

М. Р. АБДУЕВ

УСКОРЕННАЯ МЕЛИОРАЦИЯ ГЛИНИСТЫХ СОЛОНЧАКОВ АЗЕРБАЙДЖАНА

**Почвоведение
Регионы**

М. Р. АБДУЕВ

доктор сельскохозяйственных наук

УСКОРЕННАЯ МЕЛИОРАЦИЯ ГЛИНИСТЫХ СОЛОНЧАКОВ АЗЕРБАЙДЖАНА



Санкт-Петербург
Издательство «АИК»
2012

УДК 631.61

ББК 40.6

А13

Абдуев М. Р.

А13 Ускоренная мелиорация глинистых солончаков Азербайджана. — 2-е изд. — СПб.: Академия исследования культуры, 2012. — 216 с.: ил.

В своей работе проф. Мухтар Абдуев описывает решение застарелой проблемы, которая имеет огромное значение для обеспечения продовольственной безопасности Азербайджана.

Задача состояла в том, чтобы найти наиболее эффективные методы мелиорации засоленных почв, которыми покрыты более 60% низменностей Азербайджанской Республики. Проф. Абдуев, как правило, применял практический научный подход, исследуя различные методы обессоливания и их эффект на почвы и зерновые культуры, выращиваемые на них.

Книга адресована специалистам по землепользованию, практикам и организаторам сельскохозяйственного производства.

ББК 40.6

Издатели этого труда профессора Мухтара Абдуева сохранили в авторском тексте книги реалии времени ее издания (1968 г). В этой связи просим читателей обратить внимание на следующее:

- Азербайджанская ССР ныне называется Азербайджанская Республика;
- Академия наук Азербайджанской ССР ныне называется Национальная Академия Наук Азербайджана.

ISBN 978-9952-453-08-9

3702040000
655(07)-2012

© Абдуев М., 2012

© Издательство «АИК», 2012

© Издательство “Эльм”, 2012

Содержание

ВВЕДЕНИЕ	5
ГЛАВА I. ПРИРОДНЫЕ И ПОЧВЕННО-МЕЛИОРАТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ РАВНИННЫХ ТЕРРИТОРИЙ	7
ГЛАВА II. СОСТОЯНИЕ ОЗДОРОВЛЕНИЯ ЗАСОЛЕННЫХ ПОЧВ НИЗМЕННОСТЕЙ АЗЕРБАЙДЖАНА	16
ГЛАВА III. ПОЧВЕННО-ГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ЧАСТКОВ ПОЛЕВЫХ ОПЫТОВ ПО МЕЛИОРАЦИИ ЗАСОЛЕННЫХ ПОЧВ С НИЗКОЙ СОЛЕОТДАЧЕЙ	22
ГЛАВА IV. ПРОМЫВКА ПОЧВ ВОДОЙ	34
ГЛАВА V. ПРОМЫВКА ПОЧВ С ПРИМЕНЕНИЕМ ГИПСА	63
ГЛАВА VI. ПРОМЫВКА ПОЧВ ПРИ СОВМЕСТНОМ ПРИМЕНЕНИИ ГИПСА И НАВОЗА	84
ГЛАВА VII. ПРОМЫВКА ПОЧВ С ПРИМЕНЕНИЕМ СЕРНОЙ КИСЛОТЫ	111
ГЛАВА VIII. ПРОМЫВКА ПОЧВ С ПРИМЕНЕНИЕМ ОРГАНО-ГИПСОВОЙ СМЕСИ	135
ГЛАВА IX. ПРОМЫВКА ПОЧВ С ПРИМЕНЕНИЕМ ОРГАНО-МИНЕРАЛЬНОГО ПОДКИСЛИТЕЛЯ.....	156
ГЛАВА X. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПОВЫШЕНИЮ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИЕМОМ МЕЛИОРАЦИИ ЗАСОЛЕННЫХ ПОЧВ С НИЗКОЙ СОЛЕОТДАЧЕЙ	192
ЛИТЕРАТУРА	204

ВВЕДЕНИЕ

Низменности Азербайджана занимают важное место в экономике республики. Здесь размещены основные районы хлопководства республики. Большие площади выделены также под зерновые культуры и виноградарство. Кроме того, они представляют собой интереснейший объект в природном и мелиоративном отношении.

Мелиорация засоленных почв, как известно, — один из главных факторов интенсификации сельского хозяйства. И поэтому не случайно, что ЦК КПСС посвятил развитию мелиорации в нашей стране ряд специальных пленумов (майский 1966 г., июльский 1970 г.). Вопросы мелиорации в нашей стране остро поставлены и в решениях XXV съезда КПСС. Наличие высокого засоления в почвогрунтах и грунтовых водах низменностей Азербайджана чрезвычайно препятствует развитию здесь ирригации и освоения земель.

Подсчёты показывают, что почвы, нуждающиеся в коренной мелиорации в Азербайджане, занимают более 60% территории низменностей республики. Около 2,5 млн. га этих земель трудномелиорируемые, что обусловлено тяжелым механическим составом, нередко высокой солонцеватостью и низкой водопроницаемостью почв. При оздоровлении этих земель обычно применяются большие промывные нормы воды, нередко превышающие 70–100 тыс.м³ на 1 га земель, частая и глубокая (более 3 м) дренажная сеть с междренными расстояниями 100 м и меньше. Промывка и опреснение солончаков иногда затягивается на 8–10 лет. Всё это сильно повышает стоимость мелиоративных работ (более чем в 5–6 раз) и на несколько лет задерживает освоение солончаков под сельскохозяйственные культуры.

Солончаки с аналогичными мелиоративными свойствами широко распространены в Сиязань-Сумгаитском массиве, Карабахской, Ширванской, Сальянской степях, в Южной Мугани и других массивах Азербайджана.

Острая потребность сельского хозяйства в расширении посевных площадей и резком повышении урожайности сельскохозяйственных культур настоятельно требует изучения основных закономерностей режима, механизма миграции солей, физико-химических и водно-физических особенностей трудномелиорируемых засоленных почв и разработки научных основ коренной мелиорации, направленной на резкое ускорение промывки и освоение этих земель.

В связи с этим мы решили в условиях производственных опытов исследовать и разработать способы ускоренного оздоровления трудномелиорируемых солончаков в Азербайджане.

С целью более обоснованного решения поставленной задачи мы осуществляли комплексные исследования на трудномелиорируемых глинистых солончаках Карабахской степи, заключающиеся в изучении солеотдачи, дифференциации и сопряженности солевых масс, изменения физико-химических и водно-физических свойств почв и производительности промытых разными способами почв путём выращивания в вегетационных и полевых условиях сельскохозяйственных (хлопчатник, ячмень, рис) и кормовых (горох кормовой) культур.

Полевые исследования выполнялись под руководством и при непосредственном участии автора. В осуществлении полевых работ участвовали аспиранты В.А.Ахмедов, Н.К.Микаилов и, частично, Т.Г.Назаров и А.М.Кулиев. Анализы почв выполнены младшими научными сотрудниками Ш.И.Джавадзаде, Н.Д.Исмаиловой и Р.Г.Аслановой. Подсчеты произведены инженером С.Г.Искендеровой. Всем им автор приносит свою глубокую благодарность.

ГЛАВА I

ПРИРОДНЫЕ И ПОЧВЕННО-МЕЛИОРАТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ РАВНИННЫХ ТЕРРИТОРИЙ

Низменную зону Азербайджана в геоморфологическом отношении можно рассматривать как бывший обширный мелководный залив Каспийского моря, который существовал еще в доисторическое время. Сейчас эта часть республики характеризуется как равнина, образованная аллювиально-пролювиальными конусами, вложенными в делювиально-пролювиальные террасы. Между конусами существует более или менее заболоченные «контактные» депрессии, а периферия конусов переходит в общую шлейфовую равнину. Центральная область Кура-Араксинской низменности представляют собой аллювиальную равнину, сформированную аккумулятивной деятельностью Куры и Аракса. Замкнутые депрессии, или так называемые «чалы» и гривы, являются основными формами мезорельефа аллювиальной равнины.

Низменная территория республики имеет сухой субтропический климат, где испаряемость (1000–1100 мм) в значительной степени превышает годовую сумму атмосферных осадков (200–300 мм). Климатические условия способствовали развитию здесь полупустынной ассоциации как зонального типа растительности. Широко распространены карганная, қарганно-полынная и эфемеровая группировки растительности, отличающиеся глубокой укореняемостью, малой листовой поверхностью, высоким осмотическим давлением, сильной минерализацией клеточного сока. Некоторые виды способны выделять соль через листья.

Зеркало грунтовых вод, в общем, следуя за рельефом, увеличивается по направлению от предгорной к центральной части низменности. При этом, если в зоне подгорных делювиальных

равнин грунтовые воды отсутствуют или же залегают столь глубоко (глубже 10–20 м), что испарение их почти не происходит, в связи с чем они не являются постоянно действующим фактором в почвообразовательном процессе и не оказывают воздействия на водно-солевой режим почв, то по мере движения к центральной части низменности роль испарения постепенно повышается и становится господствующим фактором в почвообразовательном процессе.

Таким образом, отмеченные условия и сложная история формирования ландшафта низменности Азербайджана, стали причиной формирования большого разнообразия почв. Анализ литературных данных и результаты наших исследований показали, что для низменностей Азербайджана характерно наличие каштановых, серо-бурых, сероземных, луговых, заболоченных почв и их примитивных разностей, частотакыровидных и отакыренных почв. Среди них широко распространены почвы с признаками высокой солонцеватости и засоленности.

Процессы соленакопления в почвах и грунтовых водах низменностей Азербайджана рассматривались многими исследователями, но по этому вопросу существуют разные концепции, согласно которым источником поступления солевых масс в низменности Азербайджана служили грунтовые воды предгорий, приносящие с собой в растворённом виде продукты выветривания коренных пород (Саваренский, 1929), речные воды и их фильтрационные потоки (Саваренский, 1929; Захаров, 1935; Приклонский, 1946), морские воды (Волобуев, 1945; Абдуев, 1966), существующий вековой геохимический поток солевых растворов от гор к низменности (Ковда, 1954), интенсивное испарение (Егоров, 1959) и поверхностные делювиально-пролювиальные воды (Абдуев, 1965, 1968).

В.Р.Волобуев (1948, 1965), рассматривая системы и химизм миграции галофилов для почв Азербайджана, установил генезис и географию форм солевой миграции. Для почв Кура-Араксинской низменности им выделено 11 форм засоления почв: элювиальная, дефляционно-аккумулятивная, делювиальная, пролювиальная, конусовая, аллювиальная, долинная, приморская, приболотная, глубинно-напорная и сопочная.

Действительно, процесс засоления почв в Азербайджане протекал по-разному, поэтому здесь отмечены различные формы засоления, характерные даже для одного вида почвы.

Таким образом, природные особенности низменностей Азербайджана привели к созданию большого разнообразия почвенно-мелиоративных условий и в связи с этим — к созданию различных мелиоративных типов земель. Для проектирования и осуществления углублённо разработанных систем мелиоративных мероприятий в республике (В.Р.Волобуев, 1951, 1956, 1965) необходимо остановиться на рассмотрении генетических и мелиоративных особенностей почв трёх крупных мелиоративных типов земель, занимающих основную территорию низменностей и являющихся главным объектом ирригации и мелиорации земель Азербайджана: 1) делювиальных и делювиально-пролювиальных равнин, 2) речных конусов выноса и 3) аллювиальных равнин.

Особенности почв делювиальных и делювиально-пролювиальных равнин

Подробная характеристика природных условий (генезис, география, режим засоления) и мелиоративных особенностей этого типа земель представлена нами в специальной монографии (М.Р.Абдуев, 1968). В данной работе мы останавливаемся на этом лишь для того, чтобы выявить специфику почвенно-мелиоративных условий этого типа земель.

Почвы делювиальных равнин формируются под влиянием поверхностного делювиального и делювиально-пролювиального стока в условиях отсутствия связи с грунтовыми водами. Воды делювиальных потоков отлагают на поверхности делювиальных склонов, особенно в их шлейфовой зоне, тонко отмученный материал, что вызывает непрерывное омолаживание верхнего горизонта почв. Концентрирование солей в верхних слоях почв при этом связано, с одной стороны, с привносом солей с вышележащих участков, а с другой — с перераспределением солей внутри почвенного профиля.

Наибольшая площадь земель делювиального происхождения приурочена к Ширванской, Мильско-Карабахской степям, Кировабад-Газахскому (ныне Гянджа-Газахскому. — *Прим. ред.*)

и Сиязань-Сумгаитскому массивам. Немалую площадь эти почвы занимают и в юго-восточных предгорьях Кобустана (Гобустана), в Нахичеванской АССР (ныне Нахичеванской Автономной Республики. — *Прим. ред.*), в пределах Джейранчельского массива, в Приараксинской полосе и даже в Ленкоранской области. В условиях Азербайджана площадь этих земель составляет более одной трети (1 млн. 100 тыс. га) общей площади равнинной части республики.

Почвы делювиальных и делювиально-пролювиальных равнин отличаются плохими химическими, физическими и физико-химическими свойствами: сильной засоленностью, высокой солонцеватостью, тяжелым механическим составом, большой плотностью, сравнительно слабой оструктуренностью и скважностью и весьма низкой водопроницаемостью. В пределах делювиальных склонов и отдельных массивов подгорных равнин наблюдается довольно значительное и закономерное варьирование этих признаков, что даёт нам возможность выявить специфические особенности почв четко выраженных местных зон: верхней (солесборной зоны), средней (зоны транзита солей) и шлейфовой (зоны аккумуляции солей).

Характерно, что при общем тяжелом механическом составе почв делювиально-пролювиальных равнин выявляется вполне выраженная закономерность в его изменении в зависимости от уклона местности. В схеме механический состав почв становится более тонким в направлении к шлейфу делювиальных равнин. В верхней зоне делювиальных равнин почвы преимущественно суглинистые. В средней зоне механический состав почв становится легкоглинистым, а в шлейфовой зоне — тяжелоглинистым. В этом же направлении отмечается увеличение содержания илистой фракции и снижение степени оструктуренности почв, что свидетельствует о микроагрегатном составе и значении фактора дисперсности почв. Фактор дисперсности верхнего полуметрового слоя почв колеблется в пределах 50–60% (Сиязань-Сумгаитский массив) и 60–100% (Кюровадагский массив), что указывает на непрочность микроагрегатов. На наш взгляд, это можно связать с солонцеватостью почв. По содержанию поглощённого натрия солонцеватость этих почв составляет 15–20% от суммы поглощённых оснований в верхних зонах равнин и 30–40% и более в почвах шлейфов, где главным образом развиты корковые солонцы.

Характерной особенностью почв делювиальных равнин является накопление максимума солей на определённой (в общем, небольшой) глубине в зависимости от уклона местности. Так, содержание солей в верхнем метровом слое почв верхней зоны равнин составляет в среднем 0,3–0,5%, в то время как в шлейфовой части склонов 2–3%. Слой максимального соленакопления в верхней зоне равнин приурочен к большим глубинам (60–120 см), чем в зоне шлейфа (10–15 см). Большое различие в содержании солей отмечается как в слое вымывания солей, так и опресненном верхнем слое. Содержание солей в опресненном верхнем слое почвы верхней зоны составляет 0,1–0,2%, а в этом же слое шлейфовой части — 1–2%. Количество солей в слое их максимального содержания в верхней зоне равнин почти соответствует солесодержанию в так называемом опресненном слое шлейфовой зоны. Что касается солевого состава, то делювиальные почвы богаты натриевыми солями почти во всех частях равнин: при гидрокарбонатном составе солей — в верхней зоне, при сульфатном — в средней и при хлоридном — в шлейфовой зоне.

Из физических констант для почв делювиальных равнин Азербайджана характерны высокие значения объёмного веса. Для шлейфовой части равнин значения объёмного веса в слое почвы 0–1 м оказываются весьма высокими и варьируют в пределах 1,5–1,6. В более высоко расположенной части массива объёмный вес уменьшается до 1,1–1,2. Соответственно с этим изменяется и порозность почв. Повышенными показателями порозности в пределах первого метра (55–60%) обладают почвы верхней части делювиальных равнин. По направлению к шлейфовой части порозность уменьшается до 50–45%.

Из водных свойств почв исследованы гигроскопическая и максимально гигроскопическая влага, коэффициент увядания растений, максимальная молекулярная влагоемкость и коэффициент фильтрации и отмечено последовательное их ухудшение по направлению к шлейфовой части делювиальных равнин. В этом отношении весьма показательны материалы исследований фильтрационной способности почв. В серо-бурых почвах, распространённых на большей части верхней зоны делювиальных равнин, коэффициент фильтрации в первый час опытов редко достигает до

0,08 мм/сек, а, в основном, колеблется в пределах 0,04–0,05 мм/сек. В почвах же шлейфовой части склонов, этот показатель не превышает 0,01 мм/сек. В течение опыта водопроницаемость прогрессивно падала, уменьшалась в несколько раз. Характерно, что отмеченная последовательность изменения водных свойств почв прослеживалась в почвах всех исследованных нами массивов, однако, их выраженность была неодинаковой. Так, физические, а следовательно, и водные свойства ухудшаются от почв делювиальных склонов Мильской подгорной равнины к почвам Кюровадзского, Хараминского, Боздагского и Сиязань-Сумгаитского массивов.

Таким образом, физические и водные свойства почв делювиальных равнин Азербайджана, в общем, неблагоприятны. Приведённые специфические особенности механического состава и физических свойств, строения солевого профиля, широко распространённая солонцеватость и другие качества засоленных почв делювиальных и делювиально-пролювиальных равнин требуют сложного сочетания систем мелиоративных мероприятий.

Особенности почв речных конусов выноса

В низменных районах Азербайджана большое распространение получили почвы речных конусов выноса. Фактором миграции солей в этих почвах являются внутриконусовые грунтовые воды, имеющие сток от более высоко расположенных участков конуса вниз по уклону к более периферическим и обычно пополняемым за счет оросительных вод. В этот процесс общей направленности перемещения солей к периферическим частям конуса, как отмечает В.Р.Волобуев (1965), могут вовлекаться слои в почвенной толще, перемещённые в грунтовые воды нисходящими токами влаги.

По почвенно-мелиоративным особенностям районы речных конусов выноса также делятся на три генетические зоны: привершинную, зону выклинивания и зону шлейфа речных конусов выноса (Волобуев, 1965). В привершинной зоне механический состав почв и грунтов наиболее лёгкий (в основном, песчаный и супесчаный, а в межгрядных ложбинах — суглинистый). Почвы высокоплодородные, незасоленные или слабозасоленные. Грунтовые воды пресные (менее 2 г/л), залегают глубоко. В зоне выклинивания почвы, хотя несколько и утяжеляются, однако механический

состав их остается тем же (песчаный и суглинистый). Грунтовые воды, залегающие в основном неглубоко от поверхности земли и местами выклинивающиеся в виде родников, по большей части пресные или слабоминерализованные. Здесь, как и в предыдущей зоне, грунтовые воды имеют вполне достаточный отток и потому во многих случаях даже при близком залегании к поверхности (менее 1 м) не способствуют засолению почв. В Восточной Ширвани в зоне выклинивания грунтовые воды сильно минерализованы (40–60 г/л), что способствует катастрофически сильному засолению почв. В ряде случаев, в частности, в межконусовых депрессиях Ширванской степи, почвы склонны к коркообразованию при орошении.

Зона шлейфа речных конусов выноса резко отличается от предыдущих зон. Здесь широко распространены почвы с глинистым механическим составом, склонные к коркообразованию часто сильнозасоленные и солонцеватые. Грунтовые воды, хотя и залегают здесь несколько глубже, чем в зоне выклинивания, однако при наличии сильной минерализации (50–100 г/л) способны подтягиваться к поверхности и при испарении сильно засолять почвы.

