подхода к организации орошаемых территорий и при освобождении земли от рамок земельной собственности и чересполосицы, хищнического собственнического водопользования.

Технические причины ирригационного засоления заключаются, как правило, в поднятии грунтовых вод орошаемой территории до уровня выше критического, когда капиллярные растворы, подымаясь и испаряясь на поверхности почвы, перемещают легко растворяющиеся соли из грунтовых вод и нижней части профиля в корнеобитаемый горизонт вплоть до дневной поверхности почвы.

Причин поднятия грунтовых вод может быть несколько. Основными из них, как показал опыт Голодной Степи, Мугани, Валуйской опытной станции и многих других систем, необходимо считать: а) фильтрацию вод из водохранилища (потери до 20—30%) и подпор ими грунтовых вод района орошения (Валуйская, Новоузенская и Алтатинская системы в Заволжье); б) потери воды через просачивание в оросительной и приводящей сети (Заволжье, особенно Голодная Степь) до 20—40% от поданной через сеть; в) чрезмерно высокие поливные нормы, а зачастую и отсутствие каких-либо научно обоснованных норм и полив на-глаз; г) плохое состояние (Валуйская станция) или отсутствие сбросной сети; д) использование магистральных каналов для целей водоснабжения в течение всего года, без предохранительной их облицовки от систематической фильтрации вод (Голодная Степь).

Перечисленные (далеко не полно) причины, обусловливая потерю воды в общем балансе до 40—50%, в конечном счете ведут к интенсивному питанию грунтовых вод и их постепенному поднятию.

При п о д о б н о й технике орошения неизбежность засоления может быть ограничена лишь условиями хорошего естественного дренажа, когда

все избытки фильтрационных вод уносятся грунтовым подземным потоком. Эти сравнительно редкие счастливые случаи известны в Средней Азии в областях подгорных равнин и конусов выносов, часто подстилаемых крупногалечниковыми отложениями.

Они наблюдаются и в Заволжье в случаях расположения орошаемых участков близ высоких обрывов (до 7—10 м) древних террас рр. Большой и Малый Узень обязательно вне зоны водохранилища. В других условиях даже залегание грунтовых вод до орошения на уровне 15—20 м не обеспечивает их от дополнительного питания, поднятия и засоления почв. Может вариировать лишь большая или меньшая скорость начала засоления в зависимости от естественного дренажа территории, солености грунтов и состояния гидротехники.

В Джафарханской опытной станции, расположенной на плохо дренированной Муганской степи с относительно близкими грунтовыми водами, за один только год орошения (1916/17) процент площади засоленных земель на южном участке вырос с 12 до 51 (Тюремнов).

Как на другой пример, укажем на Голодную Степь (совхозы Пахта-Арал и Баяут), хорошо исследованную И. Н. Глыбиным и М. М. Заонегиным (151, 152).

Начальная глубина залегания грунтовых вод в 1913 г. равнялась 12—15 м. Совершенно ненормальное водопользование и дефекты ирригационной сети, приводившие в среднем к годовой подаче 35 тыс. м³ на 1 га, вызвали подъем грунтовой воды до уровня 1.5—2 м.

Катастрофическое засоление началось лишь к 1920 г. Территория совхоза Пахта-Арал еще в 1932 г. имела лишь 600 га засоленных почв, в 1933 г. было уже 2000 га, в 1934 г. — 2350 га и в 1935 г. — 2790 га (151), несмотря на введенную теперь жесткую рационализацию водопользования и вызванное этим понижение грунтовых вод до уровня 1929 г. (до 4 м).

Исследование засоленности орошаемых территорий обычно показывает, что очаги засоления прилегают к каналам (Голодная Степь, Валуйки) и водохранилищам (Валуйки, Новоузенск). При этом влияние каналов может сказываться на расстоянии не меньше 150—200 м.

Ирригационное засоление нередко встречается и при орошении солонцов и солонцеватых каштановых почв в Поволжье. Обычно эти почвы до орошения с поверхности не засолены.

Изучение опыта орошения солонцов Заволжья особенно важно в связи с развертывающимся колхозным орошением и предстоящим осуществлением проекта большой ирригации.

Орошаемые территории располагаются в Заволжье вдоль рек на террасах с культурой огородных, а иногда и зерновых растений. Однако эффект орошения остаточносолончаковых солонцов террас чрезвычайно различен и зависит от целого ряда обстоятельств. Можно различать два основных случая, приводящих к диаметрально различным результатам:

1. Участок орошаемых солонцов находится в области влияния водохранилища, построенного в данной долине.

2. Орошаемый участок находится в пространстве, не охваченном подпором водохранилища, либо в долине, где водохранилище не сооружено.

Орошение остаточносолончаковых солонцов во втором случае лишь ускорит естественный процесс опреснения солонца и совершенно не вызовет так называемого «вторичного засоления». Урожаи зерна сохранятся при этом на уровне 20—25 ц с гектара.

В Заволжье подобные случаи удачного сочетания источника водоснабжения и водохранилища с орошаемыми участками без нарушения естественного дренажа распространены довольно широко (в Новоузенском районе, на участках совхоза № 98 в Республике немцев Поволжья, на общей террасе рр. Торгуна и Водянки, на некоторых участках террас р. Малый Узень, вверх по течению от Питерского водохранилища).

Совершенно другой результат дает орошение этих же солонцов в условиях подтопляющего влияния водохранилища. Неизбежный подъем грунтовых вод, как правило, вызывает здесь сильное вторичное засоление. Урожай культур падает, и участок забрасывается. В Заволжье во всех случаях расположения орошаемого участка выше водохранилища, что типично для Питерско-моршанской системы, или расположения водохранилища по уровню выше орошаемых участков, прилегающих к нему непосредственно ниже плотины, ярким примером чему являются Новоузенская городская или Валуйская системы, остаточносолончаковатые солонцы в течение трех — четырех лет превращаются при орошении в солончаки.

Долины многих рек Заволжья в настоящее время осваиваются под орошением на местном стоке. Не могут они исключаться и из проекта большой ирригации. Поэтому правильное проектирование расположения орошаемых участков, в особенности с остаточносолончаковатыми солонцами, относительно водохранилищ является основным условием избежания вторичного засоления. Решающая роль в изменении гирологического режима долины принадлежит водохранилищам, и учет заранее зоны их влияния при проектировании совершенно необходим.

Уже одно сооружение водохранилища способно без всякого орошения вызвать поверхностное засоление прилегающих территорий. Наши исследования существующих долинных прудов в Заволжье показали, что ширина территории, охваченной засолением, у обычных небольших прудов может достигать до 0.5 км. Очевидно, эта цифра увеличивается при водохранилищах большего размера.

Засоляющее влияние водохранилищ необходимо в особенности учитывать при проектировке таких огромных сооружений, как Камышинская плотина. По подсчетам нашей лаборатории лишь сооружение плотины с отметкой +30 м над уровнем моря должно прекратить дренирующее воздействие р. Еруслана и может вызвать засоление в ее бассейне и в бассейнах аналогичных других рек на площади не менее 175—200 тыс. га.

Анализ причин засоления почв при орошении диктует и соответствующие профилактические мероприятия, необходимые для каждой ирригационной системы. Всякая крупная ирригационная система должна прежде всего базироваться на твердом знании общего водно-солевого режима района системы и смежных с ним территорий.

Поэтому район каждой ирригационной системы с самого начала ее функционирования должен находиться под постоянным мелиоративным научно-техническим контролем, регистрирующим залегание уровня грун-

товых вод и их соленосность (система смотровых колодцев), состояние влажности, уровень и состав солевых горизонтов главнейших почв хозяйства, состав поливных вод в связи с вегетацией и урожайностью ведущей культуры. Для этого необходимо иметь постоянно работающую, во-время сигнализирующую почвенно-мелиоративную лабораторию, обслуживающую хозяйство, подобно уже широко распространенным метеорологическим пунктам, либо заводским и фабричным лабораториям. Надо прямо сказать, что большинство наших крупнейших ирригационных хозяйств не только не имеет подобных лабораторий и наблюдений, но в них даже отсутствует элементарная почвенная и гидрогеологическая карты.

Вторым комплексом профилактических мероприятий являются предельно возможные минимальные поливные и оросительные нормы, уменьшение фильтрации в каналах, устройство сбросной сети, т. е. систематическая борьба за уменьшение обычно преувеличенной приходной части водного баланса всей территории хозяйства и его отдельных частей.

По подсчетам академика Костякова, подача воды на 1 га в хлопковом севообороте брутто свыше 1.0—1.3 сек./л обычно должна вызвать поднятие грунтовых вод и засоление (148).

Уменьшение потерь воды в каналах должно вестись путем запрещения использования их для водоснабжения (замены специальными сооружениями), уменьшения их общей длины, облицовки непромокаемой одеждой (здесь возможно применение местных такырных и солонцовых земель для обмазки, либо применение пептизации Na по методу академика Соколовского).

Широкие перспективы для уменьшения водного баланса при орошении открываются новыми способами и техникой орошения. Предложенный доктором И. А. Шаровым способ орошения глубокими бороздами на ряду с применением частых поливов небольшими порциями в возможно ранние сроки и с максимальной быстротой дает высокий хозяйственный эффект (урожай хлопка 18—20 ц/га) и является очень существенным профилактическим мероприятием против засоления (154).

Еще более эффективным должно оказаться орошение дождевальными аппаратами.

Третьим комплексом профилактических мероприятий являются уменьшающие поверхностное испарение пленочно-капиллярных растворов приемы агротехники, хлопково-травопольный севооборот, в особенности хлопково-люцерновый, применение летней и озимой сидерации и навозных удобрений (навоз, жмых, компосты и т. д.), минеральные удобрения, а также создание глубокого (до 25 см) пахотного горизонта и систематическое рыхление и культивация (155). Все эти мероприятия, обеспечивая создание окультуренной структурной почвы, с одной стороны, увеличивают стойкость растения, а, с другой, уменьшая испарение, препятствуют росту концентрации солей в поверхностных горизонтах.

Из других мероприятий, уменьшающих испарение с поверхности почв и их засоление, необходимо отметить планировку поверхности и обсадку каналов деревьями. Д. Г. Виленский рекомендует для этого вяз (*Ulmus pedunculata*), шелковицу (*Morus alba* и *M. nigra*), серебристый тополь (*Populus alba*), турангу (*Populus unphratica*), акцию (*Robinia*

pseudacacia), лох (*Elaeagnus hortensis*), гледичию (*Gledischia tracanthos*), чинар (*Platanus orientalis*), *Kerlenteria paniculata*, тамариск (*Tamarix* sp.). 'Sigmond указывает, что в Венгрии для этих целей используют плодовые культуры (яблони, груша).

При развитии вторичного засоления в результате подпорного влияния водохранилища и поднятия им уровня грунтовых вод, профилактические мероприятия могут лишь отсрочить неизбежный процесс. В этих условиях гарантией против засоления может быть лишь дренаж, заложенный на глубину, соответствующую критической.

Рассмотрению условий дренажа и мелиорации солончаков, естественных и вызванных орошением, посвящен следующий раздел.

ОРОШЕНИЕ И МЕЛИОРАЦИЯ СОЛОНЧАКОВ

Использование солончаков в полеводстве, как ясно из всего предыдущего, сопровождается необходимостью уменьшить концентрацию солей в корнеобитаемых горизонтах до величин меньше токсических.

Наиболее простым приемом здесь является промывка солей ирригационной водой. В практике орошения солончаков этот прием преимущественно и используют, применяя повышенные поливные нормы, длительное затопление территории солончаков напуском воды (однократно или многократно), либо устройством прудов в сочетании с рыбоводством (Венгрия). Однако сама по себе промывка солончаков может дать устойчивый положительный результат лишь в редких случаях благоприятного естественного дренажа (рассеченность местности, галечниковые подстилающие породы и т. д.) и свободного оттока грунтовых вод.

Обычно же одна промывка, как показал опыт мелиорации солончаков в Средней Азии, Закавказье, Америке и Египте, дает лишь кратковременный эффект. Капиллярный транспорт солей к поверхности почвы после промывки не прекращается, а обычно усиливается, вследствие подъема грунтовых вод, вызванного промывкой. Солончак вскоре после промывки реставрируется и возникает необходимость в повторении всей операции вновь.

Вторым препятствием к успешному улучшению солончаков промывкой является при известных соотношениях в воднорастворимых солях ($Ca+Mg : Na < 1 : 3$) развитие сезонной солонцеватости, ведущей к повышению щелочности, заплыванию и интенсивному коркообразованию.

Реставрация солончака, сменяющая ко второй половине лета сезонную солонцеватость, сопровождается новым замещением остатков обменного Ca и Mg и расходованием Ca гипса и карбонатов, с образованием более растворимых солей кальция $CaCl_2$.