Как видно из сказанного, районы речных конусов выноса требуют особого подхода для каждой части этого геоморфологического региона при ирригационно-мелиоративном освоении территории. Так, если почвы привершинной зоны в силу отсутствия засоления и солонцеватости не нуждаются в мелиорации, то в зоне выклинивания, хотя и локально, необходимо осуществление ряда мероприятий по оздоровлению засоленных и солонцеватых земель. В шлейфовой же зоне требуется применение сложных мелиоративных систем, включающих не только промывку и строительство глубокой коллекторно-дренажной сети, но и ряда других мероприятий.

Особенности почв аллювиальных равнин

Аллювиальные равнины республики имеют более отличительные условия почвообразования. Главным фактором миграции солей здесь являются застойные грунтовые воды, залегающие неглубоко от поверхности земли.

По описанию В.Р.Волобуева (1965), в этом регионе довольно ясно различаются аллювиальные равнины с угасающей

аккумуляцией, когда уже прекратилось питание грунтовых вод за счет поверхностных поступлений речных вод, и молодые аллювиальные равнины с современной аккумуляцией речных разливов. При этом, если в первых господствует капиллярное засоление в прогрессирующем проявлении, то во вторых участках, подверженные капиллярному засолению, встречаются наряду с участками с промывным режимом увлажнения.

Наличие очень слабого общего стока солей за пределы массива или его практическое отсутствие способствовали неблагоприятному солевому балансу, когда солевые запасы в почвенно-грунтовой толще из года в год возрастают.

Почвы этого региона, помимо сильной засоленности, во многих случаях отличаются и высокой солонцеватостью, что наряду с тяжелоглинистым механическим составом почв, имеющим часто слитой характер, обусловили довольно низкую их водопроницаемость и плохую окультуренность. Сочетание этих весьма неблагоприятных факторов в аллювиальных равнинах создало очень трудные мелиоративные условия.

Таким образом, как показали результаты исследований в указанных регионах, почвенно-мелиоративные условия низменностей Азербайджана довольно разнообразны, поэтому мероприятия по мелиорации засоленных почв здесь должны осуществляться исходя из природных условий и быть направлены на оздоровление почв и повышение их плодородия. При этом как основная задача выдвигается дифференцированный подход к мелиорации отдельных геоморфологических и почвенно-мелиоративных регионов. В данном случае, как показали характеристики отдельных мелиоративных типов почв, лишь на очень небольшой площади низменностей Азербайджана мы можем ограничиться применением обычной промывки на фоне коллекторно-дренажной сети и добиться эффекта по мелиорации. Это, в частности, относится к почвам привершинной зоны и, частично, зоны выклинивания грунтовых вод речных конусов выноса. Для остальных же территорий низменностей Азербайджана для засоленных почв регионов делювиально-пролювиальных равнин, шлейфов речных конусов выноса и аллювиальных равнин (участки затухания современной аккумуляции и межгрядных пространств) проведения

только этих мероприятий будет недостаточно для практического оздоровления земель. Коренная мелиорация засоленных земель требует разработки таких систем мелиоративных мероприятий, которые были бы направлены, прежде всего, на резкое улучшение физико-химических и водно-физических свойств почв, способствующих значительному повышению эффективности промывки и ускорению оздоровления засоленных земель. Такие земли широко распространены, главным образом, в Сиязань-Сумгаитском массиве, в Ширванской и Сальянской степях, в Южной Мугани, в Карабахской степи и в нижней части Мильской степи, где грунтовые воды высоко минерализованы, залегают неглубоко от поверхности земли, а почвы сильно засолены, осолонцованы, диспергированы и большей частью имеют глинистый механический состав и довольно низкую водопроницаемость.

ГЛАВА II

СОСТОЯНИЕ ОЗДОРОВЛЕНИЯ ЗАСОЛЕННЫХ ПОЧВ НИЗМЕННОСТЕЙ АЗЕРБАЙДЖАНА

Вопрос промывки и освоения засоленных земель в условиях Кура-Араксинской низменности привлекал внимание многих исследователей. Организация же непосредственных полевых исследований по проведению опытных и вообще промывок засоленных земель в Азербайджане началась совсем недавно, после 1930 г., и осуществлялась, в основном, в трех пунктах: на Муганской опытной станции (Джафархан), в Юго-Восточной Ширвани (совхоз Кара-Чала) и Южной Мугани. Благодаря работам на указанных объектах в настоящее время накоплен богатый опытный материал и сделаны важные выводы.

Результаты работ широко освещены в литературе (Н. А. Беседнов, 1935, 1939, 1955, 1957; А. А. Шошин, 1936, 1937, 1940, 1954, 1955; М. В. Курушин, 1940, 1941; В. Р. Волобуев, 1941, 1948, 1960; В. А. Ковда, 1946; А. Г. Морозов, 1962, и др.). В последнее время масштаб опытно-исследовательских работ в этом направлении заметно расширился. В Сальянской степи проведен опыт промывки засоленных земель в условиях сочетания мелкого дренажа с глубоким (М. С. Нунупаров, 1954) и отмечен положительный результат в отношении ускорения отвода грунтовых вод, выноса солей и рассоления почвогрунтов. Расширилась сеть опытно-исследовательских работ и по всей Кура-Араксинской низменности, являющейся объектом широкой мелиорации. Заложены опытно-дренажные участки в Ширванской (А.К.Ахундов, К.Г.Теймуров, 1958) и Карабахской степях (Минводхоз МСХ СССР, Институт почвоведения и агрохимии АН Азерб.ССР, АзНИИГиМ), возобновлены работы в Южной Мугани (АзНИИГиМ).

Обобщающие работы, подводящие итоги проведенных опытных исследований по мелиорации и освоению засоленных земель в условиях Средней Азии и Азербайджана на фоне коллекторно-дренажной сети (В.С.Малыгин, 1939; Н.А.Беседнов, 1935, 1953; В.Р.Волобуев, 1948, 1960; А.К.Бехбудов, 1951; В.М.Легастаев, 1952; 1953; А.А.Шошин, 1954; С.И.Долгов и В.Ф.Сухенко, 1954; И.С.Рабочев, 1950, 1962; И.С.Рабочев и Г.Е.Ефимов, 1955; М.С.Нунупаров, 1954, 1958; И.К.Пенской, 1955; П.А.Керзум, 1958; А.К.Ахундов, 1968, и др.) показали высокую эффективность дренажа в отношении рассоления почвогрунтов. В настоящее время общая протяженность коллекторно-дренажной сети в Азербайджане составляет около 7 тыс. км, что способствовало значительному улучшению водного режима и мелиоративному состоянию земель. Достаточно сказать, что сейчас в Азербайджане орошается более 1 млн га земель, т. е. в 1,5 раза больше, чем в довоенный период.

Построенная коллекторно-дренажная сеть является базой для активной борьбы с засолением почв. В настоящее время около 250 тыс. га земель республики обеспечено коллекторно-дренажной сетью. Последняя способствовала отводу в Каспийское море за год в среднем около 1,5 млрд м³ соленых вод, содержащих примерно 10–12 млн т солей.

Мелиоративные условия Кура-Араксинской низменности и осуществленная промывка засоленных земель намного улучшила мелиоративное состояние почв отдельных участков. На сегодня большие площади опреснены и освоены под сельскохозяйственные культуры, что позволило увеличить общую орошаемую площадь в Северной Мугани, в Сальянской степи и Юго-Восточной Ширвани в 2,8–3,0 раза.

Вместе с тем необходимо отметить, что отсутствие дифференцированного подхода к мелиорации ирригационно подготовленных земель сильно снижало эффект осуществляемых на низменностях мелиоративных мероприятий. Об этом свидетельствуют результаты проводимых промывок на отдельных массивах Азербайджана.

На территории конуса выноса р.Геокчай Ширванской степи осуществлялось пять опытов по промывке засоленных почв (Т.А.Мамедов, 1970), из которых три были заложены в зоне выклинивания, в средней части конуса выноса, а два — в зоне

рассеивания грунтовых вод (в шлейфе речных конусов выноса). По данным Т.А.Мамедова (1970), в первом опыте почвы с содержанием солей в метровом слое 3,58% (472 m/ga) при норме промывки 8250 m^3/ga рассолились более чем наполовину (до 1,79% или на 52,6% от исходного запаса солей).

Во втором опыте содержание солей при норме промывной воды 28830 m^3/ga в метровом слое снизилось с 3,15 до 1,12% или на 64,5%. В третьем опыте после промывки нормой 16000 m^3/ga удалось опреснить, в основном, пахотный слой почв. Солеосодержание в метровом слое уменьшилось на 47,8%. В четвертом и пятом опытах засоления в метровом слое при норме промывки 20000 m^3/ga снизилось с 3,34 до 1,46%, или на 57,2%, а при норме 23100 m^3/ga — с 3,0 до 0,97%, или на 68,0% от исходного запаса солей.

В опытах А.А.Шошина (1936, 1940, 1954), осуществленных на территории Муганской опытно-мелиоративной станции, где почвы обладают высоким коэффициентом фильтрации, применялась промывная норма около 80 тыс. m^3/ga , что привело к опреснению толщи почвогрунтов и грунтовых вод с 39,7 до 0,58–5,54 $г/л$.

Несколько хуже результаты получены в опытах А.А.Шошина (1937), выполненных в Юго-Восточной Ширвани (совхоз Кара-Чала). Здесь при норме промывки 10000–12500 m^3/ga удалось рассолить почвы с содержанием солей 3% до 60% от исходного запаса солей.

В Южной Мугани, где почвы имеют очень низкий коэффициент фильтрации (менее 0,2–0,5 $m/сутки$), опытные промывки также не дали желаемых результатов. По данным Н.С.Самохвалова (1940), осуществленная здесь промывка при норме 3400–25000 m^3/ga при наличии мелкой загущенной дренажной сети обеспечивала дренажный сток только на 27% и вынос солей в пределах 13,7–51,7% от исходного запаса. Остаточное засоление составляло в метровом слое 1,12–2,73% по плотному остатку, а полуметровом слое — 0,84–1,71%.

На трудности, связанные с промывкой почв Южной Мугани, указывали также А.Т.Морозов и И.А.Верниковская (1954), основываясь на результатах лабораторных опытов. Они отмечали, что главная задача мелиорации почв Южной Мугани заключается в улучшении фильтрационных свойств почв, придании им

равномерности и мобилизации запасов гипса, а не в усилении дренажа.

Опытами же Х.Ф.Джафарова (1963) показано, что в условиях Южной Мугани при расстояниях между дренами 100 и 200 м и средней глубине первичных дрен 3 м наиболее эффективной является норма промывки 15–20 тыс. $\text{м}^3/\text{га}$, обеспечивающая раскисление корнеобитаемого слоя (0–100 см) почв. Однако, при этом наблюдается значительное повышение общей щелочности (до 0,13%), рН (9,0) и поглощенного натрия (до 20–25% от емкости).

Увеличение содержания общей щелочности и нормальных карбонатов после промывки обнаружилось и в опытах в Мильско-Карабахской степи при междреннем расстоянии 100, 200 и 400 м (Т.И.Шпанин, 1956).

Интересные исследования по промывке засоленных почв на аллювиальной равнине Ширванской степи проведены М.Я.Агамировым (1954), А.К.Ахундовым и К.Г.Теймуровым (1960). Опытами последних двух авторов установлено, что продолжительность мелиорации засоленных земель в условиях Ширванской степи для слабо- и средnezасоленных почв составит примерно 5 лет, а для сильнозасоленных почв и солончаков — 7–9 лет.

Аналогичные результаты получены в опытах, осуществленных на делювиальных равнинах Сиязань-Сумгаитского массива, Юго-Восточной Ширвани и в Карабахской степи (М.Р.Абдуев, 1959, 1968, 1979). Здесь норма промывки 1200 $\text{м}^3/\text{га}$ даже при наличии густой дренажной сети с расстоянием между дренами 200 м не только не рассолила метровый слой почв, а, наоборот, способствовала некоторому накоплению солей в поверхностных горизонтах почв, что объясняется диффузией солей и испарением капиллярно-подвешенной влаги при довольно низком коэффициенте фильтрации воды (М.Р.Абдуев, 1962, 1965).

Таким образом, результаты исследований по промывке почв низменностей Азербайджана показали, что засоленные почвы республики в большинстве случаев очень трудно рассолятся обычной промывкой и требуют применения более эффективных систем мелиоративных мероприятий.

Для повышения эффективности промывки трудномелиорируемых солончаков многие исследователи рекомендовали учащение

коллекторно-дренажной сети и резкое увеличение нормы промывки. Однако, как усматривается из приведенных данных, эти мероприятия не всегда являются кардинальными приемами в повышении эффективности промывки трудномелиорируемых засоленных почв. Отсюда можно сделать заключение, что для разработки и рекомендации наиболее эффективных приемов мелиорации почв с низкой солеотдачей, прежде всего, необходимо исходить из условий формирования самих почв и найти причину, обуславливающую трудности мелиорации.

В результате долговременных исследований, нами установлено, что затрудненность промывки засоленных почв делювиальных и аллювиальных равнин, а также шлейфов речных конусов выноса связана, с одной стороны, с наличием высокой солцеватости, а с другой — с тяжелым механическим составом и высокой дисперсностью почв, которые способствуют очень низкой водопроницаемости их и незначительной водоотдаче. Поэтому при промывке в почву впитывается лишь незначительная часть поданной воды и вследствие набухания почв впитывание воды в почву быстро прекращается, что сильно осложняет солеудаление. В связи с этим применять при рассолении почв большие промывные нормы не имеет смысла. Нельзя забывать, что если почвы не фильтруют воду или фильтруют ее довольно слабо, то любое увеличение норм промывной воды да и сгущение дренажной сети не может ускорить процесса рассоления почв. При подаче повышенной нормы промывной воды большая часть ее, не профильтровавшись в почву, испаряется с поверхности. Обилие воды в этом случае не только не обеспечивает рассоления почвы, но наоборот, способствует реставрации засоления, сильному затягиванию срока оздоровления засоленных почв, ненужному расходованию лишней оросительной воды. И главное — все это удорожает стоимость мелиоративных работ.

Мелиорация засоленных почв с низкой солеотдачей в настоящее время является одной из основных проблем, стоящих перед мелиораторами не только нашей страны, но и всего мира. Анализ результатов многолетних полевых производственных и экспериментальных опытов дал возможность установить, что при мелиорации трудномелиорируемых глинистых низкофильтруемых солончаков надо применять такую систему мелиоративных

мероприятий, которая бы, в первую очередь, была направлена на улучшение водно-физических свойств, в частности, водопроницаемости почв, а следовательно, на ускорение процесса выщелачивания и удаления легкорастворимых солей из почвы.

Цель настоящей работы — опытным путем изыскать способы ускоренного оздоровления засоленных почв с низкой солеотдачей.

ГЛАВА III

ПОЧВЕННО-ГИДРОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ УЧАСТКОВ ПОЛЕВЫХ ОПЫТОВ ПО МЕЛИОРАЦИИ ЗАСОЛЕННЫХ ПОЧВ С НИЗКОЙ СОЛЕОТДАЧЕЙ

Теория и практика промывки засоленных почв с высокой солеотдачей хорошо освещены в литературе (Федоров, 1924; Беседнов, 1935, 1959; Малыгин, 1934, 1938; Музычук, 1936, 1939; Морозов, 1935, 1962; Астапов, 1963; Волобуев, 1941, 1948, 1960, 1965; Ковда, 1946, 1954, 1960; Рабочев, 1953, 1962; Легостаев, 1953; Аверьянов, 1965 и др.). Вопросы же оздоровления засоленных, с нейтральными солями почв с низкой солеотдачей разработаны слабо.

Мелиорация земель — дело сложное и при ее осуществлении приходится иметь дело с процессами, протекающими с весьма различной длительностью и направленностью. Эти процессы особенно сильно проявляются в засоленных почвах с низкой солеотдачей. Вопросами разработки методов по повышению эффективности промывки почв с низкой солеотдачей и предотвращению явления реставрации засоления и осолонцевания почв при промывке мы занимались в последние 20 лет. Полевые исследования по опытным промывкам мы организовали так, чтобы осветить наиболее важные вопросы, на основании которых можно было бы установить общие закономерности по повышению эффективности промывных норм и степени солеотдачи трудномелиорируемых засоленных почв. Поэтому, в качестве объектов полевых исследований для опытных промывок были выбраны участки, характерные для всех массивов низменностей Азербайджана, содержащих почвы с низкой солеотдачей.

Под опытные промывки были выделены почвы с относительно малым, средним и сильным засолением и солончаки. Следовательно, были охвачены все градации засоленности почв.

Полевые исследования по опытным промывкам проводились на Сиязань-Сумгаитском, Кюровадагском массивах и Боздагской подгорной равнине. Производственная проверка результатов этих исследований была осуществлена в Карабахской степи.

Результаты опытных исследований перемещения солевых масс при промывке засоленных почв с низкой солеотдачей освещены нами в специально опубликованной монографии (М.Р.Абдуев, 1968), поэтому в предлагаемой работе мы остановимся, главным образом, на характеристике данных, полученных при производственной промывке в Карабахской степи.

Выбор объекта для производственной промывки в Карабахской степи Азербайджанской ССР объясняется тем, что участок этот, занимающий большую площадь (6 тыс. га) в Евлахском районе, был подготовлен для мелиоративного оздоровления и образцового освоения под сельскохозяйственные культуры. Здесь была построена лотковая оросительная сеть (впервые в Азербайджане), закрытая дренажная система (с открытыми водосборами) с междренными расстояниями 200 м и глубиной дрен 2,5–3 м (дрены присоединялись к коллектору).

В осенне-зимний период 1966–1967 гг. этот участок согласно указанию Министерства мелиорации и водного хозяйства Азербайджанской ССР был промыт обычным способом промывки с водоподачей 9–10 тыс. м³/га.

Послепромывная солевая съемка характеризуемого участка показала, что осуществленная промывка не только не смогла опреснить или же рассолить почву, а, наоборот, способствовала реставрации засоления в поверхностных горизонтах почв, что как уже было сказано (М.Р.Абдуев, 1959, 1962, 1966, 1968), является одной из специфических особенностей почв с низкой солеотдачей. Это обстоятельство вызвало тревогу у работников Министерства мелиорации и водного хозяйства и Министерства сельского хозяйства Азербайджанской ССР. Учитывая это и с целью производственной проверки результатов наших ранних мелкоделяночных опытов, мы нашли нужным выбрать производственный опытный участок на территории данного массива.