Повторные промывки солончаков будут выносить образующиеся соединения кальция; в присутствии хлористого натрия это будет сказываться и на выносе гипса. В итоге смена сезонного осолонцевания при промывках реставрацией солончаков ведет к обеднению поверхностных горизонтов кальцием и к более сильной пептизации и коркообразованию.

Таким образом мелиорация солончаков при помощи лишь одной промывки не может быть принята в качестве основной меры. Необходимо воздействие на грунтовые воды и режим капиллярных растворов как на пер-

вопричину солончаковости и ее реставрации. Наиболее радикальной мерой при современной технике может быть лишь дренаж, заложенный на глубину не выше критического уровня грунтовой воды, т. е. на такую глубину ее залегания, которая не дает капиллярным растворам подняться к поверхностным и корнеобитаемым горизонтам почвы. Промывка солончаков с глубоким дренажем, понижая уровень грунтовых вод, прекращает процесс реставрации солончаков до тех пор, пока функционирует дренаж.

Опасность осолонцевания в случаях малых отношений Ca+Mg : Na+K (<1 : 3) сохраняется целиком; однако опасность прогрессивного нарастания насыщенности поглощающего комплекса щелочными катионами снимается. Необходимо лишь внесением кальция извне либо мобилизацией его в самой почве с помощью серы или иных подкисляющих агентов обеспечить в начале промывки соотношение щелочных и щелочно-земельных катионов в растворе в пользу Ca (не меньше чем Ca : Na=1 : 3). В случаях содержания кальция в поливных водах в таких же пропорциях, как показывают многолетние наблюдения Kelley, внесение Ca извне при этом совершенно излишне, так как осолонцевание не наступает. Промывка в данном случае будет сопровождаться вытеснением Na из поглощающего комплекса, и солонцеватость будет избегнута. Kelley именно этим объясняет эффективное рассоление солончаков во Fresno в США при орошении.

Как на образцовый пример действия дренажа на солончак, можно указать на территорию близ Salt Lake Sity в США, где дренаж был заложен в 1902—1904 гг. Как видно из табл. 100, вымывание солей из солончака протекает очень медленно (33).

Таблица 100

Динамика рассоления солончака под действием дренажа (в %)[1]

Глубина в футах	Сент. 1902 г.	Май 1903 г.	Окт. 1903 г.	Окт. 1904 г.
1	1.7038	0.6238	0.1263	0.0475
2	1.9250	0.6125	0.2288	0.1600
3	2.2075	1.3325	0.4125	0.2650
4	2.4775	1.5813	0.7608	0.6250
Всего	8.3138	4.3510	1.5284	1.0975
Среднее . . .	2.0785	1.0875	0.3821	0.2744

Другой пример действия дренажа приводится Hart. Толща в 4 фута содержала солей 2.25% до промывки. Дренаж уменьшил эту сумму до 1.00%, а дренаж в комбинации с промывкой затоплением снизил содержание солей до 0.43%.

Хозяйственная эффективность дренажа как меры рассоления солончаков зарекомендовала себя прочно в США, где дренированная площадь с 610 тыс. га в 1920 г. поднялась к 1930 г. до 1480 тыс. га (Костяков). Для условий Средней Азии в качестве примера рассоления солончаков с помощью дренажа и промывки сошлюсь на исследования Лийдемана

[1] По Harris.

в Голодной Степи (табл. 101). Глубина дрен 1.25 м, расстояние между дренами 30 м, промывная норма 2400 м³.

В итоге промывки верхние горизонты почвы потеряли 77—82% солей (30). Однако закладка дренажа на глубину 1—1.5 м не предохраняла от реставрации солончаковости. Дело в том, что при глубинах дрен 1—1.5 м центральная часть междудрений будет иметь грунтовые воды на глубине

Таблица 101

Рассоление солончаков Голодной Степи
(содержание солей до и после промывки в %)

Глубина в см	Сухой остаток	HCO_3	Cl	SO_3	CaO	MgO	K_2O	Na_2O
			До промывки					
0—5	14.64	0.115	1.90	6.47	0.62	0.35	2.04	4.68
5—15	2.93	0.03	0.59	1.10	0.23	0.08	0.59	0.81
50—60	1.03	0.03	0.10	0.46	0.04	0.03	0.25	0.31
120—130	1.44	0.035	0.04	0.73	0.33	0.03	0 09	0.20
			После промывки и дренирования					
0—10	0.10	0.04	0.015	0.03	0.03	0.02	0.001	0.002
50—60	0.13	0.03	0.015	0.07	0.03	0.01	0.001	0.002
120—130	1.11	0.12	0.015	0.60	0.36	0.04	0.010	0.050

75—100 см, что при усиленном нагревании и испарении вполне достаточно для восстановления засоленности поверхности. На это явление обращает внимание и Harris. Лийдеман наблюдал аналогичное явление в Голодной Степи.

За время 1918—1919 гг. засоленность промытого солончака, несмотря на закладку дренажа (мелкого, 1—1.5 м), восстановилась почти полностью.

0—10 см до промывки 1917 г. 6.786%
» » » после промывки, апрель 1919 г. 0.237
» » » » » декабрь 1919 » 5.359

Y. Thorp и K. C. Hou сообщают также об аналогичных явлениях в дельте р. Yang tžu в Китае.

В результате исследования Джафарханского опытного участка, как сообщает Н. А. Беседнов, установлено, что глубина дрен в 2.25 м не предохраняла от реставрации засоления даже на легких почвах (156). Это и понятно, так как обычная высота поднятия капиллярных растворов, даже в самых грубых суглинках и супесях, равняется 1.0—1.5 м, а в суглинках средних и тем более иловатых достигает 2—2.5—3 м. Правда, здесь необходимо учитывать, как подчеркивалось Тюремновым, Thorp и Hou и др., что скорость поднятия солей в глинистых и иловатых породах очень не велика и может оказаться практически бессильной перед опресняющим влиянием поливных вод.

Опасность реставрации солончака при мелком дренаже может быть сильно ослаблена и практически сведена к нулю особыми мероприятиями по уменьшению поверхностного испарения. В этом случае рекомендуются

систематическое рыхление поверхности и культивация междурядий, покрытие соломой, травой, листьями, ветвями, песком, рыхлым землистым покровом (Кара-Калпакия, 157), навозом и т. д. Лучшим мероприятием при прочих равных условиях являются культивация и разрушение испаряющей корки, по возможности, вскоре после полива. Однако все это не избавляет от необходимости повторных промывок небольшими нормами. Лучше всего производить их в зимнее время, когда испарение минимально.

Одним из очень эффективных агромероприятий, усиливающих рассоление и закрепляющих эффект промывки и мелкого дренажа, является культура люцерны и травосеяние вообще. Сочетание дренажа, промывки и травосеяния дает исключительные возможности для эффективного рассоления солончаков, позволяя довести снижение солей в профиле почвы до очень низких величин. Причины этой эффективности ясны: процесс реставрации солончака под культурой люцерны невозможен, так как, с одной стороны, полог ее крайне уменьшает поверхностное испарение почвы, а, с другой, ее мощная корневая система перехватывает капиллярные растворы на глубине и не дает им возможности достигнуть поверхности.

Исследования Федченко установили, что люцерна испаряет через свою поверхность в 15—30 раз больше, чем другие растения. Это и является причиной остановки реставрации солончака. Для условий Средней Азии особенно убедительными являются опыты в Золотой Орде.

Как на пример, укажу на промывку Ca Na солончака в Калифорнии (18). Солончак подстилается песчаным дренирующим горизонтом. Промывка велась тремя приемами: водами р.Колорадо с декабря 1929 г. по май 1930 г. В октябре 1930 г. была посеяна люцерна. В 1931 и 1932 гг. был получен уже хороший урожай ее: 11 217—12 523 фунта на акр.

Таблица 102

Растворимые соли в солончаке Калифорнии

Глубина в см	В м.-экв. на 100 г почвы							
	CO''_3	HCO_3'	Cl'	SO''_4	$Ca^{\cdot\cdot}$	$Mg^{\cdot\cdot}$	$K^{\cdot}$	$Na^{\cdot}$
				До промывки				
0—12	0	0.35	80.2	11.7	26.0	14.0	2.4	50.8
12—24	0	0.40	20.8	4.1	4.7	4.3	1.6	14.7
24—36	0	0.32	11.7	3.2	2.8	2.1	1.3	9.0
36—48	0	0.42	8.4	3.4	1.8	1.9	1.0	7.5
				После промывки				
0—12	0	0.52	0.50	1.6	0.7	0.5	0.6	0.8
12—24	0	0.50	0.74	2.4	0.5	0.4	0.6	2.1
24—36	0.10	0.60	0.60	2.0	0.2	0.7	0.5	1.9
36—48	0.10	0.72	0.90	3.5	0.2	0.5	0.5	4.0

Состав солей профиля и их количество при этом очень изменились (табл. 102).

Еще более яркий пример мы находим в исследованиях Лийдемана (30) в Голодной Степи (табл. 103).

Таблица 103

Растворимые соли в солончаке Голодной Степи при промывке и дренаже

Глубина дрен в см	Глубина горизонта в см	Количество солей (в % на почву)			
		до промывки 1916 г.	после промывки 1917 г.	первый год люцерны 1918 г.	второй год люцерны 1919 г.
75	0—10	7.58	0.56	0.42	0.07
	20—30	1.58	0.21	0.13	0.07
	60—70	0.82	0.46	0.25	0.91
	90—100	0.71	1.37	1.29	1.33

Значение люцерны в севообороте на мелиорируемых солончаках сейчас уже настолько осознано и доказано, что мелиоративная секция Всесоюзной академии с.-х. наук им. Ленина отметила культуру люцерны как одно из основных мероприятий по борьбе с существующими солончаками.

Раздаются даже голоса в пользу отказа от дренажа на солончаках и мелиорации солончаков только с помощью люцерны. Но это уже явное увлечение: культура люцерны на засоленной территории и имеющей естественную тенденцию к дальнейшему засолению, конечно, не опреснит профиль солончака и грунтовые воды под ним и не остановит процесс засоления. В лучшем случае она вызовет лишь местное перераспределение солей, которые вернутся к исходному положению как только люцерна заменится другой культурой. Кроме того, и самое развитие люцерны, в особенности прорастание ее семян, как показывает опыт Мугани, на солончаках затруднены. В сочетании же с дренажем и промывкой люцерна дает на Мугани эффект в первый же год (Димо).

В Египте люцерна вводится в севооборот не в первый год, а во второй или третий. После затопления и промывки 1—2 года возделывается *Panicum crus-galli*, затем египетская люцерна и, наконец, хлопок. В других случаях люцерна замеияется *Cyperus laevigatus* и севооборот выглядит следующим образом: 1-й год — промывка полей, 2-й год — самар (иногда с повторной промывкой), 3-й год — хлопок. В случаях меньшей солончаковатости самару предшествует рис. Глубина дрен при этом 80—100 см (3).

Иногда целесообразно сочетать полеводство с периодическим залужением на 2—3 года.

Для залужения солончаковых почв применяются злаково-бобовые смеси (рекомендуются из злаков: *Agropyrum repens*, *Atropis distans Gries*, *Hordeum Bogdani V.*, *Alopecurus ventricosus*; из бобовых — *Melilotus alba*, *Vicia sativa*, *Lotus tenifolius)*.

Интенсивное орошение залуженных почв и каптаж корневой системой растений подымающихся капиллярных растворов ведут к опреснению солончаков.

Возобновление солончаков после распашки и орошения потребует через 1—2 года повторного залужения.

Наиболее эффективным приемом полного рассоления солончаков и гарантией против их реставрации является глубокий дренаж порядка 2.5—3.5 м. Эта глубина больше известных максимальных высот поднятия капиллярных растворов солей в грунтах. Глубокая закладка дрен позволяет увеличить ширину междудрений до 600—700 м, а в некоторых случаях и больше. Наиболее разительным примером являются блестящие исследования Джафарханской опытной станции на Мугани (Н. А. Беседнов). Закрытые дрены, заложенные с 1929 г. на глубину до 2.5 (боковые) —4 м (коллектор) снизили уровень грунтовых вод на 1 м, рассолили до 80% территории и вынесли до 52% солей из первого метра и до 25% из второго.

Особенно интенсивно вымываются хлориды, исчезающие из профиля почти полностью. Уже через год содержание солей падало ниже токсического. За 6 лет работы глубоких дрен из профиля солончаков вынесено до 40% общего запаса солей. Характерно, что дрены глубиной 2—2.25 м вызвали лишь перераспределение солей в профиле, но общий запас их не изменили. Совершенно новым в теории дренажа солончаков является в основном доказанное (по крайней мере для Мугани) положение о том, что глубокие дрены — до 4 м — оказывают опресняющее влияние на расстояние до 800—1000 см. Даже на этом расстоянии за время работы дренажа установлено уменьшение солей на 11%.