Под опытную промывку был выделен участок площадью 50 га, расположенный метрах в двухстах от Верхне-Карабахского кана-

ла между двумя закрытыми дренами и водосбором, т.е. охватывает территорию между тремя дренами. Западной границей этого участка служит лотковый ороситель, а восточной — водосбор. Южная часть опытного участка примыкает к главному оросителю экранированным гравийно-цементным покрытием (рис. 1). Участок очерченной территории характеризуется следующими дан-

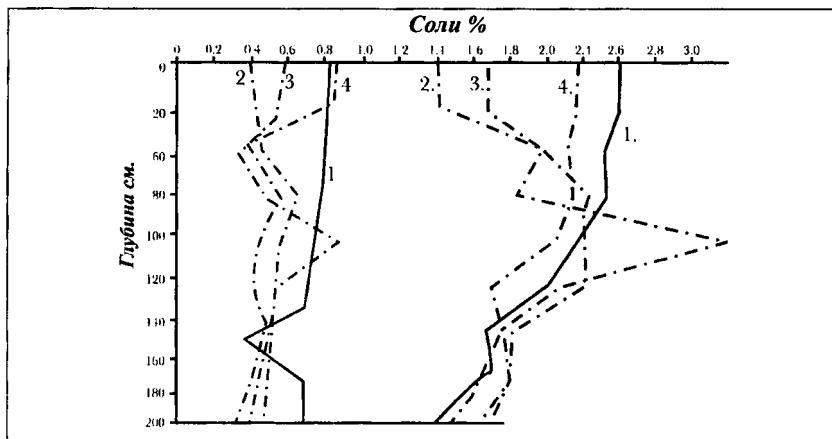


Рис. 1. Характер выщелачивания солей при промывке почв без применения химических мелиорантов: 1 — исходное содержание солей по хлору; 11 — то же по плотному остатку; 2 — содержание солей по хлору после I промывки; 21 — то же по плотному остатку; 3 — содержание солей по хлору после II промывки; 31 — то же по плотному остатку; 4 — содержание солей по хлору после III промывки; 41 — то же по плотному остатку

ными: поверхность слабонаклонного участка почти лишена растительного покрова. Встречаются лишь единичные кустики лебеды и многолетней солянки (всего на участке можно было сосчитать несколько экземпляров). На древних суглинистых аллювиальных отложениях Инджачая, покрытых глинистыми делювиальными наносами, сформированы почвы довольно примитивного облика (примитивно-сероземные глинистые солончаки, или так называемые шоры). Примитивность данных почв довольно четко проявляется морфологической характеристики их. Профиль почв монотонен, трудно различаются генетические горизонты. В связи со сравнительно близким залеганием грунтовых вод (2,5–3,5 м) почвенный профиль насыщен влагой, что намного усиливает его

монотонность. Примитивность опытных почв подтверждается также данными химических анализов*.



Рис. 2. Образец системы орошения мелиорируемой территории

* Аналитические данные по общей характеристике почв (гумус, карбонаты, гипс и данные по физическим свойствам почв) принадлежат руководимому мною аспиранту (ныне кандидату наук) В. А. Ахмедову (1972).

Таблица 1

Главные составные части почв (%)

№ разреза	Глубина, см	Гумус	CO ₂	CaCO ₃	Гипс
2	0–9	0,64	6,63	15,08	0,31
	9–23	0,41	6,42	14,6	0,72
	23–43	0,38	6,53	14,85	0,46
	43–64	0,38	6,82	15,51	0,49
	64–82	0,38	6,82	15,51	0,33
	82–106	0,38	6,82	15,51	0,66
	106–122	Не определено	6,82	15,51	1,26
	122–151	–	6,36	14,46	0,77
	151–170	–	6,92	15,74	1,09
	170–200	–	7,23	16,44	1,29
3	0–10	1,07	6,95	15,80	0,24
	10–20	0,84	7,2	16,37	0,29
	20–33	0,82	7,06	16,05	1,16
	33–52	0,82	7,56	17,19	0,29
	52–73	0,38	7,35	16,71	0,78
	73–100	0,22	2,63	17,35	1,1
	100–125	Не определено	7,84	17,83	0,82
	125–150	–	6,21	14,12	0,31
	150–190	–	4,98	11,32	0,12
	190–200	–	6,67	15,17	0,3

Как видно из данных табл. 1, содержание гумуса в этих почвах незначительное. Почвы карбонатны. Содержание карбонатов едино по всей глубине профиля, количество гипса незначительное (табл.1). Механический состав почв тяжелый. Содержание физической глины превышает 60%. Более высокие величины физической глины порядка 74–76% приурочены к поверхностному слою почв. Велико также значение илистой фракции (табл. 2).

Таблица 2

Механический состав почв (%)

№ раз- реза	Глубина, см	Величина фракции, мм						
		1-0,25	0,25-0,05	0,05-0,01	0,01-0,005	0,005-0,001	<0,001	<0,1
2	0-9	0,35	1,25	22,08	12,32	29,92	34,08	76,32
	9-23	0,2	13,2	25,28	10,72	21,88	28,72	61,32
	23-43	0,06	12,7	29,04	7,68	19,64	30,88	58,2
	43-64	0,12	12,48	23,6	12,4	18,8	32,6	60,38
	64-82	0,19	16,97	13,16	9,56	22,4	37,72	69,68
	82-106	0,4	24,4	54,8	17,8	5,76	16,84	40,4
	106-122	0,46	9,94	15,8	12,68	27	34,12	73,8
	122-151	0,54	17,46	32,2	11,32	14,96	23,52	49,8
	151-170	0,7	10,3	29	10,28	21,24	28,4	60
3	0-10	0,65	7,63	17,68	13,44	28,24	32,26	74,04
	10-20	0,35	8,05	17,44	12,32	33,88	27,96	74,16
	20-33	0,37	8,63	22,56	15,08	32,24	21,12	68,44
	33-52	0,38	3,18	28,04	13,64	26,04	28,72	68,4
	52-73	1,77	3,15	23	14,8	23,56	33,72	72,08
	73-100	0,23	5,33	20,04	13,68	28,24	32,48	74,4
	100-125	0,47	3,05	15,92	11,72	32,84	36	80,56
	125-150	6,94	30,58	21,8	8,88	9,76	22,04	40,68
	150-190	11,04	25,12	38	4,32	7,48	14,04	25,84
	190-210	1,47	14,01	37,08	8,44	16,6	22,4	47,44

Как показывают данные табл. 3, агрегированность этих почв небольшая, что вызвано заметной дисперсностью фракции. Большие величины объемного веса (порядка 1,45-1,51) отмечены в средней части профиля (табл. 4). Высоко и значение удельного веса почв. Заметная порозность (48-58) характерна для поверхностных горизонтов почв. Величина гигроскопической влаги колеблется в узких пределах (5-6%). Предельно-полевая влагемкость почв сравнительно

изменчива. Большие величины этого показателя наблюдаются, в основном, в поверхностных горизонтах. Глубже значение ее несколько падает. Водопроницаемость почв довольно низкая (табл. 4).

Таблица 3
Микроагрегатный состав почв (%)

№ разреза	Глубина, см	Величина фракции, мм						
		1-0,25	0,25-0,05	0,05-0,01	0,01-0,005	0,005-0,001	<0,001	<0,01
2	0-9	1,36	20,44	50,08	17,56	6,62	4,04	28,12
	9-23	9,59	19,61	54,44	19,32	2,6	4,44	25,36
	23-43	0,67	27,65	47,69	6,96	4,12	2,96	24,04
	43-64	0,46	18,74	50,08	22,68	6,32	1,72	30,72
	64-82	0,56	24,4	44,4	23,2	3,72	3,72	30,64
	82-106	2,72	28,6	44,24	11,32	10,8	2,32	24,44
3	0-10	1,93	20,83	56,52	13,2	3,36	4,16	20,72
	10-20	2,29	23,19	53,24	14,96	2,44	3,88	21,28
	20-33	1,29	23,15	46,56	21,64	3,6	3,76	29
	33-52	1,23	19,42	52,6	20,52	2,76	2,72	26
	52-73	0,43	7,57	65,12	21,48	1,52	3,88	26,88
	73-100	2,79	27,53	50	13,28	2,56	2,84	19,68

Таблица 4
Физические показатели почв (%)

№ разреза	Глубина, см	Удельный вес	Объемный вес	Порозность	Раэрации	Гигроскоп. влага	Водопрониц. мм/мин I VI час	Полевая влажн. VII. 1968	Предельно поле- вая влагоемкость
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2	0-9	2,69	1,13	50	40,15	5,63	0	16,42	30,08
	9-23	2,7	1,4	48	26,49	5,65	0,1	21,51	26,83

Окончание табл. 4

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2	23-43	2,74	1,46	47	16,12	5,75	0 0,1	21,86	26,26
	43-64	2,7	1,49	45	12,83	5,55		21,59	24,91
	64-82	2,69	1,51	44	9,81	6,18		22,64	21,96
	82-106	2,72	1,5	45	10,7	6,33		23,5	23,89
	106-122	2,71	1,46	46	13,21	6,44		22,46	23,88
	122-151	2,72	1,42	48	16,15	5,23		22,48	
	151-170	2,77	1,41	49	14,16	5,73		24,71	
	170-200	2,73	1,43	48	11,26	5,87		25,76	
3	0-10	2,65	1,13	51	25,39	5,63	1 0,1	21,04	30,62
	10-20	2,67	1,29	52	19,38	5,83		23,97	25,2
	20-33	2,65	1,36	49	11,07	5,89		23,39	23,58
	33-52	2,71	1,41	48	17,64	5,79		21,82	24,09
	52-73	2,75	1,47	47	14,31	6		22,5	24,68
	73-100	2,71	1,44	47	11,58	6,23		24,67	26,12
	100-125	2,72	1,4	48	12,83	6,34		25,12	
	125-150	2,72	1,48	46	14,67	4,36		23,4	
	150-190	2,71	1,52	44	10,84	3,45		23,17	
	190-210	2,71	1,52	44	10,84	8,64		24,51	

По показателям физических свойств и морфологического описания в этих почвах хотя и обнаруживается влияние солонцеватости, однако, по данным поглощенного натрия она выражена несколько слабее (табл. 5).

Засоленность почв довольно высокая. Результаты крупномасштабной солевой съемки показали, что содержание плотного остатка в этих почвах почти во всех случаях составляет более 2%, колеблясь, в основном, в пределах 2,5-3,5% а местами и больше. В солевом составе преобладают хлориды и сульфаты натрия. Щелочи и катион магния содержатся в незначительном количестве. Все это указывает на сульфатно-хлоридно-натриевый солевой состав опытных почв.

Заканчивая характеристику допромывного состояния опытных почв, следует отметить, что эти почвы в почвенно-мелиоративном отношении отличаются специфическими

особенностями: примитивностью, тяжелым механическим составом, плохими физическими свойствами, довольно низкой водопроницаемостью и высокой засоленностью. Всё это и явилось причиной реставрации засоления и поверхностных горизонтов почв при обычной промывке.

Таблица 5

Состав поглощенных оснований

№ раз- реза	Глубина, см	Ca	Mg	Na	Сумма, макс	% от суммы		
		макс				Ca	Mg	Na
2	0–9	24,03	11,38	0,8	36,21	66,36	32,43	2,21
	9–23	23,53	14,36	0,8	38,69	60,82	37,12	2,06
	23–43	19,08	14,35	2,2	35,63	53,55	40,27	6,18
	43–64	20,48	14,36	1,8	36,64	55,89	39,19	4,92
	64–82	20,98	10,39	3	34,3	61,04	30,23	8,73
	82–106	26,5	13,37	2	41,87	63,29	31,93	4,78
	106–122	32,6	7,92	1	41,52	78,52	19,07	2,41
	122–151	28,64	11,88	1,6	42,12	67,99	28,21	3,8
	151–170	24,6	11,88	2,8	39,28	62,63	30,24	7,13
	170–200	29,14	10,39	4	43,53	66,94	23,87	9,19
3	0–10	23,53	7,43	4	34,96	67,3	21,26	11,44
	10–20	27,57	14,36	4	43,93	60,03	31,26	8,71
	20–33	27,16	8,91	5,6	41,67	65,18	21,38	13,44
	33–52	20,64	6,93	5,6	33,17	62,22	20,89	16,89
	52–73	23,61	8,91	6,2	38,72	60,98	23,01	16,01
	73–100	26,17	5,94	6	38,11	68,67	15,59	15,74
	100–125	25,67	11,88	4	41,55	61,78	28,59	9,63
	125–150	19,24	11,88	4	35,12	54,78	33,83	11,39
	150–190	12,23	6,93	6,8	25,96	47,11	26,69	26
	190–200	16,11	7,92	5,2	29,23	55,11	27,09	17,8

Из опыта освоения засоленных земель известно (Н.А.Беседнов, 1939; А.С.Вознесенский, 1940; В.Р.Волобуев, 1948; В.А.Ковда, В.В.Егоров, А.Т.Морозов, Ю.П.Лебедев, 1954, и др.), что на слабопроницаемых, уплотненных, солонцеватых, сильно распыленных, глинистых или тонкоиловатых почвах, особенно таких, в которых имеется так называемых плужная подошва, впитывание и фильтрация поливной воды происходит слишком медленно и не через всю толщу почвы, а преимущественно по крупным ходам червей, землероек, трещинам и т.п. В этих случаях нормы расхода воды 4–5 тыс. $\text{м}^3/\text{га}$ в незначительной степени рассоляют лишь пахотный слой, в котором соли быстро восстанавливаются. Для увеличения фильтрации и ускорения рассоления таких почв требуется глубокая вспашка глубиной 30–35 см, считающаяся особенно полезной на почвах с уплотненным слоем, который сильно замедляет просачивание воды в нижележащие слои почв.

Учитывая это и зная аналогичный характер исследуемых нами почв, мы в своих опытах считали целесообразным перед промывкой провести глубокую вспашку на глубину 40 см. Результаты ранее проведенных опытов (М.Р.Абдуев, 1959, 1962, 1966, 1968) показали, что одна глубокая вспашка не всегда обеспечивает высокую фильтрацию воды в почве и, следовательно, достаточное рассоление почвогрунта. Поэтому наряду с глубокой вспашкой мы применяли ряд химических реагентов: гипс, органо-минеральный подкислитель, органо-гипсовую смесь (отходы нефтехимической промышленности), серную кислоту, а также навоз в смеси с гипсом.

Все это в значительной мере диктовалось результатами наших ранних исследований (М.Р.Абдуев, 1959, 1968 и др.) и опытом других исследователей (Н.А.Димо, 1913; С.С.Неуструев, В.В.Никитин, 1926; И.П.Герасимов, Е.Н.Иванова, Д.И.Тарасова, 1935; У.У.Успанов, 1940; Н.А.Качинский, 1946; И.Н.Антипов-Каратаев, 1953; В.Д.Ковда, 1954; А.А.Роде, Г.П.Максимюк, 1963) и было положено в основу программы полевых производственных опытов.

Таким образом, в программу работ по мелиорации засоленных почв с низкой солеотдачей на фоне коллекторно-дренажной сети и глубокой вспашки (35–40 см) входили следующие варианты промывки:

- I. Промывка почв без применения химических мелиорантов: обычная промывка.
- II. Промывка почв с применением гипса:
 - 1) промывка с внесением гипса 5 *т/га*,
 - 2) промывка с внесением гипса 10 *т/га*,
 - 3) промывка с внесением гипса 20 *т/га*,
 - 4) промывка с внесением гипса 40 *т/га*.
- III. Промывка почв с применением гипса и навоза:
 - 5) промывка с внесением гипса 5 *т/га*, навоза 40 *т/га*,
 - 6) промывка с внесением гипса 10 *т/га*, навоза 40 *т/га*,
 - 7) промывка с внесением гипса 20 *т/га*, навоза 40 *т/га*.
- IV. Промывка почв с применением органо-минерального подкислителя (ОМП):
 - 8) промывка с внесением ОМП 10 *т/га*,
 - 9) промывка с внесением ОМП 20 *т/га*,
 - 10) промывка с внесением ОМП 40 *т/га*.
- V. Промывка почв с применением органо-гипсовой смеси (ОГС):
 - 11) промывка с внесением ОГС 10 *т/га*,
 - 12) промывка с внесением ОГС 20 *т/га*,
 - 13) промывка с внесением ОГС 40 *т/га*.
- VI. Промывка с внесением серной кислоты:
 - 14) промывка с внесением серной кислоты 10 *т/га*,
 - 15) промывка с внесением серной кислоты 20 *т/га*,
 - 16) промывка с внесением серной кислоты 30 *т/га*.

Повторность вариантов была построена таким образом, чтобы охватить все разнообразие опытного участка. Мелиоранты вносились на поверхность почв. Размеры делянки для каждой поверхности равнялись 150 м². Опыты велись в трехкратной повторности. Для каждого варианта опытов промывная норма воды была принята из расчета 12000 м³/га и подавалась в три приема (по 4000 м³/га).

Через 7–10 дней после впитывания каждой поданной порции воды были взяты образцы на определение необходимых анализов почв. Почвенные образцы до промывки и после каждой нормы воды брались в девятикратной повторности до глубины

2 и 5 м, причем анализировался каждый образец в отдельности на сокращенный состав водной вытяжки. Далее из полученных данных рассчитывались средние значения для установления хода выщелачивания солевых масс. Чтобы выяснить, как менялось содержание солевых компонентов и отдельных солей в выборочных разрезах, определялся полный состав водной вытяжки и рассчитывался состав солей.

Опыты по промывкам засоленных почв проводились в осенне-зимний период года. Исследования осуществлялись в течение 1967–1972 гг. За этот период на опытном поле исследовался комплекс вопросов почвенной мелиорации: изучались солеотдача, дифференциация и сопряженность солевых масс в профиле почвогрунтов; исследовались изменения физико-химических, физических и водно-физических свойств почв; определялась производительность мелиорированных почв путем выращивания (в вегетационных и полевых условиях) сельскохозяйственных и кормовых культур (рис, горох кормовой, ячмень, хлопчатник).

Все это дало нам возможность разработать и рекомендовать производству научно обоснованные и экономически рентабельные способы по ускорению оздоровления засоленных почв с низкой солеотдачей.

ГЛАВА IV

ПРОМЫВКА ПОЧВ ВОДОЙ

Промывка почв водой (обычная) способствует резкому изменению солесодержания в почвенном профиле, особенно в более засоленном верхнем метровом слое почвы.

При этом первая промывка с водоподачей $4000 \text{ м}^3/\text{га}$ раскислила почвы до глубины одного метра. Выщелачивание солей в почвенном профиле, в основном, происходит за счет хлористых солей. Среднее выщелаченное количество хлора для метрового слоя почв составляет 0,234% против 0,756% исходного засоления.

Интересные результаты получены при изменении содержания других компонентов солевых масс. Как видно из табл. 6, несмотря на значительное рассоление в верхних горизонтах почв по плотному остатку и хлору, содержание HCO_3 -иона здесь резко увеличивается. Увеличение HCO_3 -иона более чем в четыре раза характерно для слоя 0–25 см и в два раза — для слоя 25–50 см. В меньшей степени содержание HCO_3 -иона повысилось в нижележащих горизонтах почвогрунта. В слое 0–25 см в небольшом количестве появился CO_3 -ион.

Существенное рассоление отмечалось также по данным сульфат-иона. Содержание его уменьшилось в верхнем полуметровом слое почвы почти в три раза, а в слое 50–100 см в два раза. Рассоление более чем в два раза произошло $\text{Na}+\text{K}$ ионам в слое 0–50 см. В этом слое заметное выщелачивание солей произошло также по катионам кальция и магния (табл. 6.). Глубже по профилю почв значение этих показателей явно увеличивается, что связано с вымыванием их из поверхностных горизонтов почв.

Таблица 6

Изменения содержания солевых компонентов почв при промывке водой
без применения химических мелиорантов (%)/макс

Глубина, см	Плотный остаток	Сумма солей	CO ₃	HCO ₃	Cl	SO ₄	Ca	Mg	Na+K по разности
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
До промывки									
0-25	3	2,863	нет	<u>0,037</u> 0,6	<u>1,349</u> 38	<u>0,460</u> 9,58	<u>0,19</u> 9,5	<u>0,069</u> 5,72	<u>0,758</u> 32,96
25-50	2,604	2,44		<u>0,039</u> 0,64	<u>0,969</u> 27,3	<u>0,58</u> 12,08	<u>0,143</u> 7,13	<u>0,052</u> 4,32	<u>0,657</u> 28,57
50-75	2,482	2,277		<u>0,037</u> 0,6	<u>0,806</u> 22,7	<u>0,644</u> 13,41	<u>0,123</u> 6,16	<u>0,041</u> 3,35	<u>0,626</u> 27,2
75-100	1,984	1,904		<u>0,039</u> 0,64	<u>0,660</u> 18,6	<u>0,547</u> 11,39	<u>0,082</u> 4,1	<u>0,038</u> 3,13	<u>0,538</u> 23,4
100-125	2,06	1,958		<u>0,046</u> 0,76	<u>0,646</u> 18,2	<u>0,592</u> 12,33	<u>0,093</u> 4,64	<u>0,035</u> 2,92	<u>0,546</u> 23,73
125-150	1,9	1,816		<u>0,046</u> 0,76	<u>0,568</u> 16	<u>0,577</u> 12,02	<u>0,082</u> 4,1	<u>0,028</u> 2,27	<u>0,515</u> 22,41
150-175	1,63	1,617	нет	<u>0,046</u> 0,76	<u>0,54</u> 15,2	<u>0,464</u> 9,66	<u>0,073</u> 3,67	<u>0,012</u> 1	<u>0,482</u> 20,95
175-200	1,94	1,899		<u>0,041</u> 0,68	<u>0,472</u> 13,3	<u>0,751</u> 15,64	<u>0,141</u> 7,02	<u>0,029</u> 2,38	<u>0,465</u> 20,22

Продолжение табл. 6

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
После первой промывки									
0-25	0,526	0,546	<u>0,002</u> 0,08	<u>0,11</u> 1,8	<u>0,075</u> 2,1	<u>0,184</u> 3,63	<u>0,014</u> 0,71	<u>0,002</u> 0,18	<u>0,152</u> 6,92
25-50	1,53	1,531	нет	<u>0,086</u> 1,44	<u>0,685</u> 19,3	<u>0,209</u> 4,35	<u>0,073</u> 3,65	<u>0,018</u> 1,51	<u>0,458</u> 19,93
50-75	2,16	2,071	-	<u>0,071</u> 1,16	<u>0,975</u> 27,5	<u>0,283</u> 5,89	<u>0,155</u> 7,74	<u>0,035</u> 2,85	<u>0,551</u> 23,96
75-100	2,476	2,213	-	<u>0,073</u> 1,2	<u>1,083</u> 30,5	<u>0,262</u> 5,46	<u>0,148</u> 7,39	<u>0,041</u> 3,28	<u>0,606</u> 26,39
100-125	2,23	2,048	-	<u>0,068</u> 1,12	<u>0,941</u> 26,5	<u>0,305</u> 6,35	<u>1,141</u> 7,03	<u>0,029</u> 2,40	<u>0,564</u> 24,54
125-150	2,172	2,057	-	<u>0,085</u> 1,4	<u>0,991</u> 27,9	<u>0,23</u> 4,79	<u>0,087</u> 4,36	<u>0,023</u> 1,87	<u>0,641</u> 27,86
150-175	2,922	2,787	-	<u>0,068</u> 1,12	<u>0,966</u> 27,2	<u>0,793</u> 16,52	<u>0,232</u> 11,57	<u>0,041</u> 3,38	<u>0,687</u> 29,89
175-200	2,784	2,662	-	<u>0,063</u> 1,04	<u>0,912</u> 25,7	<u>0,769</u> 16,02	<u>0,212</u> 10,59	<u>0,038</u> 3,11	<u>0,668</u> 29,06
После второй промывки									
0-25	1,596	1,517	Нет	<u>0,078</u> 1,28	<u>0,383</u> 10,8	<u>0,549</u> 11,44	<u>0,109</u> 5,43	<u>0,021</u> 1,69	<u>0,377</u> 16,40

Продолжение табл. 6

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
25-50	2,426	2,291	нет	<u>0,076</u> 1,24	<u>0,898</u> 25,3	<u>0,507</u> 10,56	<u>0,121</u> 0,05	<u>0,029</u> 2,31	<u>0,661</u> 28,74
50-75	2,788	2,753		<u>0,085</u> 1,4	<u>1,118</u> 31,5	<u>0,571</u> 11,89	<u>0,139</u> 6,94	<u>0,035</u> 2,85	<u>0,805</u> 35
75-100	2,376	2,309		<u>0,081</u> 1,32	<u>0,744</u> 21,8	<u>0,652</u> 13,58	<u>0,105</u> 5,25	<u>0,029</u> 2,4	<u>0,668</u> 29,05
100-125	2,306	2,238		<u>0,078</u> 1,28	<u>0,635</u> 17,9	<u>0,759</u> 15,91	<u>0,107</u> 5,34	<u>0,026</u> 2,14	<u>0,633</u> 27,51
125-150	1,626	1,617		<u>0,02</u> 1,48	<u>0,554</u> 15,6	<u>0,404</u> 8,42	<u>0,044</u> 2,22	<u>0,012</u> 0,98	<u>0,513</u> 22,3
150-175	1,632	1,629	нет	<u>0,085</u> 1,4	<u>0,518</u> 14,6	<u>0,459</u> 9,56	<u>0,048</u> 2,40	<u>0,015</u> 1,25	<u>0,504</u> 21,91
175-200	1,808	1,736		<u>0,083</u> 1,36	<u>0,479</u> 13,5	<u>0,596</u> 12,41	<u>0,077</u> 3,83	<u>0,021</u> 1,69	<u>0,5</u> 21,75
После третьей промывки									
0-25	2,244	2,037	нет	<u>0,034</u> 0,56	<u>0,958</u> 27	<u>0,312</u> 6,59	<u>0,11</u> 5,5	<u>0,037</u> 3,08	<u>0,586</u> 25,48
25-50	2,748	2,732		<u>0,027</u> 0,44	<u>1,179</u> 33,2	<u>0,551</u> 11,48	<u>0,145</u> 7,26	<u>0,045</u> 3,74	<u>0,785</u> 34,12
50-75	2,454	2,306		<u>0,022</u> 0,36	<u>0,824</u> 23,2	<u>0,653</u> 13,6	<u>0,11</u> 5,5	<u>0,035</u> 2,86	<u>0,662</u> 28,8

Окончание табл. 6

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
75-100	1,704	1,655	нет	<u>0,032</u> 0,56	<u>0,618</u> 17,4	<u>0,413</u> 8,6	<u>0,04</u> 1,98	<u>0,013</u> 1,1	<u>0,539</u> 23,44
100-125	2,134	2,113		<u>0,029</u> 0,48	<u>0,685</u> 19,5	<u>0,662</u> 13,79	<u>0,038</u> 4,4	<u>0,024</u> 1,98	<u>0,625</u> 27,19
125-150	2,334	2,253		<u>0,027</u> 0,44	<u>0,543</u> 15,3	<u>0,929</u> 19,35	<u>0,15</u> 7,48	<u>0,035</u> 2,86	<u>0,569</u> 24,75
150-175	2,248	2,177		<u>0,024</u> 0,4	<u>0,522</u> 14,7	<u>0,935</u> 19,48	<u>0,15</u> 7,48	<u>0,035</u> 2,86	<u>0,537</u> 24,24
175-200	2,07	2,061		<u>0,024</u> 0,4	<u>0,515</u> 14,5	<u>0,829</u> 17,27	<u>0,137</u> 6,82	<u>0,029</u> 2,42	<u>0,527</u> 22,93

Таблица 7

Дифференциация и сопряженность солевых масс при промывке без применения химических реагентов ()

Глубина, см	Ca (HCO ₃) ₂	Mg(HCO ₃) ₂	NaHCO ₃	CaSO ₄	MgSO ₄	Na ₂ SO ₄	CaCl ₂	MgCl ₂	NaCl	Na ₂ CO ₃	Сумма солей
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
До промывки											
0-25	<u>0,049</u> 1,519	нет	нет	<u>0,695</u> 18,755	<u>0,041</u> 1,271	нет	нет	<u>0,239</u> 7,409	<u>1,928</u> 59,768	нет	<u>2,862</u> 88,722

Продолжение табл. 7

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
25-50	<u>0,052</u> 1,823	нет	нет	<u>0,441</u> 15,435	<u>0,259</u> 9,065	-	нет	<u>0,074</u> 2,59	<u>1,597</u> 55,895	нет	<u>2,423</u> 84,805
50-75	<u>0,048</u> 1,8			<u>0,378</u> 14,175	<u>0,201</u> 7,537	<u>0,309</u> 11,587		нет	<u>1,328</u> 49,8		<u>2,264</u> 84,899
75-100	<u>0,052</u> 1,924			<u>0,235</u> 8,695	<u>0,187</u> 6,919	<u>0,340</u> 12,58			<u>1,088</u> 40,256		<u>1,902</u> 70,374
100-125	<u>0,061</u> 2,165			<u>0,264</u> 9,372	<u>0,275</u> 9,762	<u>0,392</u> 13,916			<u>1,065</u> 37,807		<u>2,057</u> 73,022
125-150	<u>0,061</u> 2,196	нет	нет	<u>0,227</u> 8,172	<u>0,136</u> 4,896	<u>0,455</u> 16,38	нет	нет	<u>0,936</u> 33,696	нет	<u>1,815</u> 65,34
150-175	<u>0,061</u> 2,226			<u>0,198</u> 7,227	<u>0,064</u> 2,336	<u>0,408</u> 14,892			<u>0,890</u> 32,485		<u>1,621</u> 59,266
175-200	<u>0,055</u>			<u>0,431</u>	<u>0,142</u>	<u>0,491</u>			<u>0,778</u>		<u>1,897</u>
	2,035			15,947	5,254	18,167			28,786		70,189
После первой промывки											
0-25	<u>0,057</u> 1,767	<u>0,013</u> 0,403	<u>0,076</u> 2,356	нет	нет	<u>0,272</u> 8,432	нет	нет	<u>1,123</u> 3,813	<u>0,004</u> 0,124	<u>0,545</u> 16,895
25-50	<u>0,177</u> 4,095	нет	нет	<u>0,15</u> 5,25	<u>0,091</u> 3,185	<u>0,045</u> 1,575			<u>1,129</u> 39,515	нет	<u>1,532</u> 53,62
50-75	<u>0,094</u> 3,525			<u>0,4</u> 15	нет	нет			нет		<u>0,494</u> 18,525
75-100	<u>0,097</u> 3,589			<u>0,371</u> 13,727	-	-			<u>1,544</u> 57,128		<u>2,212</u> 82,844

Продолжение табл. 7

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
100-125	<u>0,091</u> 3,2305	нет	нет	<u>0,402</u> 14,271	<u>0,026</u> 0,923	нет	нет	<u>0,093</u> 3,301	<u>1,435</u> 50,942	нет	<u>2,047</u> 72,668
125-150	<u>0,133</u> 4,069			<u>0,201</u> 7,236	<u>0,11</u> 3,96			<u>0,002</u> 0,072	<u>1,63</u> 58,68		<u>2,056</u> 74,016
150-175	<u>0,091</u> 3,321			<u>0,711</u> 25,951	<u>0,206</u> 7,515			нет	<u>1,591</u> 58,071		<u>2,79</u> 101,838
175-200	<u>0,084</u> 3,108			<u>0,649</u> 24,013	<u>0,186</u> 6,882				<u>1,503</u> 55,681		<u>2,66</u> 98,42
	После второй промывки										
0-25	<u>0,104</u> 3,324	нет	нет	<u>0,282</u> 8,742	<u>0,101</u> 3,131	<u>0,398</u> 12,338	нет	нет	<u>0,632</u> 19,592	нет	<u>1,517</u> 47,027
25-50	<u>0,1</u> 3,5			<u>0,327</u> 11,445	<u>0,139</u> 4,865	<u>0,244</u> 8,54			<u>1,48</u> 51,8		<u>2,29</u> 80,15
50-75	<u>0,113</u> 4,275			<u>0,377</u> 14,137	<u>0,171</u> 6,412	<u>0,248</u> 9,3			<u>1,843</u> 69,112		<u>2,752</u> 103,2
75-100	<u>0,107</u> 3,959			<u>0,267</u> 9,879	<u>0,144</u> 5,328	<u>0,515</u> 19,055			<u>1,275</u> 47,175		<u>2,306</u> 85,396
100-125	<u>0,104</u> 3,692			<u>0,276</u> 9,798	<u>0,128</u> 4,544	<u>0,682</u> 24,211			<u>1,047</u> 37,168		<u>2,237</u> 79,413
125-150	<u>0,12</u> 4,32			<u>0,05</u> 1,8	<u>0,059</u> 2,124	<u>0,476</u> 17,136			<u>0,913</u> 32,863		<u>1,618</u> 58,248
150-175	<u>0,113</u> 4,124			<u>0,068</u> 2,482	<u>0,075</u> 2,737	<u>0,519</u> 18,943			<u>0,854</u> 31,171		<u>1,629</u> 59,458

Окончание табл. 7

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
175-200	<u>0,11</u> 4,07	нст	нст	<u>0,168</u> 6,216	<u>0,101</u> 3,737	<u>0,586</u> 21,682	-	-	<u>0,790</u> 29,23	-	<u>1,755</u> 64,935
После третьей промывки											
0-25	<u>0,045</u> 1,395	нст	нст	<u>0,336</u> 10,416	<u>0,094</u> 2,914	нст	нст	<u>0,072</u> 2,232	<u>1,003</u> 34,503	нст	<u>1,55</u> 51,46
25-50	<u>0,036</u> 1,26			<u>0,463</u> 16,205	<u>0,224</u> 7,84	<u>0,065</u> 2,275		нст	<u>1,223</u> 42,805		<u>2,011</u> 70,385
50-75	<u>0,029</u> 1,087			<u>0,35</u> 13,125	<u>0,171</u> 6,412	<u>0,398</u> 14,925			<u>1,238</u> 46,425		<u>2,186</u> 81,974
75-100	<u>0,042</u> 1,554			<u>0,099</u> 3,663	<u>0,066</u> 2,442	<u>0,429</u> 15,879			<u>1,257</u> 46,509		<u>1,893</u> 70,041
100-125	<u>0,039</u> 1,384			<u>0,266</u> 9,443	<u>0,119</u> 4,224	<u>0,56</u> 19,88		нст	<u>1,129</u> 40,079		<u>2,113</u> 70,01
125-150	0,036	нст	нст	<u>0,479</u> 17,244	<u>0,171</u> 6,156	<u>0,671</u> 24,156			<u>0,895</u> 32,22		<u>2,252</u> 81,102
150-175	<u>0,032</u> 1,168			<u>0,482</u> 17,593	<u>0,171</u> 6,241	<u>0,677</u> 24,71			<u>0,86</u> 31,39		<u>2,222</u> 81,102
175-200	<u>0,032</u> 1,184			<u>0,436</u> 16,132	<u>0,145</u> 5,365	<u>0,595</u> 22,015			<u>0,848</u> 31,376		<u>2,056</u> 76,072

Привлекают внимание данные по изменению солевого состава почв. Характерно, что в содержании кальциевых солей произошли большие изменения. После первой промывки оказалось, что солей $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ накопилось большое количество по всему профилю почвогрунта. В слое 0–1 м содержание их увеличилось на 6 т/га, а слое 1–2 м — на 5 т/га. При первой промывки выщелачивались соли CaSO_4 . Для верхнего полуметрового слоя количество вымытых солей CaSO_4 составило 29 т/га. В слое 0,5–1,0 м их накопилось 6 т/га, а слое 1–2 м — 3 т/га.

Соли же Na_2SO_4 при первой промывке не только не подверглись вымыванию в поверхностных горизонтах, но содержание их сильно повысилось. Так, если до промывки (табл. 7) в слое 0–5 см соли Na_2SO_4 отсутствовали, то после первой промывки количество его достигло 108 т/га, тогда как в нижележащих горизонтах соли сернокислого натрия сильно выщелачивались.

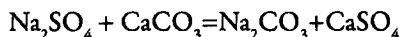
Все эти на первый взгляд противоречивые явления можно, по-видимому, объяснить взаимосвязями перемещенных в почвогрунт отдельных солей. Так, если повышение содержания держания сернокислого натрия в поверхностных горизонтах вызывается сильным выщелачиванием хлористых солей, то резкое уменьшение содержания Na_2SO_4 в нижележащих горизонтах, очевидно можно объяснить увеличением содержания здесь хлоридов, способствующих вымыванию сульфатов. Этим же, на наш взгляд, объясняется и сильное снижение (а в поверхностном горизонте — исчезновение), количества гипса при первой промывке. В опытных почвах, в высокой степени насыщенных обменным натрием ($\text{Na}:\text{Ca}+\text{Mg}=3:4$ и больше) растворимость гипса в почвенном растворе оказывается очень высокой, так как одновременно происходит расходование кальция гипса на обменные реакции, образование вторичных солей сульфатов и непосредственное вымывание его в виде CaSO_4 . Примечательно, что вымывание солей в почве происходит главным образом за счет хлористого натрия. В слое 0–1 м выщелоченное количество этих солей составляет 105 т/га, а при вымывании солей — 158 т/га по плотному остатку.

В отличие от поверхностных горизонтов, в слое 1–2 м содержание NaCl резко превышает (на 90 т/га), что безусловно связано с выщелачиванием этих солей из верхних горизонтов почв.

Должен заметить, что солей хлористого магния до промывки в верхнем полуметровом слое почв обнаруживалось до 10 *т/га*. После первой промывки, будучи выщелоченными, они полностью перемещались в средние слои (75–150 *см*) почв (табл. 7). Хлористого кальция до промывки в почве не было, после же первой промывки он проявился в слое 75–100 *см*, что связано с увеличением содержания Са в этом слое (табл. 6).

Послепромывное увеличение бикарбонатов магния и натрия отмечалось также в пахотном горизонте почв (табл. 7). Содержание же сернокислого магния значительно уменьшилось по всему профилю почвогрунта.

Характерно, что после первой промывки в пахотном слое почвы в небольшом количестве (0,004% или 0,124 *т/га*) образовалась сода, что, по видимому, вызвано резким вымыванием из этого слоя хлористого натрия и преобладанием сернокислого натрия, способного при промывке (первыми порциями воды) засоленных карбонатных почв образовывать соду по реакции Гильгардта:



Таким образом, становится очевидным, что хотя после первой промывки и происходят некоторые неблагоприятные изменения в солевом составе почвы, тем не менее почва подвергается сильному рассолению, охватывающему, главным образом, ее верхнюю метровую толщу.

Однако, при второй промывке в почве наблюдаются совершенно иные изменения. Хотя при второй промывке и продолжалось рассоление почв по плотному остатку и хлору в слое 25–75 *см* (содержание солей здесь в среднем уменьшилось еще на 0,235% по плотному остатку и на 0,144% по хлору), однако, в верхнем (25 *см*) слое отмечалось значительное повышение как плотного остатка (на 0,25%), так и хлора (на 0,22%). Явное увеличение содержания отмечалось и в средней части профиля почв (75–100 *см*), что произошло за счет выщелоченных из поверхностных горизонтов почв солей (рис. 3).

Реставрацию засоления в поверхностном горизонте почв (0–25 *см*) следует объяснить подтягиванием солей из нижних слоев в верхние, вызванным испарением капиллярно-подвешенной

влаги, а также диффузией солей, сопровождающейся выравниванием концентрации почвенных растворов. Как видно из данных табл.6, содержание солей по плотному остатку при существенном увеличении в поверхностных горизонтах значительно уменьшается в нижележащих горизонтах (125–200 см). Это особенно характерно для хлора, величина которого в верхнем 0,5-метровом слое почв увеличивалась на 0,26%, а в слое 0,5–1,0 м заметно уменьшалась (на 0,09%). Примерно на 0,4% содержание хлора уменьшалось и в слое 1–2 м.