Подытоживая сказанное о рассолении солончаков, необходимо отметить следующее:

1. Радикальными мерами рассоления солончаков естественно-недренированных районов и предохранения от реставрации является применение в неразрывном комплексе глубокого дренажа, промывки и введение в севооборот травосеяния вообще и люцерны в особенности.

2. В случаях благоприятных условий естественного дренажа и наличия более или менее выраженного оттока грунтовых вод удовлетворяющие результаты по рассолению солончаков дает сочетание мелкого дренажа (сброса), промывки и обязательно травосеяния (залужение на 2—3 года), в особенности культуры люцерны.

Успешное применение для рассоления солончаков этого трехчленного комплекса мероприятий, как показал опыт Венгрии и некоторых штатов США, однако, невозможно на содовых солончаках. Ничтожная водопроницаемость этих солончаков и ее ухудшение по мере промывки под влиянием развития пептизированности вызывают необходимость применения химических мелиораций, направленных на нейтрализацию соды, замещение обменного натрия кальцием и коагуляцию пептизированной массы. В рассолении и мелиорации содовых солончаков есть много общего с мелиорацией солонцов, в особенности содовых. Из мелиорирующих веществ для содовых солончаков в Аризоне, Калифорнии и Венгрии с успехом применяется гипс (введенный впервые Hilgard), сера, известь (CaO), гипсово-известковые горизонты подпочвы (Венгрия).

В обстановке полевых опытов показано положительное мелиорирующее действие на содовых солончаках и солонцах пирита, сернокислого железа и алюминия, кислот серной и азотной (Hibbard, Harris, 'Sigmond,

Kelley, Herke, Arany, Powers и др., 158—163). Обязательным условием эффективности мелиорирующих веществ является внесение их с осени с последующей промывкой для удаления продуктов реакции.

Действие гипса основано на двух известных реакциях:

1) нейтрализации свободной соды

$$Na_2CO_3 + CaSO_4 \rightarrow CaCO_3 + Na_2SO_4 \text{ и}$$

2) замещения обменного натрия на кальций

$$(\text{почва}) - Na_2 + CaSO_4 \rightarrow (\text{почва}) - Ca + Na_2SO_4.$$

В обоих случаях попутно образуется сернокислый натрий, токсичность которого значительно меньше соды и который подлежит удалению промывкой. Действие гипса признается Hilgard, Гедройцем, 'Sigmond, Kelley и др. наиболее эффективным и универсальным. Количество гипса рассчитывается по эквивалентам, необходимым для нейтрализации соды и замещения обменного натрия. При большом содержании свободной соды и обусловленной этим высокой насыщенности поглощающего комплекса обменным натрием (до 60—90%) количество гипса, необходимого для мелиорации содовых солончаков, достигает 60—90т/га. Столь большие количества гипса делают затруднительным его применение и ограничивают пользование его лишь районами, близкими к месторождениям. При меньших количествах обменного Na и меньшем содержании соды норма внесения гипса в американской практике в среднем равна 15—20 т/га. При этом гипс вносится порциями в течение 2—3 лет (Kelley).

Технические неудобства заставляют искать заменителей гипса. В случае содовых солончаков, обычно богатых углекислым кальцием, невольно напрашивается мысль о мобилизации и использовании кальция самой почвы. Для этой цели применяются сера (до 1—2 т/га), пирит, сернокислое железо и алюминий, а также кислоты. Сера и пирит окисляются до серной кислоты, разлагающей углекислый кальций и переводящей его в гипс. Сернокислые соли алюминия, гидролизуясь, ведут также к образованию серной кислоты, реагирующей с углекислым кальцием.

Образующийся гипс нейтрализует соду. Кальций гипса вытесняет обменный натрий поглощающего комплекса. Известная часть соды непосредственно нейтрализуется образующейся серной кислотой.

Действие свободных кислот, вносимых с той же целью, по существу сводится также к нейтрализации свободной соды и мобилизации кальция. Однако в распоряжении исследователей еще слишком мало оснований, чтобы окончательно решить вопрос о применении кислот для мелиорации содовых солончаков. Серная и азотная кислоты, во-первых, чрезвычайно энергичные реагенты, действие которых на почву может быть губительным; во-вторых, при современном их значении они могут применяться в хозяйстве значительно более целесообразно.

Гипсование и сульфирование содовых солончаков сопровождаются в калифорнийских опытах культурой бобовых на зеленое удобрение и многолетним участием люцерны. Травосеяние при этом играет существенную роль в дополнительной мобилизации кальция почвы и организации структуры мелиорируемого содового солончака или солонца.

Положительное действие гипса сказывается в первые же годы. Действие серы проявляется позже — на 3—4 году. Ниже приводится табл. 104, заимствованная из исследований Kelley в Калифорнии (18). Объектами мелиорации были относительно слабые содовые солончаки.

Гипс вносился в количестве 15 т на акр двумя приемами: 9 т в 1920 г. и 6 т в 1921 г. Сера была внесена в 1921 г. в количестве 3600 фунтов на акр. Участок с гипсом затоплялся тотчас же после внесения реагентов, а участок с серой, наоборот, подвергался затоплению спустя несколько месяцев после внесения серы.

Химическая мелиорация, промывки, сидерация и культура люцерны вызвали коренную мелиорацию содового солончака, полностью утратившего в верхних горизонтах соду. При этом до 70% обменного Na оказалось замещено Ca и Mg. Емкость обмена при этом заметно возросла. Урожай люцерны достиг 18—20 тыс. фунтов на акр. Хлопок в 1932 г. дал урожай до 1622 фунтов с акра. Однако при этом наметились также заметная потеря, а иногда и исчезновение обменного и водорастворимого калия.

Почти аналогичные исследования были проведены E. E. Thomas (163) и Риверсайде на цитрусовой опытной станции. Содовые солончаки до мелиорации содержали до 0.5—0.7% HCO'_3 и до 0.2—0.3% CO''_3. Присутствовали также хлориды (около 0.5% Cl) и сульфаты (около 0.3% SO_4''). Мелиорация начата в 1921 г. внесением гипса (10 т на 100×200 футов), серы (3600 футов), а в 1922 г. — сернокислого железа. В 1922 и 1923 гг. было добавлено зеленое удобрение (горох и *Melilotus indica*).

Полное влияние гипса проявилось в 1924 г.; 1925 и 1926 гг. уже характеризуются стабильным и даже несколько сниженным урожаем люцерны (1200—1500 фунтов сена с акра). Влияние серы было выражено сильнее гипса еще в 1924г. (4000 фунтов сена с акра). В 1925 и 1926 гг. урожай сена люцерны на участке, получившем серу, неуклонно рос, оставив позади урожай на гипсованном участке (23 тыс. фунтов сена с акра).

Влияние сернокислого железа оказалось аналогичным действию серы. В составе солей одновременно произошли значительные изменения: общее опреснение профиля, резкое снижение щелочности до 0.17—0.25% HCO'_3 и 0.0—0.016% CO''_3 в первом футе. Мелиорирующее действие серы сказалось на нейтрализации значительно глубже.

Пожалуй, одним из самых убедительных примеров мелиорации и использования содовых солончаков являются работы старейшего опытного поля в США в Орегоне. Как сообщают J. L. Wursten и W. L. Powers (164), исследования, проведенные в течение 11 лет, показали, что глубокий дренаж в сочетании с обильным орошением, внесением гипса, серы и удобрений и одновременной двух-трехкратной сидерацией коренным образом улучшают злостные содовые солончаки, давая устойчивые урожаи люцерны. Применение одного дренажа и орошения без химических мелиораций желаемого результата не дало.

Содовые солончаки к началу исследований имели pH 10—10.5, явный солончаковый профиль с максимумом солей (до 7%) и накоплением соды в верхних горизонтах (до 0.929% CO''_3). Количество обменного Na достигало до 88—94%. Наиболее эффективной оказалась сера, проявившая себя и здесь энергичнее и положительнее гипса. Большой эффект (больше,

Таблица 104

Промывка и гипсование содового солончака (Калифорния, Kelley)

Глубина в см	Водорастворимые соли в м.-экв. на 100 г почвы								Поглощенные катионы в м.-экв. на 100 г почвы			Na в % от суммы	pH
	CO_3''	HCO_3'	Cl'	SO_4''	$Ca^{\cdot\cdot}$	$Mg^{\cdot\cdot}$	$K^{\cdot}$	$Na^{\cdot}$	$Ca^{\cdot\cdot}+Mg^{\cdot\cdot}$	$K^{\cdot}$	$Na^{\cdot}$		
До промывки (1920 г.)													
0—12	0.94	0.80	0.82	0.20	Следы	Следы	0.20	2.06	1.08	0.23	3.13	70	9.67
12—24	0.49	0.51	0.46	0.21	»	»	0.20	1.47	0.42	0.98	2.87	67	9.42
24—36	0.43	0.84	0.89	0.14	»	»	0.21	1.09	1.78	0.28	4.41	54	9.59
36—48	0.15	0.40	0.82	0.13	»	»	0.18	0.82	2.57	0.34	4.50	35	9.11
После промывки (1931 г.)													
0—12	0.0	0.40	0.05	0.02	0.23	Следы	Следы	0.24	5.05	0	0.27	5	7.53
12—24	0.0	0.32	0.08	0.04	0.17	»	»	0.27	4.59	0	0.40	8	8.10
24—36	0.15	0.35	0.08	0.04	0.12	»	»	0.50	4.63	0	0.43	8	8.30
36—48	0.15	0.50	0.10	0.04	0.07	»	»	0.67	4.13	0	1.00	19	8.70
До промывки (1921 г.)													
0—12	1.15	0.90	1.53	0.65	Следы	Следы	0.17	4.06	1.35	0.44	2.51	58	9.67
12—24	0.60	0.64	1.24	0.41	»	»	0.17	2.76	1.21	0.34	2.90	65	9.20
24—36	0.53	0.68	0.70	0.19	»	»	0.20	1.90	3.19	0.20	2.00	37	8.98
36—48	0.42	0.57	0.50	0.12	»	»	0.20	1.41	3.61	0.13	1.26	25	9.43
После промывки (1931 г.)													
0—12	0	0.25	0.05	0.04	0.10	Следы	Следы	0.24	4.06	0.29	0.21	5	7.05
12—24	0	0.30	0.05	0.05	0.12	»	»	0.28	3.75	0.15	0.44	10	7.50
24—36	Сл ды	0.50	0.07	0.07	0.07	»	»	0.57	4.05	0.37	0.38	8	8.80
36—48	0.30	0.62	0.07	0.10	Следы	»	»	0.79	3.66	0.30	0.85	17	9.30

чем гипс и гипс с удобрениями) дала комбинация серы и удобрений. Участие серы повышало также и влияние гипса. По эффективности гипс даже при очень больших нормах отставал от серы.

В результате мелиорации солончаки утратили свойственный им солончаковый профиль, pH упало при действии серы до 7.8—7.9 и количество обменного Na снизилось до 30—34% от емкости обмена. Однако при этом наметилось и уменьшение водорастворимых фосфорнокислых соединений. Остановимся еще на венгерском опыте использования содовых солончаков.

Мелиорация содовых солончаков и солонцов в Венгрии насчитывает десятки лет. Эмпирически найденный способ мелиорации заключается во внесении в почву известково-гипсового горизонта, полученного из местных почв с глубины 1—1.5 м.

Обычно этот горизонт (digozás) богат пылевато-песчаной фракцией, углекислым кальцием и содержит гипс. Мелиорация подобным способом в районе Szarvas давала положительный эффект, и спустя 8—10 лет почвы производили удовлетворительные урожаи пшеницы.

Весьма эффективные результаты были получены A. Herke, который указывает на положительное действие гипса, серы, кислот, сернокислых солей алюминия и железа, их хлоридов, отходов карбида кальция, отходов кожевенной промышленности и т. д. (159).

Эти данные, таким образом, не противоречат американскому опыту.

В Венгрии содовые солончаки используются под кормовые травы Для этой цели рекомендуется следующая травяная смесь (в %):

Alopecurus pratensis	20
Avena latior	5
Dactylis glomerata	15
Festuca pratensis	5
Phleum pratense	5
Poa pratensis	20
Lolium perenoe	15
Lolium italicum	5
Lotus corniculatus	10

При четырех поливах и удобрениях урожай сена достигает до 40—50 квинт./акр. Поливы даются после 1 и 2-го укосов.

На сильно засоленных солончаках количество поливов увеличивают.