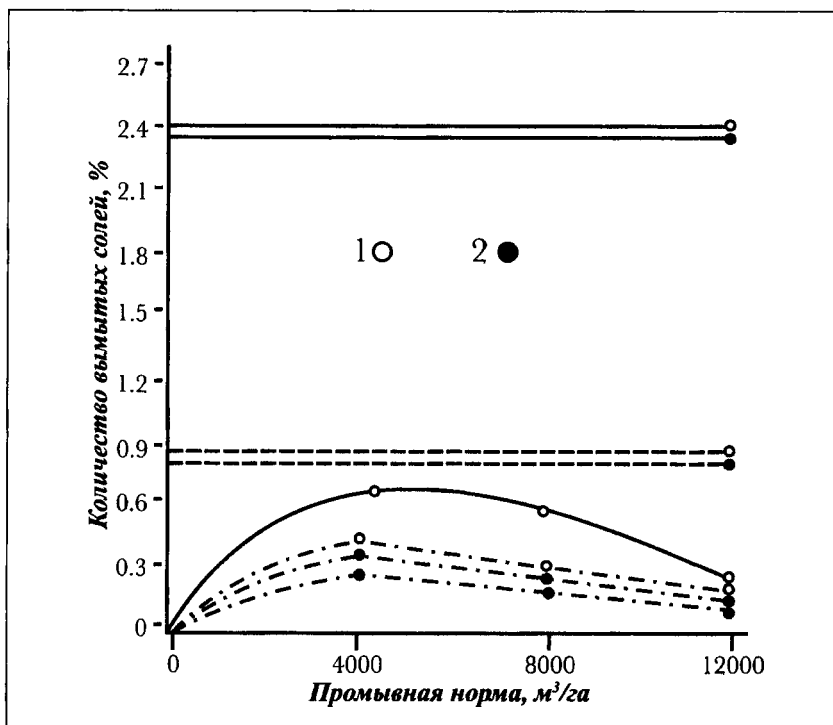


Рис. 3. Интенсивность выщелачивания солей при промывке почв без применения химических мелиорантов: а — исходное содержание плотного остатка; б — исходное содержание хлора; 1 — слой 0–0,5 м; 2 — слой 0–1,0 м

Существенно увеличивается содержание сульфатов в поверхностных горизонтах почв. В верхнем полуметровом слое почвы

заметно увеличивается (на 0,07 %) также содержание кальция, магния и натрия.

Аналогичные данные получены по содержанию общей щелочности и CO_3 -иона. В верхнем полуметровом слое CO_3 , возникший после первой нормы воды, исчез, а содержание HCO_3 -иона значительно уменьшилось при заметном повышении содержания его в нижележащих горизонтах. Все это, в свою очередь, отразилось на дифференциации отдельных солей.

Как видно из данных табл.7, после второй промывки в почве уже отсутствовала сода. Она уже вымывалась как любая воднорастворимая соль при последующей промывке. В почве не оказалось и солей бикарбонатов натрия и магния, однако, заметно повысилось содержание бикарбоната кальция, причем увеличение этой соли обнаруживалось почти по всему профилю исследованной толщи почвогрунта (за исключением слоя 25–50 см).

Отмечалось большое увеличение содержания и других солей, особенно, хлористого натрия и сернокислых солей. Но вместе с тем в слое 1–2 м содержание хлористого натрия существенно уменьшилось (на 0,62%, или 113 *т/га*). Это наводит на мысль, что концентрация более легкоподвижной соли (NaCl) в поверхностных горизонтах при второй промывке почв происходит, главным образом, благодаря подтягиванию этих солей из более глубоких слоев почвогрунта путем диффузии и испарения подвешенной при промывке влаги. Аналогичное явление было отмечено нами и на других массивах почв с низкой солеотдачей (М.Р.Абдуев, 1968).

При второй промывке почвы очень выразительным оказалось также поведение сернокислого натрия. Резкое увеличение содержания этой соли отмечалось по всей исследованной глубине (в 5 раз больше в первом метре и несколько больше во втором метре) почвогрунта (табл. 7).

Ход изменения сернокислого магния при второй промывке во многом аналогичен ходу изменения хлористого натрия. Резкое увеличение содержания сульфатов натрия и магния в поверхностных горизонтах промываемых почв при второй промывке, по-видимому, следует объяснить образованием вторичных солей этих соединений в условиях вытеснения и обмена натрия с кальцием гипса и кальция гидрокарбонатов.

Третья промывка продолжала реставрацию засоления почв до глубины 75 см как по плотному остатку, так и по хлору.

По данным результатов полной водной вытяжки характерного разреза вторичное накопление солей, главным образом, наблюдалось в средней части профиля при заметном уменьшении содержания и в поверхностных и глубоких слоях почв. Это относится также к солевым компонентам и дифференциации отдельных солей (табл. 6, 7).

Как видно из представленных табличных и графических материалов, промывка водой засоленных почв с низкой солеотдачей, если судить по общему содержанию и по количеству отдельных солей, довольно слабо действует на рассоление почв. При этом выщелачивание солей происходит, главным образом, из верхнего полуметрового слоя почв. К тому же рассоляется лишь одна четвертая часть (27%) от общего содержания солей из указанного слоя почв. Степень выщелачивания вредных солей составляет еще меньшую величину (0,6%) и, главным образом, за счет более растворимых хлористых солей. Сравнительно менее растворимые сернокислые соли рассолились в ничтожном количестве, причем величина сернокислого магния и натрия даже увеличилась.

Необходимо отметить, что вымывание солей из промываемых почв, главным образом, происходит при первой промывке. Вторая и третья промывки как по плотному остатку. Так и по отдельным слоям существенно увеличивают запасы их в поверхностных горизонтах почв (на выщелачивание одной тонны солей при промывке водой потребовалось очень большое количество воды — 413 м³). Это, как уже отмечалось нами ранее (М.Р.Абдуев, 1959), объясняется тем, что в сильно диспергированных, трещиноватых и тяжелых по механическому составу почвах первые порции воды движутся по крупным ходам. При этом происходит растворение или даже прямое смывание солей, находящихся на поверхности структурных отдельностей. В дальнейшем при подаче последующих порций промывной воды в силу наличия в исходном состоянии и развивающейся при промывке солонцеватости почва оказывается уже сильно набухшей, фильтрация воды и выщелачивание солей прекращаются и происходит реставрация засоления, обусловленная, кроме перемещения солей при испарении

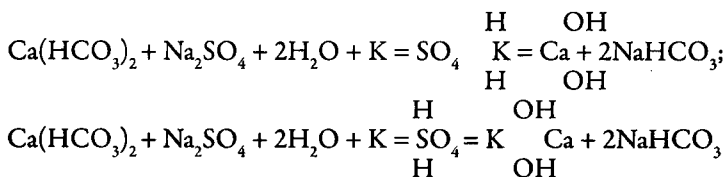
капиллярно-подвешенной влаги, процессом диффузии солей. Как показали результаты проведенных экспериментов (М.Р.Абдуев, 1962), основной причиной, вызывающей уменьшение количества вымытых солей при низких коэффициентах фильтрации, является диффузия солей против движения тока воды. Отсюда следует, что почвы, в которых скорость инфильтрационного потока сравнима со скоростью диффузии практически не поддаются рассолению.

Ознакомление с другими работами помогло установить, что отмеченная особенность солеотдачи почв характерна для тяжелых почв не только Азербайджана, но и всего мира. Reinemann Norman и Ferreiro Eladio (1970) в Испании, изучая выщелачивание солей в почвенных колонках, пришли к заключению, что при промывке почв более легкого механического состава соли передвигаются вниз по профилю. В тяжелых же почвах, наоборот, соли передвигаются снизу вверх. Ухудшение мелиоративных свойств засоленных почв с низкой солеотдачей особенно четко проявляется в изменении физико-химических и водно-физических свойств почв. Как видно из данных табл.8, содержание гумуса и карбоната кальция при промывке почв остается почти неизменным. Невывымаемость гумуса объясняется незначительным допромывным абсолютным значением этого показателя, а невывымаемость карбонатов — наличием щелочной реакции в почве, понижающей растворимость CaCO_3 .

Большие изменения происходят и в соотношении обменных катионов (табл. 8). При почти неизменном содержании обменного кальция в поверхностном горизонте почв значение его существенно уменьшается в нижних слоях почв. Здесь же существенно увеличивается содержание обменного натрия, что, по-видимому, связано с обменной реакцией в почвенно-поглощающем комплексе. В результате растворения при промывке хлорида натрия и перемещения его высококонцентрированного раствора из верхних в нижние горизонты в последних происходит дополнительное поглощение натрия и вытеснение кальция из почвенно-поглощающего комплекса.

Интересные данные получены по изменению рН-среды и общей щелочности почв. Значение этих показателей при промывке почв становится несколько выше. Характерно, что содержание общей щелочности (а следовательно, гидрокарбонатной среды)

резко увеличивается по всей глубине исследованной толщи почв (табл. 8), что при промывке почв в условиях насыщения почв Na_2SO_4 и наличия $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$, по-видимому, связано с гидролитическо-адсорбционным содообразованием (Pelouse et Freney, 1861; Л.А.Кистяковский, 1925; С.А.Дуров, 1948, 1961; Н.И.Петрова, 1955; С.Н.Селяков, 1971) по следующей схеме:



Промывка почв водой оказывает отрицательное действие и на коэффициент дисперсности почв, который сильно меняется не только в поверхностных горизонтах, но и по всей толще почв. Значение коэффициента дисперсности при промывке водой резко увеличивается в пахотном слое почв (от 17–21 до 32–42%). В подпахотном слое увеличение составляет около 5%. Явное проявление увеличения коэффициента дисперсности отмечается в нижележащих горизонтах почв, где величина его достигала 41–54% против 14–30% до промывки. Все это указывает на то, что почвы при промывках водой в силу сильного осолонцевания подвергаются глубокому диспергированию. Это, в свою очередь, намного ухудшает водно-физические свойства почв. Как видно из данных табл. 8, коэффициент водопроницаемости в этих почвах при промывке уменьшается в несколько раз. Выявлено также, что за 6 часов в почву впитывается всего 38,3 мм воды, из которых 94%, или 36 мм, проникает за первый час наблюдения. Послепромывная установившаяся скорость водопроницаемости почв оказалась равной 0,0050 мм/мин, что более чем в 6 раз меньше по сравнению с допромывными ее показателями (табл. 8).

Таким образом, из сказанного становится ясно, что засоленные почвы с низкой солеотдачей при промывке водой подвергаются резкому ухудшению физико-химических и водно-физических свойств, что в определенной степени вызвано разрушением и без того плохой структуры почв.

Таблица 8

Изменение физико-химических и водно-физических¹ свойств
при обычной промывке почв водой (до/ после промывки)

Глубина, см	Гумус, %	CaCO ₃ %,	Липс, %	Поглощенные катионы, %				pH, %	HCO ₃ %	Коефф. дис- персности	Водопроницаемость, мм / мин			
				Ca	Mg	Na ₂					Первые 10 мин	1-й час	6-й час	Среднее за 6 часов
0-9	1,45 1,55	14,72 14,64	0,332 0,594	10,12 37,93	23,53 28,98	18,82 13,39		8,4 8,3	0,041 0,058	17,67 42,48	3,1 2,3	0,65 0,6	0,0333 0,005	0,1611 0,1064
9-30	1,45 1,57	14,72 15,51	0,332 0,284	20,19 32,65	25,53 29,62	18,82 32,22		8,4 8,5	0,055 0,077	20,96 32,54				
30-43	0,2 0,97	16,09 16,74	0,566 0,605	21,85 40,26	11,92 25,34	17,32 24,34		8,4 8,5	0,056 0,08	23,64 28,81				
43-64	0,5 0,43	16,09 15,74	0,566 1,901	31,85 41,93	21,92 22,25	7,32 5,47		8,4 8,4	0,061 0,063	22,4 53,75				
64-82	0,5 0,52	15,86 15,51	1,774 1,626	35,13 46,59	21,55 18,25	2,38 3,34		8,3 8,4	0,052 0,069	14,6 41,16				
82-100	0,22 0,3	15,86 14,83	1,408 45,74	28,21 45,74	9,89 16,9	2,84 3,32		8,3 8,3	0,066 0,73	30,3 42,82				

¹ Исследованы изменения всех показателей водно-физических свойств почв, но здесь приводятся данные только по тем показателям, по которым установлены наиболее ощутимые изменения при промывке.

² Ca, Mg, Na представлены в % от суммы.

³ Данные при девятикратной повторности.

Как видно из данных табл. 9, содержание физической глины в микроагрегатном составе верхних горизонтов почв увеличивается от 16 до 25–28%. При этом резкое повышение отмечалось, главным образом, за счет фракции 0,001–0,005 мм и ила. Величина физической пыли после промывки составила 10–17%, ила — 10,5–13,6%. Этот процесс, очевидно, связан с сильной диспергацией крупных фракций почв (табл. 9).

Таблица 9

Изменение микроагрегатного состава почв
при промывке водой (до/после промывки, %)

Глубина, см	Величина фракции, мм						
	1–0,25	0,25–0,05	0,05–0,01	0,01–0,005	0,005–0,001	<0,001	<0,01
0–9	<u>0,65</u> 0,73	<u>11,49</u> 14,69	<u>71,96</u> 59,72	<u>7,12</u> 10,26	<u>2,16</u> 1,04	<u>6,02</u> 13,56	<u>15,9</u> 24,86
9–30	<u>0,65</u> 0,6	<u>11,49</u> 11,96	<u>71,76</u> 58,04	<u>7,72</u> 16,8	<u>2,16</u> 2,16	<u>6,02</u> 10,44	<u>15,9</u> 29,4
30–43	<u>0,78</u> 0,12	<u>22,24</u> 9,56	<u>59,8</u> 73,64	<u>8,08</u> 5,62	<u>1,8</u> 0,88	<u>7,3</u> 10,28	<u>17,18</u> 16,68
43–64	<u>0,78</u> 0,13	<u>22,24</u> 9,31	<u>59,8</u> 65,8	<u>9,08</u> 5,92	<u>1,8</u> 1,36	<u>7,3</u> 17,48	<u>17,18</u> 24,76
64–82	<u>0,31</u> 0,44	<u>5,83</u> 5,12	<u>78</u> 73,96	<u>9,12</u> 5,64	<u>1,24</u> 1,52	<u>5,5</u> 13,12	<u>15,86</u> 20,48
82–100	<u>0,18</u> 4,23	<u>1,64</u> 7,89	<u>81,52</u> 69,2	<u>9,36</u> 5,36	<u>2,2</u> 0,44	<u>5,1</u> 12,88	<u>16,66</u> 18,68

Итак, установлено, что обычная промывка водой засоленных почв с низкой солеотдачей не только не рассоляет почвы до желаемого предела, но и способствует резкому ухудшению физико-химических и водно-физических свойств почв, приводящему к неблагоприятному почвенно-мелиоративному состоянию земель.

Для рассоления засоленных почв с низкой солеотдачей путем промывки водой в силу набухания почв, связанной с ее глинистостью, выраженными явлениями осолонцевания и полным диспергированием почвенных агрегатов при промывке, потребуется

применение довольно больших норм промывной воды и длительный период мелиорации. Исходя из солеотдачи почв*, мы подсчитали требующую промывную норму воды, необходимую для рассоления почв до порога токсичности по предложенной нами формуле:

$$Q = q_n \frac{S}{\Delta S}$$

где: Q — промывная норма;

q — примененная вода для установления солеотдачи почв;

n — число промывок;

ΔS — выщелоченное количество солей;

S — остаточное засоление с вычетом порога токсичности.

Выявлено, что для опреснения этих почв (со средним содержанием солей в метровом слое около 2,5%) до порога токсичности необходимо применение 113 тыс. $m^3/га$ воды. Для подачи этой нормы воды потребуется не менее 6–8 лет.

Производительность промытых почв. Результаты опытов по промывке почв были уточнены и с помощью урожайных данных отдельных культур. Из кормовых культур испытывался горох, из зерновых — ячмень, а из технических — хлопчатник. Уход за растениями проводился согласно агротехническим правилам, применяемым в зоне опытных почв. Чтобы полнее выявить непосредственное значение мелиорации в повышении урожайности культурных растений, мы при посеве культур в первый год освоения удобрения не применяли. В результате опытов были получены следующие урожаи испытанных культур: гороха — 35,71 $ц/га$ (зеленая масса), ячменя — 5,73 $ц/га$ (зерно), хлопчатника — 3,05 $ц/га$ (хлопок-сырец).

В последующие годы применялись навоз (10 $т/га$), N_{90} (аммиачная селитра) и P_{90} (суперфосфат). Но хотя применение удобрений и повысило урожаи испытываемых культур, однако показатели

* Почва настолько сложная система, что формулы, основанные на отдельных параметрах, не могут отразить все процессы, протекающие в ней, в частности процессы солеотдачи.

их все же оказались невысокими: гороха кормового — 74,2 ц/га, ячменя — 11,5 ц/га, хлопчатника — 7,8 ц/га. Все это еще раз подтвердило довольно низкую эффективность промывки почв водой. Учитывая это и длительность периода опреснения засоленных почв с низкой солеотдачей при небольшой урожайности культурных растений, необходимо было разработать такие способы промывки, которые были бы направлены на устранение неблагоприятных явлений и сокращение срока промывки. На основании многолетних лабораторных и полевых экспериментальных исследований мы пришли к выводу, что промывка почв должна проводиться на фоне применения химических мелиоратов, способствующих путем коагуляции тонкодисперсных фракций резкому улучшению физико-химических и водно-физических свойств, а следовательно, и достаточному повышению солеотдачи почв.

ГЛАВА V

ПРОМЫВКА ПОЧВ С ПРИМЕНЕНИЕМ ГИПСА

Как стало очевидным из предыдущей главы, промывку почв от воднорастворимых солей нельзя рассматривать только как простой физический процесс выщелачивания, так как при этом солевой раствор всегда вступает в химическую реакцию с коллоидами почвы. Следовательно, промывка представляет собой процесс одновременно и физический и химический. В тех случаях, когда промываются солончаки кальциевого или смешанного типа с преобладанием иона кальция, при химической реакции коллоиды почвы насыщаются преимущественно кальцием, и свойства почвы оказываются вполне благоприятными в сельскохозяйственном и мелиоративном отношении. В случаях промывки солончаков натриевого типа в результате химической реакции коллоиды почвы оказываются насыщенными в той или иной мере ионом натрия и почва приобретает крайне неприятные солонцовые свойства. Следовательно, обычная промывка (промывка водой) приводит к отрицательным результатам. Это довольно ясно проявляется в тех случаях, когда почва до промывки была не только сильно засоленной, но и солонцеватой. В этом случае, как показали результаты опытов, должны применяться специальные меры для устранения солонцовых свойств почвы. Одной из таких мер является гипсование почв при промывке. Применение гипса в мелиорации засоленных почв имеет давнюю историю. Еще в 80-е годы (80-х годах) прошлого века Е.Гильгардом было предложено применять гипс для улучшения черных солончаков. Основоположником же метода химической мелиорации является К.К.Гедройц (1912, 1926, 1927, 1928, 1955). На основе физико-химической теории К.К.Гедройца

в последние годы проводились работы по гипсованию засоленных почв как в Советском Союзе, так и за рубежом.

В СССР большие работы по гипсованию проведены И. Н. Антиповым-Каратаевым (1936, 1953), С. В. Зонном (1937), В. А. Ковдой (1937, 1940, 1947, 1954, 1965), А. Н. Соколовским (1941), А. П. Розовым (1936), А. М. Можейко (1936), К. Л. Пакком (1964), Г. Н. Самбуром (1953), В. И. Чхиквишвили (1972), Л. Ф. Кисляковой (1973) и др. В Азербайджане такие исследования были осуществлены М. Т. Аскербейли (1935), Д. М. Гусейновым (1946), М. Р. Абдуевым (1956, 1959, 1962, 1968, 1970), Б. М. Агаевым (1960) и К. Г. Теймуровым (1960, 1964).