Наиболее засоленные солончаки (обычно содовые) используются в Венгрии под поливные пастбища или даже при помощи сооружения специальных дамб — для прудового рыбоводства. Прудовая вода через 4—5 лет спускается, и территория временно используется под культуру маиса, сахарной свеклы (122 квинт./акр), пшеницы (998 кг/акр). Затем пруд восстанавливается (158).

Итак, коренная мелиорация содовых солончаков даже самого крайнего типа вполне возможна. Основным мероприятием при этом является совокупность дренажа, промывки, химических мелиораций (гипс, лучше сера), сидерации в течение нескольких лет и постоянного травопольного севооборота.

Американский опыт мелиорации содовых солончаков имеет для нас большое значение, так как содовые солончаки в Советском Союзе достаточно широко распространены в Куйбышевском Поволжье, на Украине, в Западной Сибири и Закавказье (Араздаянская степь). Для того чтобы закончить настоящий раздел, отметим, что мелиорация солончаков, в солевом составе которых преобладают сульфаты и хлориды натрия, что впервые было доказано К. К. Гедройцем, требует также параллельного применения химических мелиораций. Kelley и Антипов-Каратаев (165) считают, что содержание в растворимых солях не менее 25% Ca и Mg по сравнению с K и Na (отношение 1 : 3) является границей, ниже которой простое промывание повлечет развитие солонцеватости.

Однако совершенно недостаточно учитывать лишь воднорастворимые соли. Как совершенно правильно указал Л. П. Розов, развивая положение Гедройца, участие гипса играет столь же значительную роль. При сочетании гипса с хлоридами он допускает промывку солончаков без химических мелиораций при отношении Na : Ca=9 : 1, а в сочетании с сернокислым натрием, снижающим растворимость гипса, при отношении Na : Ca= =18 : 1 (93). Несомненно, эти градации ориентировочны, в них не учтена роль углекислого кальция, которому и Гедройц, и Kelley придает большое значение. Вообще же говоря, эффект осолонцевания зависит не только от полученных в почве и поливной воде соотношений щелочных и щелочноземельных катионов, а и от водносолевого режима профиля, главным образом сезонного поднятия солей и повторного обогащения поглощающего комплекса обменным натрием.

Последнее явление, с одной стороны, будет замедлять скорость промывки солей в целом, с другой, — поддерживать солонцеватость.

МЕЛИОРАЦИЯ СОЛОНЦОВ

Принципы мелиорации солонцов в основном те же, что и мелиорация содовых солончаков или солончаков, в составе которых преобладают соли Na.

Однако следует подчеркнуть, что мелиорация солонцов изучена значительно меньше. Мелиоративный опыт США и Венгрии, как уже подчеркивалось выше, относится, главным образом, к содовым солончакам и в меньшей степени к солонцовым почвам.

Кроме того, разновидности солонцов имеют настолько различный водный режим, солевой профиль и соотношение катионов в поглощающем комплексе, что каждой группе солонцов, кроме общих приемов мелиорации, должны сопутствовать совершенно необходимые приемы дополнительные.

Самая необходимость мелиорации солонцов диктуется тем, что солонцовый насыщенный натрием горизонт при распашке и смешивании с поверхностными горизонтами под влиянием промывки поливной водой сообщает всему пахотному горизонту бесструктурность и вязкость, а в сухом состоянии — глыбистость.

Промывка поливными водами влечет за собой усиление пептизированности и потерю наиболее ценной в почве коллоидальной минеральной и органической фаз. Бесструктурность, вязкость, высокая влагоемкость

солонцов крайне осложняют все вопросы агротехники. Уже «спелость» солонцовых пятен обычно отстает от общего состояния поля, на 10—15 дней задерживая весеннюю обработку (Маландин). Запаздывают также всходы на солонцах. Нарушается и общая равномерность созревания. Во влажном состоянии солонцовые пятна вызывают при обработке сильную буксовку трактора, поломки орудий, простои, перерасход горючего. В сухом состоянии монолитность осолонцованного пахотного горизонта влечет неравномерность хода машин, «царапание» солонца с поверхности. Расход горючего при всем этом на солонцах на 50—60% выше, чем на несолонцеватых почвах. Производительность работы на солонцах ниже, чем на несолонцеватых почвах (Маландин, 166; Макеев, 167).

Отсюда следует, что общим для мелиорации всех солонцов должно явиться уничтожение солонцового горизонта путем вытеснения обменного натрия, нейтрализации щелочной реакции и организации из склонной к заплыванию массы структурного окультуренного горизонта.

Эта общая для всех солонцов и сильносолонцеватых почв задача разрешается в основном теми же приемами, что и при мелиорации содовых солончаков (см. выше), т. е. внесением соединений кальция извне (гипсование, иногда известкование), мобилизацией соединений кальция в самой почве и, в случаях карбонатных солонцов или близких к поверхности почвы карбонатных горизонтов (внесение серы, кислот или кислых отходов промышленности), обязательным травосеянием, в особенности культурой люцерны, повторной сидерацией, или внесением навоза, лесных подстилок, дефекационной грязи, торфяных компостов и т. д. Однако количества необходимых мелиорирующих веществ на солонцах вообще будут меньшими, чем на содовых солончаках, хотя принципы их расчетов будут теми же — по количеству обменного натрия и соды, а в солончаковатых солонцах, кроме того, и по соотношению Na : Ca в составе других солей.

При содержании в солонцах 0.15—0.20% обменного натрия, т. е. 6.5—8.6 м.-экв., что обычно для Саратовского Поволжья, эквивалентное количество гипса для толщи в 20 см будет равняться 13.9—17.9 т $CaSO_4 . 2H_2O$ на 1 га.

Однако для содовых солонцов это количество значительно возрастает. При содержании обменного Na 0.5—0.7%, что характерно для некоторых солонцов Западной Сибири и Куйбышевского края, для вытеснения обменного Na необходимо 45—65 т гипса.

Для нейтрализации свободной соды, содержащейся в количестве около 0.4—0.6% HCO'_3, потребуется дополнительно 17—21 т/га гипса, т. е. все потребное для мелиорации содовых солонцов количество гипса вырастает до величины 60—85 т/га. Практическое потребление гипса будет на 30—40% меньше, так как мелиорации подлежат лишь солонцовые элементы комплекса, а не вся поверхность почвы. Естественно, что при мелиорации столь злостных содовых солонцов будет целесообразнее переходить на кислотные продукты в сочетании с гипсом.

Часто рекомендуют принимать для окончательных расчетов множительный коэффициент 1.5—2. Нам кажется правильным принять эквивалентные отношения, так как обычно верхний горизонт солонца содержит в 2—3 раза меньше обменного Na, чем горизонт, по которому ведется расчет;

кроме того, он часто содержит и обменный водород. Необходимо также учитывать карбонатность и гипсоносность солонцов, что позволит снижать норму гипса соответственно запасам кальция почвы.

В солонцах ряда остепнения — остепненные солонцы и солонцеватые каштановые почвы, естественная эволюция которых направлена в сторону рассолонцевания и замены обменного натрия кальцием зольного остатка полынно-типчаковых и ковыльных ассоциаций, количество необходимых мелиоративных веществ окажется не превышающим 3—5 т гипса на гектар.

В некоторых случаях химическая мелиорация, повидимому, является лишней. Слабая солонцеватость, указывает академик Вильямс, может быть постепенно уничтожена углублением культурного горизонта вспашкой и действием травяного (особенно люцернового) клина в севообороте. Роль травопольного севооборота в данном случае направлена на ускорение естественного процесса остепнения и биологической аккумуляции кальция. Сочетание выборочного внесения химических мелиорирующих веществ или навоза с травополье м явится здесь особенно плодотворным.

При наложении на солонцеватость осолодения и вследствие этого развития некоторой ненасыщенности надстолбчатого горизонта (солонцы Венгрии, Украины и Западной Сибири) известное значение в качестве приема химической мелиорации может иметь известкование.

Известь в этом случае вытесняет обменный водород, который в дальнейшем нейтрализует соду и замещает обменный натрий нижележащего солонцового горизонта.

Имеются указания на положительное действие извести и в других исследованиях, проведенных в условиях юга Украины (А. М. Можейко, 168) и Уральской опытной станции (Н. А. Орловский, 169). Все же вопрос о применении извести для уничтожения солонцеватости нельзя считать разрешенным и вышедшим из стадии экспериментального изучения.

Солончаковатые сульфатно-хлоридные и хлоридо- сульфатные солонцы, как уже показано выше, обычно гипсоносны. Часто содержание гипса достигает до 2—3%. Иногда же гипс встречается и в горизонте *B*. Гипсоносность, хотя и в меньшем количестве, характерна и для солонцов, периодически связанных с грунтовыми водами.

Обычно эти же солонцы отличаются высоким залеганием горизонта углекислого кальция, а иногда и вскипанием от HCl с поверхности.

Все это говорит о целесообразности использования кальция самого солонца для его мелиорации. Для этого, очевидно, необходимо путем глубокой вспашки или плантажа на 35—50 см вывернуть известково-гипсоносные горизонты на поверхность, — лучше с осени, — и подвергнуть почву промывке. Легкорастворимые соли при этом должны отмыться. Оставшиеся гипс и углекислый кальций явятся источниками «самомелиорации» солонца. В сочетании с травосеянием и промывкой этот прием, несомненно, будет эффективным.

Лабораторные исследования научного сотрудника Азербайджанского филиала Академии Наук тов. А. Касумова, проведенные в нашей лаборатории, и 3-летние полевые опыты на стационаре близ Эльтона полностью подтверждают основательность этих соображений.

Для исследования был взят солончаковатый солонец разрез № 39 из Каспийской равнины, водная вытяжка которого характеризуется следующими показателями:

Таблица 105

Водная вытяжка из солончаковатого солонца № 39 (в %)

Глубина в см	Щелочность		Cl′	Ca··	SO_4''	Сумма сульфатов методом NaCl
	CO''_3	HCO'_3				
0—5	Не обн.	0.0732	0.0121	Следы	0.0369	0.0603
12—15	»	0.1854	0.0323	0.0207	0.0493	0.0699
20—23	»	0.1586	0.1349	0.0245	0.2723	0.5548
30—35	»	0.0512	0.2040	0.1191	0.8236	3.8305

Последовательные промывки на воронках различных солонцовых горизонтов порциями по 100 см³ при отношении почвы к воде, как 1 : 5, показали для солонцового горизонта рост щелочности и ясное его осолонцевание, а для гипсоносного (30—35 см) — отчетливую картину уменьшения щелочности и опреснения без осолонцевания. После смешивания этих двух образцов при отношениях гипсоносного к солонцовому, как 3 : 1, и всех горизонтов при отношении гипсоносного к солонцовым и поверхностному опресненному, как 2.5 : 2.2 : 0.5, полученный материал подвергся такой же промывке. Уже первые порции промывания показали благоприятное влияние такого «самогипсования», вызывающего устойчивое снижение щелочности в 2 раза по сравнению с негипсованными образцами (табл. 106).

Таблица 106

Влияние гипсовых горизонтов на снижение щелочности солонцовых горизонтов

Горизонт и глубина в см	Щелочность (в % HCO'_3) при последовательных промываниях порциями по 100 см³					
Солонцовый 12—15	0.0683	0.0878	0.1342	0.1464	0.1464	—
» 20—23	0.0756	0.0854	0.1488	0.1491	0.1493	—
Гипсоносный подсолонцовый 30—35	0.0488	0.0445	0.0335	0.0355	0.0337	0.0561
Продолжение	0.0610	0.0630	0.0585	0.0518	0.0516	0.0518
»	0.0518	0.0449	0.0440	0.0384	0.0396	0.0394
»	0.0391	0.0357	0.0332	0.0321	0.0280	0.0256
»	0.0256	0.0244	0.0244	0.0248	—	—
Смесь горизонта 20—23 см и 30 — 35 см в отношении 1 : 3	0.0518	0.0445	0.0378	0.0378	0.0383	0.0488
	0.0549	0.0561	0.0671	0.0619	0.0610	0.0630
Смесь верхнего горизонта 0—5 см, солонцовых 12—15 и 20 — 23 см с гипсоносным 30 — 35 см в отношении 0.5 : 2.2 : 2.5	0.0610	0.0610	0.0630	0.0680	0.0732	0 0739
	0.0610	0.0488	0.0451	0.0445	0.0498	0.0549
	0.0549	0.0549	0.0592	0.0595	0.0610	0.0670
	0.0670	0.0670	0.0732	0.0739	—	—

Для проверки этих ориентировочных опытов в полевой обстановке в 1934 г. были заложены делянки с глубоким плантажем на солонцах

Каспийской равнины, на Джаныбекском стационаре Почвенного института Академии Наук.

Содержание гипса в горизонте 30—40 см, с которым смешивались верхние горизонты, достигало до 3%. Отношение между Na и Ca (включая кальций гипса) после плантажа горизонтов равнялось 1 : 10, т. е. содержание кальция далеко превосходило отношения, указанные Kelley, Антиповым-Каратаевым и Розовым, как гарантирующие от осолонцевания (Ca : : Na, как 1 : 3, 1 : 9; 1 : 18). Делянки промывались водой по норме из расчета 4000 м³. В фильтратах после промывки и «самогипсования» установлены значительные количества сернокислого натрия и хлоридов. Посеянная пшеница на делянках дала прекрасный урожай, около 18 ц с гектара. Количество обменного Na к 1937 г. снизилось с 10—13 м.-экв. до 2—3.

Если учесть, что кроме гипса в этих же близких к поверхности горизонтах присутствуют углекислый кальций и кальций силикатов (Kelley), то есть все основания считать, что плантаж в сочетании с травосеянием, сидерацией и навозным удобрением часто может явиться основным приемом уничтожения солонцеватости сульфатно-хлоридных и хлоридно-сульфатных солончаковатых и остаточносолончаковатых солонцов, обычно характеризующихся близкими гипсово-известковыми горизонтами.

Действие Ca при внесении его извне в виде гипса или мобилизации серой, кислотами и кислыми препаратами (Acifer) сказывается не только в нейтрализации щелочной реакции и замещении обменного натрия. Поскольку с «голоданием» на кальций в солонцах приходится считаться, как с фактом весьма вероятным, необходимо видеть во внесении кальция и чисто физиологическое его действие — выравнивание отношения с Na и возможно Mg. Далее, как установлено Антиповым-Каратаевым (170) и Буренковым (171), уменьшается мертвый запас воды, благодаря чему увеличивается при том же увлажнении ее доступность растению. Одновременно возрастают всасывающая способность почвенной массы и мобильность воды в горизонтах; тем самым обеспечивается необходимая скорость подачи воды к местам корнеобитания. Скорость передвижения воды меньше 2 см/час, что часто наблюдается в солонцах (Буренков), обусловливает увядание растений, создавая физиологическую сухость. Оптимальной скоростью Sekara принимает величину 2—5 см/час (172).

Эти изменения в физических свойствах мелиорируемого солонца сопровождаются, кроме того, и улучшением аггрегатных свойств за счет необратимой коагуляции частиц меньше 2μ с образованием аггрегатов преимущественно размера 0.02—0.002μ (170). По наблюдениям Можейко, при гипсовании уменьшается число глыбистых структурных отдельностей и возрастают элементы мелкокомковатой водоупорной структуры.

Все эти изменения, в сущности, являются свойствами, развитыми оптимально в незасоленных степных почвах, и по сути представляют совершенно не осознанную попытку ускорить природный процесс остепнения солонца. Естественно, что травопольная система академика Вильямса наиболее приближается по своему действию на солонцы к природным процессам, разыгрывающимся при остепнении солонцов.

Поэтому сочетание внесения или мобилизации кальция с травопольной системой должно оказаться наиболее целесообразным, поскольку общая

скорость и результативность процесса рассолонцевания (остепнение) повысятся.

Бесспорность этого вопроса для автора, к сожалению, не может быть иллюстрирована экспериментальным материалом. Но даже и те немногие данные об изменениях, вызываемых в почвах травосеянием, достаточно убедительны.

В числе немногих экспериментальных данных по этому вопросу приводятся следующие результаты исследований Безенчукской опытной станции (В. Н. Харчиков, 173):

Таблица 107

Поглощенный Ca и Mg
(в % на сухую почву)

Катионы	Люцерна 1925 г.	Люцерна 1924 г.	Люцерна 1923 г.	Люцерна 1922 г.	Люцерна 1921 г.	Пшеница по пласту
Поглощенный Ca	0.676	0.704	0.783	0.907	0.962	0.745
» Mg (в Ca)	0.186	0.191	0.209	0.195	0.205	0.204
Ca	78.4	78.7	78.9	82.3	82.4	78.5
Mg	21.6	21.3	21 1	17.7	17.6	21.5

Накопление обменного кальция и уменьшение обменных магния и натрия под люцерной допускает также и Орловский (174).

Существующие очень отрывочные и кратковременные данные о мелиорации солонцов проведены, однако, при одностороннем увлечении одними химическими агентами, но если даже и в них очевиден положительный результат, то этим лишь подчеркивается необходимость положить в основу преодоления солонцеватости комплекс химических и биологических приемов.

В частности, положительное действие извести, серы и гипса на солонцах показано А. Н. Соколовским и А. М. Можейко на Украине (Нижний Днепр) при культуре хлопков в условиях орошения. Внесение гипса повысило урожай хлопка на 47.8%.

	1-й сбор	2-й сбор	Всего	%
Контроль . .	119.0	207.5	326.2	100
Гипс	131.0	351.2	482.2	147

А. М. Можейко (168) и А. Н. Соколовский (175) на основании своих наблюдений считают, что при гипсовании целесообразно одновременно углубление вспашки, поскольку этим приемом на поверхность выворачивается коллоидальный структурообразующий под действием гипса материал.

Столь же убедительные результаты получены на Уральской станции Н. А. Орловским (169) (табл. 108): гипс, сера, известь дали и в первый, и во второй год после мелиорации ясно выраженный прирост урожая.

При этом в первый год были наиболее эффективны гипс и жженая известь — 3 т, а во второй — сера — 1 т, известь — 6 т и гипс — 10 т.

Химическая мелиорация сопровождалась двумя поливами и затоплением при норме 1300—1400 м³/га.

Таблица 108

Урожай пшеницы в опытах после мелиорации солонцов на Уральской опытной с.-х. станции

Делянки	Урожай зерна в первый год (1931 г.)		Урожай зерна во второй год (1932 г.)	
	в ц/га	в %	в ц/га	в %
Без удобрений	7.51	100	15.71	100
Гипс 5 т/га	13.60	181	16.67	106
» 10 »	10.00	133	20.02	127
Сера 1 »	9.33	124	21.66	138
Жженая известь 3 т/га	10.66	142	16.34	104
» » 6 »	7.97	106	20.29	129

Солонцеватость даже очень сильных степеней может быть с успехом понижена (помимо гипсования и обработки серой) применением сахарной барды, особенно при совместном внесении с навозом, и интенсивной механической обработкой. Приведем пример из исследования 'Sigmond, Arany, Herke (176) (табл. 109 и 109а). Солонец до мелиорации имел с поверхности

Таблица 109

Обменные катионы в солонце до мелиорации

Глубина в см	В милли-эквивалентах					В % эквивалентов от суммы				
	$Ca^{\cdot\cdot}$	$Mg^{\cdot\cdot}$	$K^{\cdot}$	$Na^{\cdot}$	Сумма	$Ca^{\cdot\cdot}$	$Mg^{\cdot\cdot}$	$K^{\cdot}$	$Na^{\cdot}$	Сумма
0—20	17.479	8.649	0.771	5.326	32.225	26.149	13.304	3.196	56.751	100
20—40	18.046	9.929	0.574	7.123	35.672	29.233	16.561	2.416	51.790	100
40—60	21.760	10.002	0.580	8.258	40.600	34.775	15.289	0.943	48.993	100
60—80	25.327	11.636	0.383	17.674	55.020	37.745	36.513	2.001	23.741	100
80—100	8.918	11.591	0.304	7.857	28.664	36.591	47.206	1.190	15.013	100

Таблица 109а

Обменные катионы в солонце после одного года мелиорации

Глубина в см	В милли-эквивалентах					В % эквивалентов от суммы				
	$Ca^{\cdot\cdot}$	$Mg^{\cdot\cdot}$	$K^{\cdot}$	$Na^{\cdot}$	Сумма	$Ca^{\cdot\cdot}$	$Mg^{\cdot\cdot}$	$K^{\cdot}$	$Na^{\cdot}$	Сумма
0—20	17.479	8.649	0.771	5.326	32.225	54.240	26.839	2.393	16.528	100
20—40	18.046	9.929	0.574	7.123	35.672	50.589	27.834	1.609	19.968	100
40—60	21.760	10.002	0.580	8.258	40.600	53.597	24.635	1.429	20.339	100
60—80	25.327	11.636	0.383	17.674	55.020	46.002	21.149	0.696	32.123	100
80—100	8.918	11.591	0.304	7.857	28.664	31.112	40.437	1.061	27.390	100

до 30 м.-экв. обменного натрия и выраженный очень плотный иллювиальный горизонт. Мелиорация солонца указанным способом уже через 1 год снизила содержание обменного Na до 5—7 м.-экв.

Одновременно содержание обменного кальция возросло относительно суммы обменных оснований почти в 2 раза. Однако при этом наметилось уменьшение емкости обмена, так как сумма поглощенных оснований упала с 55—65 м.-экв. до 32—35 м.-экв. Очевидно, мелиорация сопровождалась потерей активной части поглощающего комплекса (SiO_2 и гуматы). Впрочем, емкость обмена могла упасть и в связи с уменьшением pH.

Наибольшей эффективностью мелиорация солонцов отличается при орошении. Но есть все основания считать, что гипсование, сочетаемое с минеральными и органическими удобрениями, травопольем и углублением пахотного горизонта, может быть эффективным и в сухом земледелии. Как показывает сопоставление опыта мелиорации солонцов без орошения в более влажных (Западная Сибирь, Украина) и более сухих (Заволжье) областях, положительное действие мелиорации проявляется в первых ярче. Наиболее разительных успехов добился проф. Маландин со своими сотрудниками в Западной Сибири.

Комбинация гипса и навоза в производственной обстановке повысила урожай зерна до 26 ц/га при урожае на черноземах около 12 ц/га (167).

Макиевское опытное поле на солонцах, содержащих 0.10—0.13% обменного Na при щелочности 0.08—0.10%. дало почти 10-кратный прирост урожая овса в результате применения одного лишь гипсования. Правда, опыты велись на делянках и это несколько уменьшает значимость полученных результатов (Ромашев) (табл. 110).

Таблица 110

1-й участок		2-й участок	
Контроль	0.000 кг	Контроль	0.018 кг
Гипс 5.5 т	0.137 »	Гипс 2.75 т	0.915 »
» 11.0 »	0.670 »	» 5.5 »	1.030 »
» 22.0 »	1.175 »	» 11.0 »	1.335 »

Значительный прирост урожая сена костра от известкования и гипсования в сочетании с удобрением констатирован на Омской опытной станции (Малахов и Вырова, 109). Солонцы с поверхности содержали до 0.2—0.3% обменного натрия. Гипса было внесено очень небольшое количество, 3.6 т, навоза —54 т, извести —3.6 т (табл. 111).

Таблица 111

Урожай сена костра

Количество	Контроль	Навоз	Гипс	Навоз и известь	Полное удобрение
Ц/га	11.23	12.09	14.00	20.17	24.31
%	100	98.7	124.7	178.6	210.0

В более сухих районах эффективность мелиорации солонцов без орошения, естественно, меньшая, но даже и здесь, как показывает пример Уральской опытной станции, прирост урожая в благоприятные годы может достигать до 15—20% (Орловский) (табл. 112).

Таблица 112

Урожай мягкой пшеницы при мелиорации без орошения
(Уральская опытная станция)

Количество	Контроль	Гипс 5 т	Гипс 10 т	Сера 1 т	Известь 3 т	Известь 6 т
Ц/га	2.86	3.39	3.28	3.64	2.68	2.58
%	100	118.7	114.5	127.8	93.8	88.8

Положительное действие гипса установлено и Безенчукской станцией. Районы сухого земледелия занимают в Советском Союзе огромные территории, причем участие солонцов на этих территориях — обычное явление. Поэтому проблема мелиорации солонцов в сухом земледелии является не менее актуальной, чем мелиорация их при орошении. Здесь могут быть самые широкие перспективы для приложения сил агрономов и колхозников-опытников к работе хат-лабораторий и лабораторий МТС.

Навоз, уже зарекомендовавший себя, лесная подстилка, компостированный торф, местные залежи мергелей и гипсов, известково-гипсовые горизонты почв и, наконец, отходы местной кожевенной и сахарной промышленности должны быть испробованы для местного внесения в солонцы (правильнее всего с осени) и после установления норм применяться как мелиорирующие удобрения.

Конечно, здесь нужны и соответствующая осторожность и надзор агронома. Правильнее всего начать с небольших норм.

Снегозадержание и особенно лиманное орошение, увеличивая водный баланс полей и ускоряя промывание продуктов реакции, повысят действие мелиоративных мероприятий.

В мелиорации солонцов необходимо учитывать также и действие минеральных удобрений, относящихся к группе кислых и физиологически кислых.