Исследования по гипсованию щелочных засоленных почв в последние годы развиваются в Венгрии (А.А. Sigmond, 1927; J. Szabolcs, 1954, 1961, 1962, 1964, 1972; S. Arany, 1956; L. Gerei, 1968; U. Harmati, 1972), Румынии, (J. Colibas si M. Colibas, 1965; Г. Обрежану, Г. Санду и др., 1972; К. В. Опря, Г. Санду, Е. Степанески, И. Влас, 1972), Болгарии (Л. Райков, Я. Кавърджиев, 1966; 1972), Югославии (Г. Филиповски, 1972, N. Miljkovic; 1963, 1972 и др.), Индии (J. S. Kanwar, V. Chawla, 1963; Ю. С. Канвар, Д. Р. Бумла, 1972; С. К. Де, С. К. Сривастава, Р. П. Сривастава, 1972) и других странах.

Результаты перечисленных работ и наших мелкоделяночных опытов (М. Р. Абдуев, 1956, 1959, 1968, 1970) послужили основанием для производственной постановки экспериментальных исследований по выявлению эффективности действия гипса при промывке засоленных почв с низкой солеотдачей.

Производственные опыты по промывке почв с применением гипса проходились нами в трех вариантах: гипс вносился из расчета 10; 20 и 40 *т/га*. Промывки почв с внесением гипса из расчета 5; 10 и 15 *т/га* проводились в мелкоделяночных опытах в Кюровдагском и Сиязань-Сумгайытском массивах и результаты их нами уже опубликованы (М. Р. Абдуев, 1968).

Промывка почв с внесением 10 т/га гипса

Промывка почв с применением первой нормы воды в размере 4000 *м³/га* в профиле данных почв не привела к резким изменениям. Как видно из рис. 4, существенное расслоение здесь по плотному остатку произошло главным образом в верхнем слое (75 см)

почв, где общее содержание солей уменьшилось почти наполовину. Содержание хлора в слое 0–50 см уменьшилось более чем в два раза (с 0,992 до 0,381%). В отличие от хлор-иона, содержание SO_4 компонента в слое 0–1 м значительно увеличилось (на 0,19%). В слое же 1–2 м, наоборот, отмечалось небольшое снижение содержания сульфат-иона (табл. 10). Если отмеченные (на первый взгляд противоречивые) явления для слоя 0–1 м связаны с искусственным повышением содержания сульфат-иона (из-за внесения гипса), то для слоя 1–2 м — с выщелачивающим воздействием промывной воды.

Таблица 10

Изменение содержания солевых компонентов почв при промывке с применением 10 т/га гипса (%)

Глубина, см	Плотный остаток	Сумма солей	CO_3	HCO_3	Cl	SO_4	Ca	Mg	Na+K
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
До промывки									
0–25	2,046	1,897	нет	<u>0,041</u> 0,68	<u>0,902</u> —	<u>0,272</u> 5,67	<u>0,108</u> 5,67	<u>0,037</u> 3,02	<u>0,537</u> 23,33
25–50	2,26	2,049		<u>0,039</u> 0,64	<u>1,083</u> 30,5	<u>0,178</u> 3,71	<u>0,108</u> 5,4	<u>0,041</u> 3,35	<u>0,6</u> 26,1
50–75	2,324	2,1		<u>0,037</u> 0,6	<u>1,115</u> 31,4	<u>0,179</u> 3,73	<u>0,119</u> 5,94	<u>0,039</u> 3,24	<u>0,611</u> 26,55
75–100	2,372	2,1		<u>0,037</u> 0,6	<u>1,115</u> 31,4	<u>0,179</u> 3,73	<u>0,119</u> 5,94	<u>0,039</u> 3,24	<u>0,611</u> 26,55
100–125	2,444	2,248		<u>0,039</u> 0,64	<u>1,079</u> 30,4	<u>0,323</u> 6,73	<u>0,132</u> 6,59	<u>0,047</u> 0,89	<u>0,628</u> 27,29
125–150	2,59	2,493		<u>0,041</u> 0,64	<u>1,012</u> 28,5	<u>0,573</u> 11,94	<u>0,188</u> 9,4	<u>0,056</u> 4,64	<u>0,623</u> 27,08
150–175	2,984	2,788		<u>0,039</u> 0,64	<u>1,012</u> 28,5	<u>0,782</u> 16,29	<u>0,84</u> 11,99	<u>0,06</u> 4,97	<u>0,655</u> 28,47
175–200	2,472	2,226		<u>0,041</u> 0,68	<u>0,987</u> 27,8	<u>0,409</u> 8,52	<u>0,143</u> 7,13	<u>0,046</u> 3,78	<u>0,6</u> 26,09

Продолжение табл. 10

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
После первой промывки									
0–25	0,825	0,802	нет	<u>0.037</u> 0,6	<u>0.151</u> 4,25	<u>0.343</u> 7,14	<u>0.013</u> 0,67	<u>0.003</u> 0,22	<u>0.255</u> 11,1
25–50	1,672	1,467		<u>0.024</u> 0,4	<u>0.612</u> 17,25	<u>0.3</u> 6,26	<u>0.053</u> 2,66	<u>0.012</u> 1	<u>0.466</u> 20,25
50–75	2,412	1,882		<u>0.019</u> 0,32	<u>1.007</u> 28,37	<u>0.227</u> 4,74	<u>0.093</u> 4,66	<u>0.028</u> 2,33	<u>0.608</u> 26,44
75– 100	3,307	3,029		<u>0.016</u> 0,27	<u>1.251</u> 35,25	<u>0.696</u> 14,5	<u>0.253</u> 12,65	<u>0.053</u> 4,33	<u>0.76</u> 33,04
100–125	2,483	2,376		<u>0.018</u> 0,3	<u>1.034</u> 29,12	<u>0.471</u> 9,82	<u>0.133</u> 6,66	<u>0.032</u> 2,66	<u>0.688</u> 29,72
125–150	2,457	2,376		<u>0.018</u> 0,3	<u>1.054</u> 29,12	<u>0.471</u> 9,82	<u>0.133</u> 6,66	<u>0.032</u> 2,66	<u>0.688</u> 29,72
150–175	2,297	2,086		<u>0.019</u> 0,32	<u>0.909</u> 25,62	<u>0.488</u> 8,5	<u>0.098</u> 4,88	<u>0.031</u> 8,56	<u>0.621</u> 27
175–200	2,052	1,6		<u>0.024</u> 0,4	<u>0.816</u> 23	<u>0.349</u> 7,28	<u>0.075</u> 3,77	<u>0.026</u> 2,11	<u>0.57</u> 24,8
После второй промывки									
0–25	0,375	0,373	<u>0.003</u> 0,10	<u>0.052</u> 0,85	<u>0.035</u> 1	<u>0.163</u> 3,39	<u>0.007</u> 0,3	<u>0.003</u> 0,22	<u>0.11</u> 4,79
25–50	0,842	0,772	<u>0.001</u> 0,05	<u>0.058</u> 0,95	<u>0.133</u> 3,75	<u>0.321</u> 6,68	<u>0.008</u> 0,39	<u>0.004</u> 0,28	<u>0.247</u> 10,76
50–75	1,347	1,147	нет	<u>0.046</u> 0,75	<u>0.412</u> 11,62	<u>0.282</u> 5,67	<u>0.027</u> 2,33	<u>0.009</u> 0,78	<u>0.371</u> 16,13
75–100	1,912	1,641		<u>0.037</u> 0,6	<u>0.754</u> 21,25	<u>0.255</u> 5,31	<u>0.062</u> 3,11	<u>0.021</u> 1,77	<u>0.512</u> 22,28
100–125	1,765	1,725		<u>0.003</u> 0,55	<u>0.852</u> 24	<u>0.206</u> 4,29	<u>0.055</u> 2,77	<u>0.023</u> 1,89	<u>0.556</u> 24,18
125–150	2,182	2,099		<u>0.037</u> 0,6	<u>0.863</u> 24,87	<u>0.12</u> 8,97	<u>0.03</u> 5,99	<u>0.03</u> 2,45	<u>0.598</u> 26
150–175	2,01	1,838		<u>0.037</u> 0,60	<u>0.750</u> 21,12	<u>0.397</u> 8,26	<u>0.091</u> 4,53	<u>0.024</u> 2	<u>0.539</u> 23,43
175–200	1,317	1,179		<u>0.040</u> –	<u>0.519</u> 14,62	<u>0.192</u> 14,62	<u>0.033</u> 1,66	<u>0.011</u> 0,89	<u>0.384</u> 16,72

Окончание табл. 10

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
После третьей промывки									
0-25	0,2	0,194	<u>0,001</u> 0,05	<u>0,065</u> 1,07	<u>0,016</u> 0,44	<u>0,053</u> 1,10	<u>0,002</u> 0,11	<u>0,001</u> 0,11	<u>0,056</u> 2,44
25-50	0,332	0,322	<u>0,001</u> 0,05	<u>0,077</u> 1,27	<u>0,018</u> 0,50	<u>0,126</u> 2,62	<u>0,002</u> 0,11	<u>0,001</u> 0,11	<u>0,097</u> 4,22
75-100	0,677	0,662	нет	<u>0,064</u> 1,05	<u>0,078</u> 2,19	<u>0,304</u> 6,33	<u>0,012</u> 0,61	<u>0,003</u> 0,22	<u>0,201</u> 8,74
100-125	1,575	1,4		<u>0,037</u> 0,60	<u>0,297</u> 8,37	<u>0,593</u> 12,35	<u>0,059</u> 2,94	<u>0,01</u> 0,83	<u>0,404</u> 17,55
125-150	2,052	1,817		<u>0,027</u> 0,45	<u>0,568</u> 16,00	<u>0,593</u> 12,35	<u>0,105</u> 5,22	<u>0,02</u> 1,66	<u>0,504</u> 21,82
150-175	1,5	1,493		<u>0,027</u> 0,45	<u>0,552</u> 15,56	<u>0,388</u> 8,08	<u>0,071</u> 3,55	<u>0,019</u> 1,55	<u>0,436</u> 18,48
175-200	1,445	1,222		<u>0,024</u> 0,40	<u>0,532</u> 15,00	<u>0,223</u> 4,64	<u>0,044</u> 2,22	<u>0,012</u> 1	<u>0,387</u> 16,82

Существенному промывному воздействию подверглись общая щелочность и катион натрия, что, на наш взгляд, можно объяснить нейтрализующим действием внесенного в почву гипса. Это заметно по содержанию кальция, количество которого резко уменьшилось при первой промывке почвы.

Сказанное находит полное объяснение в данных по дифференциации и сопряженности солевых масс в профиле почвогрунта. Как видно из табл. 11, первая промывка способствовала резкому расходу не только внесенного в почву, но и самого почвенного гипса в поверхностных горизонтах. В слое 0-0,5 м содержание только почвенного гипса уменьшилось почти на 0,3%, или на 19 *м/га*. Но вместе с тем в том же слое появились новые соли, в частности соли сернокислого натрия (0,35% или 22,5 *м/га*), которого до промывки в почве не было. Это вызвано тем, что в процессе промывки первой нормой воды кальцием гипса обменный натрий вытеснялся в почвенный раствор и образовывал вторичные соли — Na_2SO_4 . Этому процессу обязано также появление вторичных солей сернокислого натрия в слое 125-200 см (табл. 11).

Таблица 11
Дифференциация и сопряженность солевых масс при промывке почв с применением 10 т/га гипса (%/ т/га)

Глубина, см	$\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$	$\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$	NaHCO_3	CaSO_4	MgSO_4	Na_2SO_4	CaCl_2	MgCl_2	NaCl	Na_2CO_3	Сумма солей	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
До промывки												
0-25	0,055 1,705	нет	нет	0,360 11,160	0,057 1,767	нет	нет	0,097 3,007	1,364 42,284	нет	1,933 59,923	
25-50	0,042 1,47			0,252 8,820	нет		0,058 2,030	0,159 5,565	1,526 53,565		2,037 71,295	
50-75	0,048 1,8			0,254 9,524			0,089 3,337	0,254 9,524	1,553 58,237		2,198 82,422	
75-100	0,048 1,8	нет	нет	0,254 9,524	нет	нет	0,089 3,337	0,254 9,524	1,553 58,237	нет	2,198 82,422	
100-125	0,052 1,846			0,404 14,342			0,046 1,633	нет	0,147 5,218		1,597 56,693	2,246 79,732
150-175	0,052 1,892			0,772 28,178			0,296 10,804		0,004 0,146		1,666 60,809	2,790 101,829
175-200	0,055 2,035	нет	нет	0,439 16,243	0,124 4,558	нет	нет	0,081 2,997	1,526 56,462	нет	2,225 82,325	

Продолжение табл. 11

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
После первой промывки											
0-25	0,049 1,519			0,005 0,155	0,013 0,403	0,486 15,006			0,249 7,719		0,802 24,862
25-50	0,032 1,12			0,018 0,63	0,06 2,1	0,213 7,455		нет	1,009 35,315		1,332 46,62
50-75	0,026 0,975			0,295 11,062	0,024 0,9			0,916 34,35	1,547 58,012		2,808 105,3
75-100	0,026 0,962			2,292 10,804	нет	нет	0,008 0,296	0,111 4,107	1,624 60,088	нет	2,061 76,257
100-125	0,022 0,781			0,842 29,891	0,127 4,508			0,105 3,727	1,933 68,621		3,029 107,529
125-150	0,024 0,864			0,432 15,552	0,16 5,76	0,056 2,016			1,703 61,308		2,375 85,5
150-175	0,026 0,949			0,31 11,315	0,154 5,621	0,098 3,577		нет	1,499 54,713		2,087 76,175
175-200	0,032 1,184			0,168 6,216	0,104 3,848	0,128 4,736			1,345 49,765		1,777 28,749
После второй промывки											
0-25	0,026 0,806	0,016 0,496	0,025 0,775	нет	нет	0,275 8,525	нет	нет	0,058 1,798	0,005 0,155	0,405 12,555

Продолжение табл. 11											
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
25-50	<u>0,031</u> 1,085	<u>0,02</u> 0,7	<u>0,023</u> <u>0,805</u>	нет	нет	<u>0,474</u> 16,590			<u>0,212</u> 7,665	<u>0,002</u> 0,070	<u>0,769</u> 26,915
50-75	<u>0,06</u> 2,25			<u>0,107</u> 4,012	<u>0,407</u> 15,262	<u>0,249</u> 9,337			<u>0,680</u> 25,500		<u>1,143</u> 42,862
75-100	<u>0,049</u> 1,813			<u>0,172</u> 6,327	<u>0,106</u> 3,922	<u>0,073</u> 2,701			<u>1,243</u> 45,991		<u>1,642</u> 60,764
100-125	<u>0,044</u> 1,562			<u>0,192</u> 6,816	<u>0,113</u> 4,011	<u>0,013</u> 0,461		нет	<u>1,404</u> 49,842		<u>1,695</u> 60,172
125-150	<u>0,049</u> 1,764	нет	нет	<u>0,366</u> 13,176	<u>0,147</u> 5,292	<u>0,086</u> 2,880		нет	<u>1,455</u> 52,380	нет	<u>2,097</u> 75,497
150-175	<u>0,049</u> 1,788			<u>0,320</u> 11,680	<u>0,120</u> 4,380	<u>0,135</u> 4,927			<u>1,235</u> 45,077		<u>1,855</u> 67,707
175-200	<u>0,056</u> 2,072			<u>0,113</u> 4,181	<u>0,063</u> 2,331	<u>0,110</u> 4,070			<u>0,855</u> 31,635		<u>1,197</u> 44,289

Окончание табл. 11											
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
После третьей промывки											
0-25	$\frac{0,009}{0,279}$	$\frac{0,008}{0,248}$	$\frac{0,071}{2,201}$	нет	нет	$\frac{0,078}{2,418}$	нет	нет	$\frac{0,026}{0,806}$	нет	$\frac{0,193}{5,952}$
	$\frac{0,002}{0,315}$	$\frac{0,008}{0,280}$	$\frac{0,088}{3,080}$			$\frac{0,186}{6,510}$			$\frac{0,022}{1,015}$		$\frac{0,322}{11,200}$
Анализы не произведены											
75-100	$\frac{0,049}{1,813}$	$\frac{0,016}{0,592}$	$\frac{0,018}{0,666}$	нет	нет	$\frac{0,450}{16,650}$	нет	нет	$\frac{0,128}{4,736}$	нет	$\frac{0,661}{24,457}$
	$\frac{0,049}{1,739}$	нет	$\frac{0,059}{5,664}$			$\frac{0,050}{1,775}$			$\frac{0,652}{23,146}$		$\frac{0,489}{17,359}$
125-150	$\frac{0,036}{1,296}$		нет	нет	$\frac{0,324}{11,664}$	$\frac{0,099}{3,564}$	$\frac{0,420}{15,120}$	нет	$\frac{0,936}{33,696}$	нет	$\frac{1,815}{65,340}$
150-175	$\frac{0,036}{1,314}$	$\frac{0,211}{7,701}$			$\frac{0,094}{3,431}$	$\frac{0,243}{8,861}$	$\frac{0,910}{33,215}$		$\frac{1,494}{54,530}$		
175-200	$\frac{0,032}{1,184}$	нет	нет	$\frac{0,123}{4,551}$	$\frac{0,060}{2,220}$	$\frac{0,129}{4,773}$	нет	нет	$\frac{0,877}{32,449}$	нет	$\frac{1,221}{45,177}$

Итак, первая промывка способствовала значительному удалению из верхних горизонтов почв хлористых солей. Почвенный профиль почти полностью освободился от хлористого кальция. Полному освобождению от хлористого магния подвергся также верхний полуметровый слой почв, однако отмечалась значительная аккумуляция его в слое 50–75 см. В поверхностных горизонтах резко снизилось содержание хлористого натрия, хотя в средней части профиля отмечалось некоторое накопление его (табл. 11). Заметному вымыванию подвергся двууглекислый кальций. Все это указывает на то, что в промывных почвах, в высокой степени насыщенных обменным натрием, растворимость не только почвенного, но и внесенного гипса в почвенном растворе, вытесняемом промывной водой, сильно повышается, так как одновременно происходит расходование кальция гипса на обменные реакции, образование вторичных солей сульфатов и непосредственное вымывание его в виде сернокислого кальция.

Аналогичное явление отмечалось в опытах (в монолитах) П.С.Панина (1967). Им установлено, что количество SO_4 -иона в промывной воде (в пересчете на $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) более чем в три раза превышает наибольшую растворимость гипса в присутствии хлорида натрия и в тридцать раз больше, чем в дистиллированной воде.

Такой активный переход кристаллического гипса в растворимое состояние в единице объема воды объясняется не только фильтрацией воды через почвенную толщу, обогащенную обменным натрием, но и постоянным перемещением и удалением продуктов обменных реакций.

Вторая промывка ($4000+4000 \text{ м}^3/\text{га}$) продолжала заметное вымывание солей в исследованной двухметровой толще почвы (рис. 4).

В отличие от результатов первой промывки, SO_4 -ионы при второй промывке подверглись в пахотном слое существенному вымыванию (более чем наполовину). Отмечалось также явное уменьшение в профиле почв воднорастворимых катионов кальция и магния, что создало благоприятные условия для образования CO_3 в поверхностных горизонтах почв.