Ф. Е. Бер приписывает кислотный эффект всем азотистым удобрениям за исключением нитратов и цианамида. Кислотное действие особенно сильно проявляется у сернокислого и хлористого аммония, когда сочетается подкисляющее действие продуктов нитрификации и остающихся кислотных радикалов.

Подкисляющее действие азотных удобрений можно представить в виде следующего нисходящего ряда: хлористый аммоний, сернокислый аммоний, аммиачная селитра, мочевина, норвежская селитра, калийная и натровая селитра и цианамид. Собственно, последние три соединения являются уже подщелачивающими и не только не окажут мелиорирующего

действия, но, наоборот, вызовут усиление солонцеватости. Эффект норвежской селитры будет связан с действием Са.

По подсчетам Бера (177), 1 кг NH_4SO_4 освобождает такое количество кислоты, для нейтрализации которого требуется 7 кг углекислого кальция.

Из фосфорнокислых удобрений мелиорирующими солонцеватость являются, во-первых, суперфосфат, содержащий обычно гипс и примеси свободной фосфорной и серной кислот, и, во-вторых, как источники кальция, двойной суперфосфат и преципитат.

Соответственно этим общим представлениям Валуйская, Уральская, Саратовская и некоторые другие опытные станции констатировали высокую эффективность сернокислого аммония и в ряде случаев суперфосфата на солонцеватых почвах.

Уральской станцией (Орловский) показана значительная эффективность кальциевой и аммиачной селитры и фосфорнокислого аммония.

В первом минимуме, как показывает большинство исследователей (Орловский, Делиникайтис, Ромашев), на солонцах и солонцеватых почвах находится азот и лишь затем идет фосфор. Соответственно определяется последовательность и потребности в удобрениях.

В последнее время Рюб (178) и Ратнер (179) выдвигают вопрос о возможности использования в качестве фосфорнокислых удобрений на солонцах апатитов и фосфоритов, рассчитывая на то, что обменные реакции между поглощенными натрием и кальцием удобрения повысят растворимость и усвояемость фосфора. Однако для апатита подобное повышение растворимости ими не констатировано. Установлено, что фосфорная кислота фосфоритов увеличивает в солонцах растворимость, и, повидимому, для использования фосфоритов на солонцах имеются известные перспективы.

Солонцы солончаковатого ряда, связанные постоянно с грунтовыми водами, в противоположность солонцам ряда остепнения, кроме мелиорации солонцового горизонта, нуждаются в опреснении корнеобитаемой части своего профиля путем промывки и, как гарантии против реставрации солончаковости и поверхностного ирригационного засоления, закладки дренажа на глубине не меньше критического залегания грунтовых вод, т. е. порядка 2.5—3.5 м в зависимости от механического состава породы.

Поэтому хозяйственное освоение солончаковатых сульфатно-хлоридных и соловых солонцов, как и содовых солончаков, сопряжено с большими трудностями и требует немалых затрат. Группа остаточносолончаковатых солонцов, развитых на глубоко дренированных древних речных террасах в Поволжье, на Дону и в Ставрополье и характеризующихся лишь периодической связью с грунтовыми водами, лежащими на уровне 6—9 м при жестком водопользовании, как показал изученный нами опыт бытового орошения, в дренаже не нуждается. Орошение в этих условиях приводит к опреснению профиля, а при сильной солонцеватости — к признакам осолонцевания. Последнее можно избежать с помощью химмелиораций.

Вопрос о дренаже полностью отпадает при орошении солонцов ряда остепнения, которые оторваны от грунтовых вод, залегающих на глубине 15—30 м и глубже, и в которых господствуют лишь элювиальные процессы.

СВОЙСТВА ПОЛИВНЫХ ВОД

В режиме орошаемых почв большое значение приобретают поливные свойства воды; последняя может играть роль фактора, усиливающего рассоление и рассолонцевание, но вместе с тем она может явиться причиной засоления почвы и потери ею плодородия. Поливные свойства воды зависят от концентрации и состава растворенных в ней солей и взвешенных механических элементов, состава и профиля орошаемой почвы, условий ее дренажа, степени аридности климата и, наконец, солестойкости культурного растения.

Поэтому, строго говоря, при орошении необходимо, помимо знания водносолевого режима почв и их мелиоративных свойств, иметь твердые представления об эффекте взаимоотношений поливной воды и орошаемой почвы и изменениях последней под воздействием орошаемых вод.

Орошаемая вода может просто оказаться токсичной для культурных растений. Hilgard принимает как предел содержания солей в поливной воде 0.0685% сухого остатка и 0.0942% соды. Mackie считает негодной для орошения воду при содержании 0.06—0.07% бикарбонатов и хлоридов натрия.

Для условий Pecos Valley вода, содержащая 0.25—0.30% солей, считается вредной. Harris приводит примеры засоления почв после 5-летнего орошения водой с плотным остатком 0.39%, а также гибели садов в Калифорнии после 3-летнего орошения водой, содержащей 0.0766% NaCl, 0.0327% соды и 0.0315% Na_2SO_4. В штате Utah установлена гибель зерновых культур при поливе водой, содержащей 0.4395% солей, в том числе 0.3625% NaCl.

Такие же концентрации (0.4352%) оказались вредными в New Mexico для сахарной свеклы. Очевидно, засоленность поливных вод может снижать и процент сахаристости. Так, при поливе сахарного тростника водой, содержащей 0.343% солей, сахара с акра получается на 11 т меньше, чем при поливе пресной водой.

Для культуры риса, по наблюдениям Fraps в Техасе, пределом засоленности вод является 0.3%, в том числе 0.1754% NaCl (33).

Засоленные орошаемые воды встречаются часто в Заволжье в плёсах рр. Большой и Малый Узень. Антипов-Каратаев указывает, например, что участки колхоза Каменная Сарма, орошаемые водой (из Сарминского плеса р. Большой Кушум), содержащей к концу лета 4.52 г солей в литре, забрасываются вследствие засоления через 2 года.

Проницаемость почвы при искусственном или благоприятном естественном дренаже значительно снижает предел засоленности поливных вод. Так, есть указания на использование для поливов в Сахаре воды с 0.8% солей, в составе которых до 50% хлористого натрия. Впрочем, даже при хорошем дренаже, как показывает опыт в Аризоне, до 50—60% солей

поливной воды все же задерживается в почве, что в конце-концов в случае преобладания солей натрия неминуемо приведет к развитию солонцеватости.

Однако и совершенно пресная вода на солонцах, содовых солончаках и солончаках с преобладанием солей натрия будет вызывать отрицательные явления — усиление общей и сезонной (коркообразование) солонцеватости, развитие осолодения и при этом потерю ценных структурообразующих коллоидальных и питательных элементов.

Это явление, например, может наблюдаться в Куйбышевской области в случаях орошения содовых солонцов пресными прудовыми (снеговыми) водами поверхностного стока. Примеры осолодения солонцов при орошении в Заволжье нами обнаружены на территории совхоза № 98 в Республике немцев Поволжья (Беспалов) и Питерском районе (Кудинова). Осолодение там наступило за период 30—40 лет лиманного орошения (180, 181).

Но приемы химической мелиорации и травосеяния, естественно, легко позволяют избежать осолодения.

Наиболее желательной с точки зрения мелиорации является вода, в составе которой преобладают катионы кальция.

Опыт орошения в Калифорнии (Kelley) показал, что поливные воды, содержащие Ca+Mg в отношении Na+K>1 : 3, способны в течение нескольких лет мелиорировать полностью не только солонцы, но и содовые солончаки (18). Взвешенные в поливных водах механические минеральные и органические соединения играют большую роль в снабжении почв питательными элементами.

Всем известна в этом отношении удобрительная ценность нильского ила, содержащего до 0.6—1.8% P_2O_5, 1.0—1.8% K_2O, 2.0—3.2% CaO. Высокими качествами отличается также и взвешенный материал рр. Амударьи и Сыр-дарьи, содержащий до 7—9% CaO, 2—3% K_2O (Костяков), много фосфора, азота и органического вещества.

ЛИТЕРАТУРА

1. Высоцкий Г. Н. Гидрологические и геобиологические наблюдения в Великом Анадоле. Серия статей в журнале Почвоведение, 1899—1900.
2. Гордягин А. Материалы для познания почв и растительности Зап. Сибири. Тр. Об-ва естествоиспытателей Казанского ун-та, т. XXXIV, вып. 3, Казань, 1900.
3. Коссович П. С. Солонцы и отношение к ним растений и методы определения солонцовых почв. Журн. оп. агр., т. I, 1903.
4. Димо Н. А. и Келлер Б. А. В области полупустыни. Саратов, 1907.
5. Глинка К. Д. Почвообразование, характеристика почвенных типов и география почв, СПб., 1913.
6. Гедройц К. К. Коллоидальная химия в вопросах почвоведения. Журн. оп. агр., т. XIII, 1912.
7. Димо Н. А. Главнейшие типы засоления почв и грунтов на территории России. Ежегодник отдела земельных улучшений, ч. 1, СПб., 1913.
8. Коссович П. С. О круговороте серы и хлора на земном шаре. Бюро по земледелию и почвоведению, СПб., 1913.
9. Попов Т. И. Происхождение и развитие осиновых кустов в пределах Воронежской губ. Труды Докучаевского почв. комитета, вып. 2, СПб., 1914.
10. Хаинский А. И. Почвы южной части Семипалатинского уезда. Труды Переселенческого управления, СПб., 1916.
11. Виленский Д. Г. Засоленные почвы, их состав, происхождение и способы улучшения, М., 1924.
12. Гедройц К. К. Почвенный поглощающий комплекс. Носовская с.-х. оп. станция, 1927.
13. Гедройц К. К. Солонцы, их происхождение, свойства и мелиорация. Носовская с.-х. оп. станция, 1928.
14. Тюремнов С. И. Почвенно-грунтовые условия южного участка Джафарх. оп. станции и его засоление, 1928.
15. 'Sigmond A. Salzboden. Handbuch der Bodenlehre, 1930.
16. 'Sigmond A. Report on the genetic of alkali soils. Verhandl. der zw. Kommis. und der Alkali-Subkommis. der Int. Bod. Ges., v. I, part 2, Budapest.
17. Hilgard E. W. Soils, 1905.
18. Kelley W. P. The essential nature of alkali soils and methods for their reclamation. Mezogazdasagi Kutatasok. VI, December, 1933.
19. Shaw C. E. and Kelley W. P. The meaning of the term Solonetz. Transactions of the Third Int. Congress of Soil Science, 1935.

20. Ферсман А. Е. Энергетическая характеристика геохимических процессов. Доклады А.Н. II, 1935.
21. Ферсман А. Е. Система эков. Доклады А.Н. II, 1935.
22. Ферсман А. Е. Геохимия, т. III, 1937.
23. Герасимов И. П. и Иванова Е. Н. Процессы континентального соленакопления в почвах, породах, подземных водах и озерах Кулундинской степи. Сборник «Памяти академика К. К. Гедройца», 1934.
24. Вильямс В. Р., академик. Травопольная система земледелия на орошаемых землях, 1935.
25. Францессон В. А. и Галкин И. Г. Новые данные о солонцовом процессе почвообразования. Химизация соц. землед., № 5, 1923.
26. Linck G. Kreislaufvorgange in der Erdgeschichte, 1912; Kreislauf der Stoffe in der anorganischen Natur. Handworterbuch der Naturwissenschaften, B. V, 1934.
27. Высоцкий Г. Н. К вопросу о солонцах и солеиосных грунтах. Почвоведение, № 2, 1903.
28. Высоцкий Г. Н. Почвоведение, № 2, 1900.
29. Walther J. Das Gesetz der Wustenbildung.
30. Лийдеман К. Обзор работ солончакового отдела Голодностепской опытной станции за 1916—1920 гг.
31. Clarke F. W. The Data of Geochemistry, 1911.
32. Чирвинский П. Н. Сев.-Кавк. мелиорационный бюллетень № 1—2, 1919, Новочеркасск.
33. Harris F. S. Soil alkali, its origin, nature and treatment, 1920.
34. Ковда В. А. и Селяков С. Н. Селитряные солончаки в Средней Азии. Природа, № 5, 1935.
35. Келлер Б. А. Накопление солей внутри растений и засоление почвы. Тр. ботан. оп. станц. им. Келлера, вып. 1, Воронеж, 1929.
36. Гевельсон Т. А. Материалы к выяснению участия растительности в процессе континентального соленакопления. Сборник «Памяти академика К. К. Гедройца», 1934.
37. Танфильев Г. И. Доисторические степи Европейской России. Землеведение, № 2, 1896.
38. Ферсман А. Е. Радиусы и эки ионов. Сборник «Академику Вернадскому», т. I, 1937.
39. Кротов Б. П. К вопросу о системах самосадочных соляных бассейнов. Изв. ИФХА, т. III, вып. 2, 1927.
40. Берг Г. Геохимия месторождений полезных ископаемых, 1933.
41. Браунс Р. Химическая минералогия, перевод Белянкина, СПб., 1904.
42. Ковда Б. А. и Быстров С. В. К вопросу о природе щелочности солонцов Труды комиссии по ирригации Академии Наук СССР, т. VIII.
43. Иванова Е. Н. Почвы и соленакопление в озерах ленточных боров. Тр. СОПС Академии Наук. Кулундинская экспедиция, II, 1935.
44. Федоровский Н. М. Курс минералогии, 1932.
45. Ковда В. А. Современные формы засоления почв в Заволжье. Проблемы Волго-Каспия, т. I. Изд. Акад. Наук СССР, 1934.
46. Глазовская М. А. Особенности приморского засоления в дельте р. Урал и побережье залива Кайдак. Рукопись, 1935.
47. Глинка К. Д. К вопросу о классификации туркестанских почв. Почвоведение, № 4, 1909.
48. Кудрин С. А. и Розанов А. Н. Опыт агропочвенного исследования в целях химизации. Бюллетень № 6, Союз. НИХИ, 1935.

49. Прасолов Л. И. Юго-западная часть Забайкальской области. Предварительный отчет об организации и использовании работ по исследованию почв в Азиатской России в 1912 г.
50. Банасевич Н. Н., Зонн С. В., Казмина Т. И. и Маккавеев Н. А. Процессы засоления и рассоления почв. Тр. ЛОВИУА, № 29, 1934.
51. Цинзерлинг В. В. Орошение на Аму-дарье, 1927.
52. Красюк А. А. Почвы Ленско-амгинского водораздела (Якутский округ.) Изд. Академии Наук СССР, 1927.
53. Wetzel W. Die Salzbildungen der Chilenischen Wüste. Chemie der Erde, III, 1928.
54. Stewart Robert and Peterson William. The Nitric Nitrogen Content in the Country Rock. Utah Agricultural College. Experiment. Station Bull., No 134, 1914.
55. Thorp J. and Hou K. C. A reconnaissance investigation of the saline delta soils of eastern Kiangsu, China. The Geol. Surv. of China. Soil Bull., No 7, 1934.
56. Ковда В. А., Лебедев Н. Н. К новейшей истории Каспийской равнины. ДАН, № 1, 1933.
57. Курнаков Н. С. и Ронкин Б. Л. Озеро Эльтон. Известия ИФХА, т. VI. 1933.
58. Щукарев С. А., Коссман С. К., Коссман О. М. Исследование сакского грязевого отложения Изв. ИФХА, вып. 2.
59. Рыжиков Д. В. Озеро Медвежье. Изв. ИФХА, т. VI, 1933.
60. Наливкин Д. В. Учение о фациях, 2-е изд., 1933.
61. Николаев В. И. Физико-химическая соляная экспедиция Академии Наук на озера дельты Волги. Журн. прикл. хим., № 1, т. V, 1932; О влиянии грязевого комплекса на состав озерной рапы. Журн. прикл. хим., № 6, т. IV, 1931.
62. Айдинян Р. Х. К вопросу о природе химизма солончаков и солонцов Араздаянской степи и путях их химической мелиорации. Почвоведение, № 3, 1935.
63. Ронкин Б. Л. Натронные озера Египта. Изв. ИФХА, т. VI, 1933.
64. Sigmond A. A. J. Hungarian alkali soils and methods of their reclamation, California, 1927.
65. Sigmond A. A. J. Bericht über die Szik-Rieselwiese bei Békéscsaba. Verhandlungen der zweiten Kommission und der Alkali-Subkommission der Int. Bodenkunde Ges., B. V.
66. Pozdena L. Beiträge zur Kenntnis der Salzböden. Chemie der Erde, 1932. B. V I, H. 3.
67. Земятченский П. А. Пады. Ест.-ист. очерк, 1894.
68. Demmer B. u. Tietze O. Die nutzbaren Mineralien mit Ausnahme der Erze und Kohle, 1927.
69. Тюремнов С. И. Общий очерк солончаков Восточного Закавказья. Тр. Кубан. с.-х. ин-та, т. VI, Краснодар, 1929.
70. Таранець Т. Мат. досл. зем. меліофонду на Мелітопольщині, в. 1, Нарис ґрунтів, 1928.
71. Рессель Ф. С. и Ионг Ч. М. Жизнь моря, 1934.
72. Позефович Л. И. О возрасте и эволюции гидрогенных почв в связи с их использованием, 1931.
73. Саваренский Ф. П. Гидрогеология, М., 1934.
74. Аболин Р. И. и Зонн С. В. Почвенно-мелиоративный очерк бассейна р. Терека. Тр. ЛОВИУА, № 19, 1933.

75. Аболин Р. И. и Чечина А. Растительность солончаков, ее использование и улучшение, 1936.
76. Gračanin M. Die Salzböden des nordöst. Adriagebietes. Bodenkundliche Forschungen, 1934, No 1. B. IV.
77. Van Bemelen. Bodenuntersuch. in den Niederlanden. Die Landwirtsch. Versuchs-Stationen, B. VIII, 1866.
78. Hissink D. J. Internation. Mitteil. für Bodenkunde (ряд статей за 1927—1930 гг.).
79. Hissink D. J. The base exchange phenomenon of the soil. Trans. of the III Int. Congr. of Soil Science, 1935.
80. Walther J. Lithogenesis der Gegenwart, Jena, 1893—1894.
81. Andreè K. Geologie des Meeresbodens, B. II, 1920.
82. Архангельский А. Д. и Залманзон Э. С. Несколько слов о диагенезе морских глинистых отложений. ДАН, 1930.
83. Berz K. C. Ueber die Natur und Bildungsweise der marinen Eisensilikate insbesondere der Chamosit. Subst. Fortschr. d. Geologie und Paleont., H. 2, 1926.
84. Архангельский А. Д. и Залманзон Э. С. Сравнительное литологическое исследование по вопросу о происхождении подземных вод Грозненских нефтяных месторождений. Бюлл. Моск. об-ва исп. прир., т. IX (3—4), М., 1931.
85. Ковда В. А. Принципы классификации почв. Задачи и методы почвенных исследований. Тр. Советской секции Международной ассоциации почвоведов, т. II, 1933.
86. Treitz P. Preliminary report on the alkali land investigations of Hungarian great plain for 1926. First. Int. Congr. of Soil Science, v. IV, 1928.
87. Aarnio B. Ueber Salzboden (Alaunböd.) des humiden Klimas in Finland. Int. Mitt. f. Bodenkunde, B. XII, 1922.
88. Неуструев С. С. Почвы и циклы эрозии. Геогр. вестн., т. I, вып. 2—3, 1932.
89. Ковда В. А. Новые данные о происхождении солонцов Заволжья. Труды Майской сессии Академии Наук 1935 г. Агрохимия и почвоведение, М., 1936.
90. Ковда В. А. К вопросу об образовании в почвах вторичных карбонатов кальция. Тр. Почв. ин-та Академии Наук, т. IX, 1934.
91. Kelley W. Americ. alkali soil and their reclamation, 1933.
92. Вопросы химической мелиорации почв. Тр. ЛОВИУА, № 34, 1934.
93. Розов Л. П. Солонцовые процессы в мелиорации. Почвоведение, № 3, 1932; Опыт промывки солончаков Чарынского участка р. Или. Тр. ВНИИГиМ, т. XIV, 1935.
94. Кройт Г. Р. Коллоиды, 1933.
95. Наумов В. Химия коллоидов, 3-е изд., 1932.
96. Mattson S. The influence of the exchangeable bases on the colloidal behavior of soil. Proc. and Pap. of the I Int. Congr. of Soil Science, 1927.
97. Антипов-Каратаев И. Н. Опыт применения фильтрационного метода к изучению факторов дисперсности почв. Тр. ЛОВИУА, № 11, 1930.
98. Wiegner G. Статьи личные и совместно с сотрудниками опубликованные в Kolloidchem. Beihefte, Zeitschr. f. Pf. Dün. u. Bodenk., Трудах конгрессов почвоведов I, II, III. Главнейшие обзорные сводки последних лет Kolloidchemie und Bodenkunde в издан. IX Congr. Int. de Quimica pura y aplicada, 1934.
99. Антипов-Каратаев И. Н. Физико-химические свойства почв в зависимости от состава и соотношения обменных катионов. Коллоидный журнал, т. I, вып. 3, 1935.

100. Иванова Е. Н. Материалы к изучению процессов осолодения в почвах лесостепи Западной Сибири. Тр. Почв. ин-та Академии Наук, вып. 3—4, 1930; Почвы и соленакопление в озерах ленточных боров. Тр. СОПС Академии Наук. Кулундинская экспедиция, ч. 3, 1935.
101. Панков А. М. и Шаврыгин П. И. К характеристике состава поглощающего комплекса почв Приманычской полосы. Тр. Почв. ин-та Академии Наук, т. IX, 1934.
102. Прасолов Л. И. и Антипов-Каратаев И. Н. О каштановых солонцеватых почвах Ергеней. Тр. Почв. ин-та Академии Наук, вып. 3—4, 1930.
103. Cummins A. B. and Kelley W. P. The formation of Sodium carbonate in soils. The agric. exper. St. of the coll. of agricult., № 3, 1923.
104. Скрябин. Отчет о почвенно-мелиоративных исследованиях в Большеглушицком районе. Рукопись, 1934.
105. Григорьев Г. И. Отчет об изучении солонцов Заволжья. Экспедиция 1935 г. Рукопись, 1936.
106. Козлов В. и Сарымсаков Т. Отчет о почвенно-мелиоративных исследованиях в Кинельском районе. Рукопись, 1934.
107. Мозыро М. М. Предварительный отчет о детальном почвенно-мелиоративном исследовании долины р. Чу. Рукопись, 1936.
108. Ромашев П. И. К вопросу об агрономических свойствах солонцов каштановой зоны. Химиз. соц. земл., № 2—3, 1936.
109. Малахов И. И. и Вырова Л. И. Солонцы и приемы их улучшения. Омская зональная станция зернового хозяйства 1931.
110. Powers W. L. Effects of sulfur and sulfats in alkali land reclamation. Proceed. and Papers of the First Int. Congr. of Soil Science, v. IV, 1928.
111. Горшенин К. П. и Баранова В. И. К познанию солонцовых комплексов черноземной полосы Зап. Сибири. Тр. Сиб. ин-та сел. хоз. и лесоводства, т. VII, вып. 1.
112. Большаков А. Ф. и Боровский В. Солонцовые комплексы Каспийской равнины (печатается в Тр. Нижневолгопроекта).
113. Большаков А. Ф. Водносолевой режим в солонцах Каспийской равнины. Рукопись Почв. ин-та Академии Наук, 1936.
114. Блажний Е. С. и проф. Тюремнов С. И. Почвы поймы р. Дона, Краснодар, 1929.
115. Розмахов И. К вопросу о генезисе темноцветных почв микрозападин. Рукопись, 1935.
116. Келлер Б. А. Растительный мир русских степей, полупустынь и пустынь, вып. 1, Воронеж, 1923.
117. Keller B. Halophyten - und Xerophyten-Studien. The Journal of Ecology, v. XIII, No. I, 1935.
118. Келлер Б. А. Из жизни растений засоленных почв полупустыни. Юбилейный сборник, посвящ. И. П. Бородину, 1927.
119. Stocker O. Das Holophytenproblem. Erg. d. Biologie, B. III, 1928.
120. Stocker O. Salzpflanzen. Handworterbuch der Naturwissenschaften, 2 Auflage, 1932—1933.
121. Stocker O. Transpiration und Wasserhaushalt in verschiedenen. Klimazonen. II Unters. in der Ungarisch. Alkalisteppe. Jahrbuch f. Wiss. Botanik, B. LXXVIII, H. 5, 1933.
122. Тулайков Н. М. Растение и соли почвы. Журн. оп. агр., т. XIII, 1912; Солонцы, их улучшение и использование, 2-е изд., М., 1922.
123. Büffum B. C. Alkali. Some Observations and Experiments Wyoming. Exp. Station Bul., № 29, 30, 49, 1896.