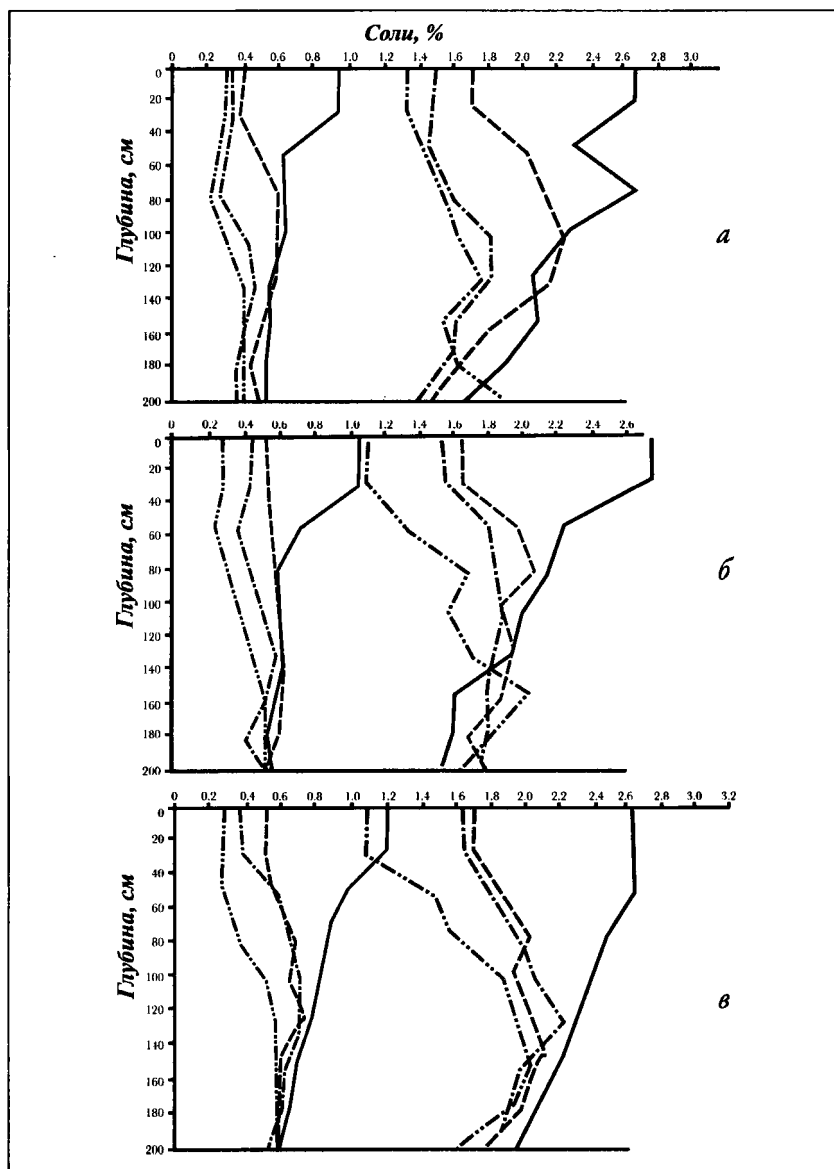
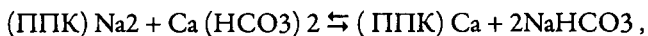
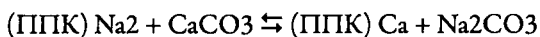


Рис. 4. Характер выщелачивания солей при промывке с внесением: а — 10 т/га гипса; б — 20 т/га гипса; в — 40 т/га гипса. Остальные обозначения как на рис. 2

Как видно из табл. 11, сернокислые соли кальция и магния после второй промывки подверглись полному вымыванию в поверхностном полуметровом слое. Взамен этого здесь появились соли Na_2CO_3 и NaHCO_3 , весьма вредные для растений. При значительном количестве в поглощающем комплексе ионов Na образование соды в процессе промывки карбонатных почв в условиях отсутствия гипса в почве можно объяснить следующей реакцией:



где ППК — почвенно-поглощающий комплекс.

Отмеченное хорошо коррелируется с данными по содержанию отдельных солей. Так (табл. 11), содержание бикарбоната кальция в характеризующих горизонтах почвы заметно уменьшилось в результате расходования на образование соды. Уменьшилось и количество кальция.

В процессе второй промывки довольно сильно вымывались хлористые соли. При этом хлористый кальций и хлористый магний полностью удалялись из исследованной толщи почвогрунта. Содержание же хлористого натрия в полуметровом верхнем слое почвы уменьшилось более чем в четыре раза (с 0,63 до 0,14%, или с 43 до 9,5 *м/га*). Количество выщелоченных солей натрия в слое 0,1 м составляет 80 *м/га*, а в слое 1–2 м — 56 *м/га*.

Характерные данные получены и по сернокислому натрию, содержание которого в слое 0,5 м уменьшилось наполовину, а в слое 0,5–1,0 м составило 0,16%. Небольшое увеличение количества сернокислого натрия отмечалось в слое 1–2 м (табл. 11), что, очевидно, связано с вторичным образованием этой соли.

Таким образом, вторая промывка способствовала существенному рассолению почвенного профиля. Наличие некоторых неблагоприятных изменений в солевом составе почвы, очевидно, связано с малой дозой применяемого гипса, что подтверждается данными после третьей промывки. Хотя третья промывка и способствовала значительному продолжению рассоления почв (рис. 4), однако неблагоприятные сочетания в солевом составе почв, за исключением нормальной соды, сохранились. Так, если ранее появившаяся в небольшом количестве Na_2CO_3 подверглась

выщелачиванию и исчезновению из почвенного профиля, то впоследствии продолжало увеличиваться содержание NaHCO_3 , охватившей более мощные толщи почвы. В горизонтах с бикарбонатом натрия соли сернокислого кальция и магния полностью исчезли (табл. 11). Верхний слой почвы мощностью 75 см опреснился по хлористому натрию почти до порога токсичности, а глубокие слои почвогрунта сильно рассолились.

Резюмируя сказанное о промывке почв с применением гипса в размере 10 т/га, следует отметить, что этот способ по сравнению с промывкой только водой резко ускоряет процессы рассоления почв. Появившиеся в небольшом количестве вредные соли, такие Na_2CO_3 и NaHCO_3 , как показало поведение нормальной соды, могут быть легко удалены последующими порциями промывной воды. Предотвратить же появление при промывке более вредных щелочных солей, по-видимому, можно будет путем некоторого увеличения дозы вносимого гипса.

Интенсивность выщелачивания солей здесь, с одной стороны, связана с исходным запасом солей, а с другой — причем в не меньшей степени — от глубины и мощности промываемого слоя почв.

В связи со значительным увеличением фильтрационной способности почв в этом варианте промывки интенсивность выщелачивания солевых масс как бы сглаживается, лишь для верхнего полуметрового слоя вырисовывается довольно последовательная выщелоченность солевых масс (рис. 5а).

Один кубический метр воды выщелачивал из верхнего метрового слоя почв при первой промывке 14,93, при второй — 15,21 и при третьей — 3,65 кг/га солей по плотному остатку. Для второго метрового слоя эти показатели соответственно составили: 4,35; 7,39 и 0,43 кг/га. Хлористых солей один кубический метр воды выщелачивал из первого метрового слоя 9,05; 4,50 и 2,53 кг/га, а из второго — 1,52; 3,88 и 0,54 кг/га солей.

При промывке почв с внесением гипса из расчета 10 т/га на выщелачивание одной тонны солей потребовалось 89,5 м³ воды на 1 га. При промывке же без применения химических мелиорантов на это потребовалось 413,8 м³/га воды. Все это указывает на резкое увеличение солеотдачи почв при промывке с внесением гипса, что

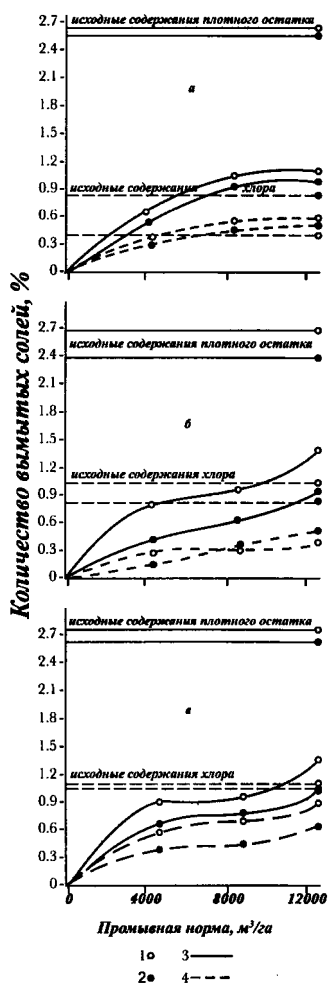


Рис. 5. Интенсивность выщелачивания солей при промывке почв с внесением : а — 10 т/га гипса; б — 20 т/га гипса; в — 40 т/га гипса; 1 — слой 0–0,5 м; 2 — слой 0–1,0 м; 3 — плотный остаток; 4 — хлор.

связано с резким улучшением физико-химических и водно-физических свойств почв. Выяснилось, что внесенный гипс повышает фильтрацию воды в почву почти в три раза (с 9,2 до 25,0 см^3 в течение 10 мин).

Положительное действие внесенного гипса подтвердилось также повышенной урожайностью культурных растений. Так, урожай хлопчатника в вегетационных опытах составил с применением удобрения 16,73 г, а без применения удобрения — 7,18 г на сосуд при урожае в варианте промывки только водой 8,39 и 3,51 г.

Урожай зеленой массы гороха кормового в этом варианте опыта составил 127,6 г с применением удобрений и 25,1 г без удобрения при полном отсутствии урожая в контрольном варианте (промывка только водой).

Промывка почв с внесением 20 т/га гипса

Эта промывка заметно снизила солесодержание в профиле почв. Это изменение в основном произошло в верхнем метровом слое почвы (рис. 4 б), причем первая промывка сводоподачей 400 $\text{м}^3/\text{га}$ незначительно снизила солесодержание в верхнем (125 см) слое почвы. В среднем же для метрового слоя запасы солей уменьшились почти на 58 т/га по

плотному остатку и на 19 т/га по хлору. Солевымывание произошло главным образом за счет более легкоподвижных компонентов (табл. 12), а небольшое изменение содержания плотного остатка, очевидно, вызвано увеличением общего содержания солей в почве за счет растворения внесенного в большой дозе гипса. Примечательно, что выщелачивания натрия в профиле почв не наблюдалось, в верхнем полуметровом слое даже происходило некоторое увеличение его количества, а в глубже лежащих горизонтах содержание натрия значительно уменьшилось. Это, на первый взгляд, противоречивое явление, по-видимому, обусловлено, с одной стороны, внесением гипса, вытеснением из почвенно-поглощающего комплекса обменного натрия и переходом его в почвенный раствор, а с другой - подтягиванием легкорастворимого натрия из нижних горизонтов почвы. Это предположение подтверждается данными до дифференциации и сопряженности солевых масс.

Таблица 12

Изменение содержания солевых компонентов почв
при промывке с применением 20 т/га гипса (%/мекв)

Глубина, см	Плотн. остаток	CO ₃	HCO ₃	Cl	SO ₄	Ca	Mg	Na+K
1	2	3	4	5	6	7	8	9
До промывки								
0-25	3,332	нет	<u>0,017</u> 0,28	<u>0,629</u> 45,9	<u>0,24</u> 5	<u>0,247</u> 12,31	<u>0,072</u> 5,94	<u>0,757</u> 32,93
25-50	2,086		<u>0,022</u> 0,36	<u>0,82</u> 23,1	<u>0,372</u> 7,75	<u>0,13</u> 6,48	<u>0,042</u> 3,46	<u>0,489</u> 21,27
50-75	2,120		<u>0,024</u> 0,4	<u>2,952</u> 24	<u>0,36</u> 7,5	<u>0,13</u> 6,48	<u>0,041</u> 3,35	<u>0,508</u> 22,07
75-100	1,992		<u>0,024</u> 0,4	<u>0,859</u> 24,2	<u>0,264</u> 5,5	<u>0,115</u> 5,72	<u>0,025</u> 2,05	<u>0,523</u> 22,32
100-125	1,146		<u>0,024</u> 0,4	<u>0,916</u> 35,8		<u>0,108</u> 5,4	<u>0,035</u> 2,92	<u>0,571</u> 24,84
125-150	1,978		<u>0,024</u> 0,4	<u>0,905</u> 25,5	<u>0,276</u> 5,75	<u>0,087</u> 4,32	<u>0,034</u> 2,81	<u>0,564</u> 24,52

Продолжение табл. 12

1	2	3	4	5	6	7	8	9
150–175	2,072	–	<u>0,024</u> 0,44	<u>0,887</u> 25	<u>0,381</u> 7,94	<u>0,095</u> 4,75	<u>0,038</u> 3,13	<u>0,585</u> 25,46
175–200	1,972	–	<u>0,027</u> 0,44	<u>0,792</u> 22,3	<u>0,448</u> 9,33	<u>0,1</u> 4,97	<u>0,03</u> 2,48	<u>0,566</u> 24,62
После первой промывки								
0–25	2,87	нет	<u>0,027</u> 0,44	<u>0,820</u> 23,1	<u>1,014</u> 21,12	<u>0,13</u> 6,41	<u>0,049</u> 4	<u>0,786</u> 34,18
25–50	2,71	–	<u>0,027</u> 0,44	<u>0,465</u> 13,1	<u>1,328</u> 27,77	<u>0,156</u> 7,78	<u>0,049</u> 4	<u>0,677</u> 29,42
50–75	2,03	–	<u>0,034</u> 0,56	<u>0,128</u> 3,6	<u>1,214</u> 25,29	<u>0,117</u> 5,83	<u>0,029</u> 2,38	<u>0,489</u> 21,24
75–100	1,23	–	<u>0,046</u> 0,76	<u>0,05</u> 1,4	<u>0,734</u> 15,29	<u>0,032</u> 1,62	<u>0,008</u> 0,65	<u>0,349</u> 15,18
100–125	1,346	–	<u>0,039</u> 0,64	<u>0,039</u> 1,1	<u>0,778</u> 16,21	<u>0,045</u> 2,27	<u>0,012</u> 2,27	<u>0,338</u> 14,71
125–150	1,33	–	<u>0,037</u> 0,6	<u>0,035</u> 1	<u>0,847</u> 17,64	<u>0,063</u> 3,13	<u>0,036</u> 2,22	<u>0,308</u> 13,19
150–175	0,824	–	<u>0,049</u> 0,8	<u>0,035</u> 1	<u>0,464</u> 9,67	<u>0,019</u> 0,97	<u>0,009</u> 0,76	<u>0,224</u> 9,74
175–200	0,989	–	<u>0,044</u> 0,72	<u>0,057</u> 1,6	<u>0,495</u> 10,29	<u>0,028</u> 1,4	<u>0,009</u> 0,76	<u>0,24</u> 10,45
После второй промывки								
0–25	1,68	нет	<u>0,03</u> 0,9	<u>0,053</u> 1,5	<u>0,08</u> 22,48	<u>0,249</u> 12,43	<u>0,019</u> 1,56	<u>0,241</u> 10,49
25–50	2,142	–	<u>0,037</u> 0,6	<u>0,364</u> 10,25	<u>1,008</u> 20,99	<u>1,191</u> 9,55	<u>0,023</u> 1,88	<u>0,469</u> 20,41
50–75	2,16	–	<u>0,037</u> 0,6	<u>0,754</u> 21,15	<u>0,531</u> 11,05	<u>0,129</u> 6,44	<u>0,028</u> 2,33	<u>0,555</u> 24,13
75–100	2,655	–	<u>0,033</u> 0,55	<u>1,105</u> 31,12	<u>0,315</u> 6,56	<u>0,125</u> 6,22	<u>0,034</u> 2,77	<u>0,672</u> 29,24
100–125	2,467	–	<u>0,037</u> 0,8	<u>1,034</u> 29,12	<u>0,271</u> 6,64	<u>0,102</u> 5,11	<u>0,027</u> 2,22	<u>0,645</u> 28,03

Окончание табл. 12

125–150	2,865	–	<u>0,033</u> 0,55	<u>1,198</u> 33,75	<u>0,541</u> 11,26	<u>0,178</u> 8,88	<u>0,042</u> 3,44	<u>0,764</u> 33,24
150–175	2,895	–	<u>0,033</u> 0,55	<u>1,025</u> 28,87	<u>0,627</u> 13,05	<u>0,169</u> 8,44	<u>0,038</u> 3,1	<u>0,711</u> 30,33
175–200	2,922	–	<u>0,033</u> 0,55	<u>0,958</u> 27	<u>0,712</u> 14,82	<u>0,176</u> 8,77	<u>0,039</u> 3,22	<u>0,712</u> 30,38
После третьей промывки								
0–25	0,637	Нет	<u>0,033</u> 0,55	<u>0,02</u> 0,56	<u>0,287</u> 5,97	<u>0,022</u> 1,11	<u>0,005</u> 0,44	<u>0,187</u> 5,53
25–50	0,800	–	<u>0,033</u> 0,55	<u>0,102</u> 2,47	<u>0,398</u> 8,29	<u>0,026</u> 1,78	<u>0,007</u> 0,55	<u>0,216</u> 9,38
50–75	1,470	–	<u>0,03</u> 0,5	<u>0,3821</u> 0,75	<u>0,453</u> 9,43	<u>0,069</u> 3,44	<u>0,013</u> 1,11	<u>0,371</u> 16,13
75–100	1,140	–	<u>0,03</u> 0,5	<u>0,412</u> 11,62	<u>0,203</u> 4,23	<u>0,022</u> 1,11	<u>0,005</u> 0,44	<u>0,34</u> 14,8
100–125	1,660	–	<u>0,027</u> 0,45	<u>0,588</u> 16,56	<u>0,364</u> 7,58	<u>0,058</u> 2,89	<u>0,015</u> 1,22	<u>0,471</u> 20,48
125–150	1,755	–	<u>0,03</u> 0,5	<u>0,696</u> 19,62	<u>0,261</u> 5,43	<u>0,049</u> 2,44	<u>0,017</u> 1,44	<u>0,498</u> 21,67
150–175	1,750	–	<u>0,022</u> 0,37	<u>0,781</u> 22	<u>0,17</u> 3,54	<u>0,05</u> 2,5	<u>0,018</u> 1,5	<u>0,504</u> 21,91
175–200	1,473	–	<u>0,022</u> 0,37	<u>0,648</u> 18,25	<u>0,255</u> 5,31	<u>0,045</u> 3,27	<u>0,015</u> 1,28	<u>0,469</u> 20,38

Как видно из данных табл. 13, содержание солей по серно-кислороду натрия в верхнем полуметровом слое заметно увеличивалось, а глубже он подвергался существенному вымыванию. В довольно большом количестве появился сернокислый натрий, отсутствовавший в полуметровом слое до промывки.

Первая промывка способствовала уже полному удалению из почвенно-грунтовой толщи хлористых солей CaCl_2 и MgCl_2 и резкому вымыванию NaCl (табл. 13).

Малое вымывание из верхних горизонтов и резкое увеличение количества выщелоченный (выщелоченных) солей по

хлористому натрию из нижних горизонтов, как и следовало ожидать, вызвано изменением состава солей в верхних горизонтах почв в сторону сульфатности, (что в определенной степени затрудняло растворимость хлоридов) и повышением фильтрационных свойств почв в результате вытеснения обменного натрия кальцием внесенного гипса из почвенно-поглощающего комплекса.