124. Стольгане А. А. Влияние осмотического давления питательной смеси на развитие растения. Из результатов вегетационных опытов и лабораторных работ Московского с.-х. ин-та, т. IX, 1914.
125. Якушкин И. В. Опыты по влиянию натровых солей на растения. Там же, т. VIII, 1913.
126. Hibbard P. L. Alkali soils. Circular No 292. Univ. of California, 1925.
127. Hansteen-Grenner B. Ueber das Verhalten der Kulturpflanzen zu den Bodensalzen. I, II. Jahrb. f. Wiss. Bot., 1910, No 47, 1914, No 53.
128. Гедройц К. Материалы к вопросу о влиянии на растение кислот, щелочей и некоторых неорганических солей. Журн. оп. агр., № 5, 1910.
129. Kearney T. u. Harter L. Сравнительная выносливость различных растений к солям. Реферат С. А. Захарова в Журн. оп. агр., № 6, 1909.
130. Делиникайтис С. А. Орошаемое земледелие, Саратов, 1935.
131. Купен П. Чувствительность высших растений к весьма малым количествам ядовитых веществ. Реферат Коссовича в Журн. оп. агр., № 1, 1902.
132. Osterhout W. J. V. Реферат в Журн. оп. агр., № 2, 1909.
133. Murphy H. F. The salt content of some soils near the salt plain in alfalf county Oklahoma in relation to crop production. Jour. of the Am. Soc. of Agron. vol. XXVI, No 8, 1934.
134. Harris P. S. Alkali soils. Circular No 41. Utah Agr. Coll. Exp. St., 1920; Soil alkali studies. Utah Agr. Coll. Exp. St. Bul., No 145, 1916.
135. Конюк А. Н. Из доклада Н. А. Димо на сессии Мелиор. секции ВАСХНИЛ, 1936.
136. Рыженкова М. Г. Культура сахарной свекловицы на солонцеватых и слабозасоленных разностях каштановых почв. ВАСХНИЛ, Ин-т агропочвоведения, 1931.
137. Панкратова-Глаголева А. Ф. Развитие хлопчатника в растворах с повышенной концентрацией солей. Москва — Ташкент, 1933.
138. Mosseri M. Солонцевые области в Египте и уход за ними. Реферат Коссовича в Журн. оп. агр., № 2, 1915 г.
139. Федоров Б. В. Определение степени осолонения почв по растительному покрову. Голодностепская с.-х. опытная станция, вып. 10, 1930.
140. Белякова Г. В. Сборник работ по Голодностепской опытной оросительной станции за 1926—28 г., Ташкент, 1932.
141. Рыженкова М. Г. К вопросу о солевыносливости хлопка. Химиз. соц. зем., № 8, 1932.
142. Гедройц К. К. Почвенный поглощающий комплекс, растение и удобрение, 1935.
143. Кирсанов А. Т. Почвоведение, № 4, 1932.
144. Ратнер Е. И. Влияние обменного натрия в почве на рост растений и физические свойства почвы. Химиз. соц. земл., № 3, 1935.
145. Kelley W. P. A general discussion oi the chemical and physical property of alkal. soils. First Int. Congr. oi Soil Science, v. IV, 1928.
146. Розов Л. П. Мелиоративное почвоведение, М., 1936.
147. Гантимуров И. И. О солонцах и их культуре в Забайкалье. Почвоведение, № 2, 1935.
148. Костяков А. Н. Борьба с засолением почвы в районах хлопководства. Доклад на 3-й сессии ВАСХНИЛ, 1936.
149. Виноградов. Типы и простирание земель поливной зоны Ср. Азии, требующих мелиорации. Тезисы доклада на сессии Мелиор. секции ВАСХНИЛ, 1936.
150. Говерт. Орошаемые районы Закавказья. Азербайджан. Там же.

151. Глыбин И. Н. Доклад о причинах засоления почв Голодной Степи при орошении. Там же.
152. Заонегин М. М. Доклад о засолении почв совхоза Пахта-Арал при орошении и мерах борьбы и профилактики. Там же.
153. Вильямс В. Р. Почвоведение, 1936.
154. Шаров И. А. Основные моменты нового поливного режима. Доклад на 3-й сессии ВАСХНИЛ, 1936.
155. Павлов Г. И. Агротехника хлопчатника. Там же.
156. Беседнов. Опытно-дренажные работы на Мугани. Доклад на Мелиор. секции ВАСХНИЛ, 1935.
157. Иванова Е. Н. и сотрудники. Поливные почвы низовьев р. Аму-дарьи. Изд. Академии Наук, 1933; Почвенномелиоративный очерк дельты и долины р. Аму-дарьи. Изд. Академии Наук, 1935.
158. Sigmond A. A. General principles for surveying the salty and alkali soils. Proc. I Int. Congr. Soil Science, v. IV, 1927.
159. Herke A. Die Amelioration der kalk-und sodahaltigen Szikboden. Trans. of the II Commission and Alkali Subcom., B., T. B., 1929, Budapest.
160. Arany A. Reclamation and utilization of Alkali Soils. Trans. of the Alk. Subcom. v. V, A, 1929, Budapest.
161. Kelley W. P., Arany A. The chemical effect of gypsum, sulfur, iron sulfate and alum on alkali soil. Hilyardia, 3, 1928.
162. Kelley W. P., Thomas E. E. Reclamation of the Fresno type of black alkali soil. Calif. Agr. Ex. St. Bul., № 455, 1928.
163. Thomas E. E. The effect of sulfur, gypsum and feerrous sulfate on alkali soil. First Int. Congr. of Soil Science, 1927.
164. Wursten J. and Powers W. Reclamation of virgin black alkali soils. Jour. of the Americ. Society of Agronomy, v. XXVI, No 9, 1934.
165. Антипов-Каратаев И. Н. О химической мелиорации солонцов и солонцеватых почв. Труды Майской сессии Академии Наук СССР, 1935 г., М., 1936.
166. Маландин Г. А. Почвенные комплексы и их сельскохозяйственное значение. Сборник научно-исследовательских работ Пермского с.-х. ин-та, т. V, 1934.
167. Макеев Н. И. Влияние почвенных условий на урожай яровой пшеницы. Там же.
168. Можейко А. М. Солонцеватые каштановые почвы Украины и их химическая мелиорация. Тр. Комиссии по ирригации Академии Наук СССР, №6, 1935—1936 (печатается).
169. Орловский Н. В. Агротехническая оценка и химическая мелиорация солонцов и солонцеватых почв, Алма-Ата, 1934.
170. Антипов-Каратаев И. Н., Филиппова В. Н., Комарова Н. И. Исследования по влиянию орошения на солевой состав и физико-химические свойства почв. Труды Комиссии по ирригации Академии Наук СССР, № 4, 1935.
171. Буренков В. А. Всасывающая способность почвы. Труды Комиссии по ирригации Академии Наук СССР, № 4, 1935.
172. Sekera. Die Nutzbarkeit des Bodenwassers für die Pflanze. Z. f. Pflanzenernähr., Düng. und Bodenkunde, 26, 112, 1932.
173. Харчиков В. Н. Отчет о деятельности опытных учреждений области Среднего Поволжья за 1925/26 г., 1927.
174. Орловский Н. В. К проблеме травополья в сухих районах. Химиз. соц. зем., № 5—8, 1935.

175. Соколовский А. Н. Предпосылки для установления наиболее эффективной глубины вспашки. Тр. Майской сессии Академии Наук 1935 г., М., 1936.
176. 'Sigmond, Arany, Herke. The effect of calcium and aluminium salts in alkali soii reclamation. First. Int. Congr. of Soil Science, v. II, 1928.
177. Бер Ф. Е. Теория и практика применения минеральных удобрений, 1932.
178. Рюб П. А. Вопрос о взаимодействии солонцов и подзолистых почв с апатитом. Химиз. соц. зем., № 6, 1933.
179. Ратнер Е. И. Химическая мелиорация и удобрения солонцов по лабораторным и вегетационным опытам. Тр. Майской сессии Академии Наук 1935 г., М., 1936.
180. Беспалов Н. Д. Влияние лиманного орошения на солонцовокаштановый комплекс в Заволжье. Труды Комиссии по ирригации Академии Наук СССР, вып. 10, 1937.
181. Григорьев Г. И. и Кудинова А. И. Об изменении солонцовых почв Заволжья при орошении. Труды Комиссии по ирригации Академии Наук СССР, вып. 10, 1937.
182. Killian Ch. Etudes écologiques sur la répartition du chlorure du sodium dans les psammophytes et halophytes algerines. Сов. ботаника, № 4, 1934.
183. Материалы к оценке земель Полтавской губ., вып. 14, 1894.
184. Богдан В. С. Отчет Валуйской с.-х. опытной станции, 1900.
185. Неуструев С. С. и Бессонов А. Почвоведение, № 3, 1902 и позже — Новоузенский уезд. Материалы для оценки земель Самарской губ., 1909.
186. Прасолов Л. И. и Неуструев С. С. Николаевский уезд. Материалы для оценки земель Самарской губ., 1904.
187. Касаткин В. Г. Почвы и грунты вдоль линии Троицкой жел. дор. Бюро землед. и почвовед., 1915.
188. Виленский Д. Г. Alkali soils of Ukraina. Матер. досл. грунт. України в. 6, 1927.
189. Виленский Д. Г. Saline and alkali soils of the USSR. Почвоведение № 4, 1930.
190. Виленский Д. Г. Geography of the saline and alkali soils in the USSR. Тр. V комиссии Международной ассоциации почвоведов, том А, I, 1935.
191. Прасолов Л. И. Южное Забайкалье. Изд. Академии Наук СССР, 1927.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Стр.

Предисловие 3

Глава I. Краткий обзор истории изучения засоленных почв 5

Глава II. Происхождение солей в грунтах и почвах . 20
Гипотезы происхождения солей 20
Основные черты геохимии элементов и происхождение соединений, участвующих в засолении почв 30

Глава III. Солончаки и условия их образования . 38
Континентальное засоление 38
Делювиально-пролювиальное засоление 38
Аллювиально-грунтовое засоление 42
Подпочвенный солончак 43
Первичный солончак 43
Нитратный солончак 44
Солончак периодический 47
Солончаки рассоляющиеся («гипсовые») 48
Озерно-коллювиальное засоление 48
Коллювиальное засоление 48
Озерное засоление (донное озерное засоление, содовые солончаки, боратные солончаки) 51
Морское засоление 60
Прибрежноморское засоление 61
Засоление лагунных отложений 67
Засоление донных морских отложений 68
Классификация солончаков 71

Глава IV. Солонцы 78
Факторы образования и эволюции солонцов 78
Рассоление и развитие рельефа страны 78
Рассоление и химизм солончаков 83
Сущность и физико-химические причины солонцеватости 89
Природа щелочности солонцов, образование и накопление соды . . . 94
Силикаты натрия и кальция в солонцах 99
Основные стадии солонцового процесса 101
Солонцы солончаковатого ряда (рассоление без отрыва от грунтовых вод) . 103
Сульфатно-хлоридные солончаковатые солонцы 103
Хлоридно-сульфатные гипсоносные солончаковатые солонцы . . . 115

Содово-сульфатные солончаковатые солонцы 126
Содовые солонцы 131
Содовые солонцы-солончаки 144
Солонцы ряда остепнения (рассоление с отрывом от грунтовых вод) . . . 151
Солонцы остаточносолончаковатые 151
Солонцы остаточнослабосолончаковатые 160
Солонцы безгипсовые — остепненные 167
Некоторые особенности в генезисе солонцов 179
Общие черты солонцового процесса 179
Особенности основных направлений солонцового процесса 182

Глава V. Растения и соли 186
Влияние солей на растения и условия их солеустойчивости 186
Солестойкость растений и ее факторы. 196
Токсические концентрации солей для культурных растений 198
Кормовые травы (люцерна, донник, вика, полевой горох, костер, пырей, райграс) 198
Зерновые злаки (ячмень, овес, пшеница, рожь, просо, рис) 199
Корнеплоды и клубнеплоды (свекла сахарная, картофель, лук) 202
Прядильные (лен, хлопок) 202
Древесно-садовые (пальмы, оливковое дерево, виноград и др.). 204
Влияние поглощенных катионов на растение 205

Глава VI. Орошение и мелиорация засоленных почв 209
Засоление почв при орошении и меры профилактики. 209
Орошение и мелиорация солончаков 214
Мелиорация солонцов 224
Свойства поливных вод 234

Литература 236

Оглавление. 245

Напечатано по распоряжению Академии Наук СССР

Непременный секретарь акад. Н. ГОРБУНОВ

Редактор издания чл.-кор. Академии Наук Б. Б. Полынов

Технический редактор Э. С. Пинкус Ученый корректор В. В. Теплов

Сдано в набор 15/XII 1936 г. Подписано к печати 29/IV 1937 г. Объем п. л. 15½ (18 фиг.).
Формат 72 × 110 1/16. В 1 п. л. 46500 печ. зн., уч. авт. л. 22,73. Тираж 1225 экз. Уполн. Главлита № Б-8944.
РИСО № 360. АНИ № 337. Заказ № 5189.

1-я Образцовая типография Огиза РСФСР треста „Полиграфкнига". Москва, Валовая, 28.