Таблица 13

Дифференциация и сопряженность солевых масс при промывке почв с применением 20 т/га гипса (%/ т/га)

Глубина, см	$\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$	CaSO_4	MgSO_4	Na_2SO_4	CaCl_2	MgCl_2	NaCl	Сумма со- лей
1	2	3	4	5	6	7	8	9
До промывки								
0–25	<u>0.023</u> 0,713	<u>0.34</u> 10,54	нет	нет	<u>0.391</u> 12,121	<u>0.282</u> 8,742	<u>1.926</u> 59,706	<u>2.962</u> 91,822
25–50	<u>0.029</u> 1,015	<u>0.461</u> 14,56	<u>0.098</u> 3,43		<u>0.087</u> 3,045	<u>1.244</u> 43,505	<u>1.874</u> 65,555	
50–75	<u>0.032</u> 1,2	<u>0.414</u> 15,525	<u>0.085</u> 3,187		<u>0.092</u> 3,45	<u>1.291</u> 48,412	<u>1.914</u> 71,774	
75–100	<u>0.032</u> 1,184	<u>0.361</u> 13,357	<u>0.011</u> 0,407		<u>0.088</u> 3,256	<u>0.305</u> 48,285	<u>1.797</u> 66,489	
100–125	<u>0.032</u> 1,136	<u>0.340</u> 12,07	<u>0.118</u> 1,189		<u>0.046</u> 1,633	<u>0.453</u> 51,582	<u>1.989</u> 70,61	
125–150	<u>0.032</u> 1,152	<u>0.266</u> 5,576	<u>0.11</u> 3,9		<u>0.047</u> 1,692	<u>1.434</u> 51,624	<u>1.889</u> 68,004	
150–175	<u>0.032</u> 1,168	<u>0.296</u> 10,804	<u>0.188</u> 6,862	<u>0.033</u> 1,204	нет	<u>1.462</u> 53,363	<u>2.011</u> 73,401	
175–200	<u>0.036</u> 1,332	<u>0.308</u> 11,396	<u>0.149</u> 5,513	<u>0.164</u> 6,068		<u>1.305</u> 48,285	<u>1.962</u> 72,594	

Продолжение табл. 13

1	2	3	4	5	6	7	8	9
После первой промывки								
0-25	<u>0.036</u> 1,116	<u>0.411</u> 12,741	<u>0.24</u> 7,44	<u>0.787</u> 24,397	нет	нет	<u>1.351</u> 41,881	<u>2.825</u> 87,575
25-50	<u>0.036</u> 1,26	<u>0.499</u> 17,465	<u>0.24</u> 8,4	<u>1.158</u> 40,53			<u>0.766</u> 26,810	<u>2.699</u> 94,465
50-75	<u>0.045</u> 1,697	<u>0.358</u> 13,425	<u>0.143</u> 5,362	<u>1.253</u> 46,987			<u>0.211</u> 7,912	<u>2.010</u> 75,383
75-100	<u>0.061</u> 2,257	<u>0.058</u> 2,146	<u>0.039</u> 1,443	<u>0.978</u> 56,186			<u>0.082</u> 3,034	<u>1.218</u> 46,066
100-125	<u>0.052</u> 1,846	<u>0.111</u> 3,94	<u>0.059</u> 2,094	<u>0.966</u> 34,293			<u>0.064</u> 2,272	<u>1.252</u> 44,445
125-150	<u>0.048</u> 1,728	<u>0.172</u> 6,191	<u>0.172</u> 6,3	<u>0.865</u> 31,14			<u>0.056</u> 2,088	<u>1.146</u> 47,448
150-175	<u>0.065</u> 2,372	<u>0.11</u> 0,401	<u>0.045</u> 0,642	<u>0.62</u> 22,63			<u>0.058</u> 2,117	<u>0.779</u> 29,162
175-200	<u>0.058</u> 2,146	<u>0.047</u> 1,739	<u>0.045</u> 1,665	<u>0.628</u> 23,236			<u>0.094</u> 3,478	<u>0.872</u> 32,264
После второй промывки								
0-25	<u>0.044</u> 1,364	<u>0.039</u> 1,209	<u>0.024</u> 0,744	<u>0.353</u> 10,943	нет	нет	<u>0.033</u> 1,023	<u>0.493</u> 15,283
25-50	<u>0.044</u> 1,54	<u>0.84</u> 2,94	<u>0.033</u> 1,155	<u>0.462</u> 16,17			<u>0.168</u> 5,88	<u>0.791</u> 27,685
50-75	<u>0.04</u> 1,5	<u>0.2</u> 7,5	<u>0.066</u> 2,475	<u>0.382</u> 14,325			<u>0.629</u> 23,587	<u>1.317</u> 49,387
75-100	<u>0.04</u> 1,48	<u>0.041</u> 1,517	<u>0.026</u> 0,962	<u>0.226</u> 8,362			<u>0.679</u> 25,123	<u>1.012</u> 37,444
100-125	<u>0.052</u> 1,846	<u>0.111</u> 3,94	<u>0.059</u> 2,094	<u>0.966</u> 34,293			<u>0.064</u> 2,272	<u>1.252</u> 44,445
125-150	<u>0.048</u> 1,728	<u>0.172</u> 6,192	<u>0.175</u> 6,3	<u>0.865</u> 31,14			<u>0.058</u> 2,088	<u>1.146</u> 47,448
150-175	<u>0.065</u> 2,372	<u>0.11</u> 1,401	<u>0.045</u> 0,642	<u>0.62</u> 22,63			<u>0.058</u> 2,117	<u>0.799</u> 29,162
175-200	<u>0.058</u> 2,146	<u>0.047</u> 1,739	<u>0.045</u> 1,665	<u>0.628</u> 23,236			<u>0.094</u> 3,478	<u>0.872</u> 32,264

Окончание табл. 13

1	2	3	4	5	6	7	8	9
После третьей промывки								
0–25	<u>0,044</u> 1,364	<u>0,039</u> 1,209	<u>0,024</u> 1,744	<u>0,353</u> 10,943	нет	нет	<u>0,033</u> 1,023	<u>0,493</u> 15,283
25–50	<u>0,044</u> 1,54	<u>0,84</u> 2,94	<u>0,033</u> 1,153	<u>0,462</u> 16,17			<u>0,168</u> 5,88	<u>0,791</u> 27,685
50–75	<u>0,04</u> 1,5	<u>0,2</u> 7,5	<u>0,066</u> 2,475	<u>0,382</u> 14,325			<u>0,629</u> 23,587	<u>1,317</u> 49,387
75–100	<u>0,04</u> 1,48	<u>0,041</u> 1,517	<u>0,026</u> 0,962	<u>0,226</u> 8,362			<u>0,679</u> 25,123	<u>1,012</u> 37,444
100–125	<u>0,036</u> 1,278	<u>0,166</u> 5,893	<u>0,074</u> 2,627	<u>0,278</u> 9,869			<u>0,969</u> 34,399	<u>1,523</u> 54,066
125–150	<u>0,04</u> 1,44	<u>0,132</u> 4,752	<u>0,086</u> 3,096	<u>0,145</u> 5,22			<u>1,147</u> 41,192	<u>1,55</u> 55,8
150–175	<u>0,03</u> 1,095	<u>0,145</u> 5,292	<u>0,085</u> 3,102	нет			<u>1,282</u> 46,793	<u>1,542</u> 56,282
175–200	<u>0,03</u> 1,11	<u>0,129</u> 4,773	<u>0,076</u> 2,812	<u>0,051</u> 5,587			<u>1,068</u> 39,516	<u>1,454</u> 53,798

Должен заметить, что при внесении гипса из расчета 20 т/га скорость фильтрации воды в почве до того увеличивается, что, помимо более легкоподвижных солей, существенно рассолятся и нижние горизонты почвы за счет менее подвижных солей, таких как сернокислый кальций и сернокислый магний (табл. 13).

Вторая промывка продолжала рассоление почв в верхних горизонтах почв (рис. 46). Особенно резкое рассоление отмечалось в верхнем 25-сантиметровом слое почвы, где содержание солей уменьшилось на 1,2%, в том числе хлора — на 0,77% и натрия — на 0,54%. В других горизонтах почв существенных изменений не произошло. В данном случае поданная в почву норма воды была, очевидно, израсходована для растворения имеющихся в почве менее растворимых солей.

В связи с этим при третьей промывке (4000+4000+4000 м³/га) почва подверглась существенному рассолению. Рассолением оказалась охвачена вся исследуемая толща почвы. При этом

в первом полуметровом слое общее содержание солей снизилось с 1,91 до 0,72%. Примерно столько же (1,10%) солей вымылось из второго полуметрового слоя почв. Большое рассоление произошло в слое 1–2 м, где содержание плотного остатка уменьшилось более чем на 1,1%.

Характерно, что в верхнем полуметровом слое почвы при третьей норме воды соли вымывались главным образом за счет менее подвижных компонентов почвы. Во втором полуметровом слое отмечалось обратное явление. Здесь количество вымытых солей по хлору составило 0,54%, SO_4 — 0,1% и Са — 0,08%. Катион магния оказался вымытым почти полностью по всему профилю почвогрунта. Примерно наполовину уменьшилось количество воднорастворимого натрия (табл. 12).

Но если содержание HCO_3 -иона в предыдущих промывках несколько увеличилось, не достигнув предела токсичности, то в данном случае оно заметно уменьшилось и абсолютная величина его колебалась в пределах 0,022–0,033%. Небольшое количество этого компонента позволило ему связаться только с катионом кальция и образовать в почве 0,03–0,04% двууглекислого кальция (табл. 13).

После третьей промывки из натриевых солей в почве остался только хлористый натрий, величина которого в пахотном слое достигала всего 0,03%.

В отношении интенсивности солевывывания последовательных промывных норм должен отметить, что здесь по сравнению с предыдущими вариантами опытов из верхнего полуметрового слоя почвы было выщелочено значительно больше солей (рис. 5 б), а из второго полуметрового слоя, наоборот, меньше. Однако интенсивность выщелачивания солевых масс при каждой промывке приобрела совершенно иной характер. Если главная масса солей (53% от суммы выщелоченных солей) из верхнего полуметрового слоя почв выщелачивалось уже при первой промывке, то из второго полуметрового слоя (58%) — только после третьей промывки (при первой промывке — 23%, при второй — 19%). Во втором метровом слое главная масса солей (70%) выщелачивалась при второй промывке. Это вполне закономерно хотя при первой промывке соли из второго метрового слоя вымывались незначительно, это норма воды способствовала активному

растворению имеющихся солей, которые при подаче второй нормы воды легко поддавались вымыванию и удалению. И так как после этого в профиле почв оставалось сравнительно небольшое количество солей, при третьей промывке вымывалось всего 29% их.

За весь период промывки нормой 12 тыс. $\text{м}^3/\text{га}$ из метровой толщи почвы было удалено 127 $\text{т}/\text{га}$ солей по плотному остатку и 65 $\text{т}/\text{га}$ по хлору. На выщелачивание 1 т солей расходовалось воды по плотному остатку 95,5 (94,5) $\text{м}^3/\text{га}$, а по хлору — 184,6 $\text{м}^3/\text{га}$. Все это указывает на то, что при промывке с внесением гипса и с увеличением дозы мелиоранта требуется большой расход воды на выщелачивание 1 т солей, что, по-видимому, объясняется повышением промываемого запаса солей за счет внесенного гипса.

Промывка почв с применением 20 $\text{т}/\text{га}$ гипса повышала фильтрацию воды в пахотном слое почти в пять раз (в течение 10 мин с 10,0 до 45,8 (46,8) см^3), в подпахотном — почти в четыре раза (с 7,4 до 26,6 см^3).

Улучшение свойств мелиорированной почвы при внесении гипса в размере 20 $\text{т}/\text{га}$ подтвердилось результатами полученных урожаев сельскохозяйственных культур. Производительность этой почвы по сравнению с почвой, промытой без применения химических мелиорантов, улучшилась в несколько раз. Урожай в этом варианте опыта достиг по хлопчатнику 12,90 г , по гороху кормовому (зеленая масса) — 124,81 г с сосуда. В условиях без применения удобрения он несколько уменьшился и составил соответственно 6,77 и 20,50 г с сосуда.

Промывка почв с внесением 40 $\text{т}/\text{га}$ гипса

Осуществленная промывка произвела заметное изменение не только в содержании, но и в составе солей в почвогрунтах.

При первой промывке с промывной нормой 4000 $\text{м}^3/\text{га}$ существенное рассоление произошло главным образом в верхнем (75 см) слое почвы. Для метрового слоя содержания вымытых солей составило 0,6% по плотному остатку (рис. 4 в). Наибольшее рассоление произошло по хлору-иону. Содержание же сульфат-иона при первой промывке увеличилось, особенно в слое 75 см, где величина SO_4 повысилась на 0,125%, что вызвано внесением гипса. Заметное вымывание солей отмечалось и по кальций-иону

в толще почвы 0–175 см. То же можно сказать и о магний-ионах. По натрию ощутимые изменения в сторону расслоения почв отмечались только в пахотном слое почвы, где содержание его уменьшилось более чем в 2,5 раза (табл. 14). Почва освобождалась преимущественно от более растворимых и подвижных солей. В почвогрунтах уже отсутствовали хлористый кальций и хлористый магний. Из исследованной 2-метровой толщи почвы при первой промывке только за счет хлористых солей было удалено 172,5 *т/га* солей. Однако этот показатель по сумме всех солей оказался намного меньше (всего ПО *т/га*). Объясняется это изменением содержания других солей, особенно сульфатов (табл. 15). Так, внесение большой дозы гипса, с одной стороны, усиливало процессы выщелачивания легкорастворимых хлористых солей, а с другой — способствовало образованию вторичных солей по всей исследованной глубине почв. Если до промывки в почве не было сернокислого натрия, то после промывки он появился по всей толще почвогрунта и запасы его в 2-метровой толще составили 79,9 *т/га*. В почве в большом количестве появился сернокислый магний (табл. 15). Его содержание в характеризуемой толще почвы повысилось на 21,7 *т/га*. Но должен отметить, что, несмотря на внесение в почву большого количества гипса, запасы его в почве значительно уменьшились (более чем наполовину), что мы объясняем расходом внесенного гипса на вытеснение из почвенно-поглощающего комплекса обменного натрия, в результате которого образовались вторичные соли сернокислого натрия. За счет внесенного гипса отмечалось также образование двууглекислого кальция в верхнем метровом слое почвы.

Вторая промывка явных изменений в расслоение почв не внесла. В среднем для полуметрового верхнего слоя почвы соли были вымыты всего на 0,03% по плотному остатку

Третья промывка привела к резким изменениям в содержании солевых компонентов. Так, если содержание хлор-иона в верхнем полуметровом слое уменьшилось незначительно (на 0,045%), то во втором полуметровом слое оно достигло 0,40%, т.е. уменьшилось наполовину. Заметное расслоение почв по хлор-иону обнаружено и в слое 1–2 м. Аналогичные изменения произошли и с содержанием натрия.

Таблица 14

Изменение содержания солевых компонентов
при промывке почв с применением 40 т/га гипса (%/мекв)

Глубина, см	Плотн. остаток	CO ₃	HCO ₃	Cl	SO ₄	Ca	Mg	Na+K
1	2	3	4	5	6	7	8	9
До промывки								
0-25	2,14	нет	<u>0.032</u> 0,52	<u>0.983</u> 27,7	<u>0.181</u> 3,77	<u>0.115</u> 5,72	<u>0.042</u> 3,46	<u>0.525</u> 22,81
25-50	2,336		<u>0.022</u> 0,36	<u>1.047</u> 29,59	<u>0.339</u> 7,06	<u>0.171</u> 8,53	<u>0.056</u> 4,75	<u>0.544</u> 23,64
50-75	2,646		<u>0.022</u> 0,36	<u>1.115</u> 31,4	<u>0.438</u> 9,12	<u>0.247</u> 12,31	<u>0.064</u> 5,29	<u>0.535</u> 23,28
75-100	2,822		<u>0.022</u> 0,36	<u>1.171</u> 33	<u>0.519</u> 10,81	<u>0.233</u> 11,12	<u>0.063</u> 5,18	<u>0.641</u> 27,87
100-125	2,554		<u>0.022</u> 0,36	<u>1.115</u> 31,4	<u>0.356</u> 7,41	<u>0.184</u> 9,18	<u>0.041</u> 3,35	<u>0.613</u> 26,64
125-150	2,23		<u>0.029</u> 0,48	<u>0.037</u> 29,2	<u>0.273</u> 5,69	<u>0.134</u> 6,7	<u>0.042</u> 3,46	<u>0.58</u> 25,21
150-175	2,826		<u>0.029</u> 0,48	<u>0.033</u> 29,1	<u>0.672</u> 14,21	<u>0.24</u> 11,99	<u>0.054</u> 4,43	<u>0.629</u> 27,37
175-200	2,18		<u>0.032</u> 0,52	<u>0.955</u> 26,9	<u>0.321</u> 6,69	<u>0.113</u> 5,62	<u>0.038</u> 3,13	<u>0.583</u> 25,36
После первой промывки								
0-25	0,69	нет	<u>0.034</u> 0,56	<u>0.114</u> 3,26	<u>0.292</u> 6,08	<u>0.048</u> 2,14	<u>0.005</u> 0,45	<u>0.167</u> 7,25
25-50	1,276		<u>0.032</u> 0,52	<u>0.217</u> 6,1	<u>0.588</u> 12,24	<u>0.053</u> 2,67	<u>0.05</u> 0,45	<u>0.362</u> 15,74
50-75	1,816		<u>0.022</u> 0,36	<u>0.671</u> 18,90	<u>0.463</u> 9,64	<u>0.096</u> 4,81	<u>0.013</u> 1,07	<u>0.529</u> 23,02
75-100	2,255		<u>0.022</u> 0,36	<u>0.937</u> 26,7	<u>0.448</u> 9,33	<u>0.13</u> 6,5	<u>0.027</u> 2,22	<u>0.652</u> 28,37
100-125	2,672		<u>0.019</u> 0,32	<u>1.044</u> 29,4	<u>0.586</u> 12,2	<u>0.148</u> 7,39	<u>0.032</u> 2,67	<u>0.733</u> 31,86
125-150	2,324		<u>0.022</u> 0,36	<u>0.887</u> 25	<u>0.517</u> 10,77	<u>0.121</u> 6,05	<u>0.029</u> 2,4	<u>0.637</u> 21,68
150-175	2,218		<u>0.022</u> 0,36	<u>0.82</u> 23,1	<u>0.498</u> 10,37	<u>0.112</u> 5,61	<u>0.022</u> 1,78	<u>0.608</u> 26,44
175-200	1,896		<u>0.027</u> 0,44	<u>0.770</u> 21,70	<u>0.4</u> 8,33	<u>0.05</u> 2,49	<u>0.007</u> 0,62	<u>0.629</u> 27,36

Окончание табл. 14

1	2	3	4	5	6	7	8	9
После третьей промывки								
0–25	0,464	нет	<u>0,051</u> 0,84	<u>0,021</u> 0,6	<u>0,247</u> 5,14	<u>0,034</u> 1,69	<u>0,006</u> 0,53	<u>0,1</u> 4,36
25–50	1,21		<u>0,051</u> 0,84	<u>0,22</u> 6,2	<u>0,538</u> 11,21	<u>0,073</u> 3,65	<u>0,016</u> 1,33	<u>0,305</u> 13,27
50–75	1,388		<u>0,041</u> 0,68	<u>0,33</u> 9,3	<u>0,55</u> 11,46	<u>0,079</u> 3,92	<u>0,022</u> 1,78	<u>0,363</u> 15,77
75–100	1,348		<u>0,044</u> 0,72	<u>0,486</u> 13,7	<u>0,351</u> 7,31	<u>0,070</u> 0,47	<u>0,009</u> 1,60	<u>0,378</u> 16,66
100–125	1,638		<u>0,041</u> 0,68	<u>0,717</u> 20,2	<u>0,233</u> 4,85	<u>0,068</u> 3,38	<u>0,028</u> 2,31	<u>0,461</u> 20,04
125–150	2,92		<u>0,034</u> 0,56	<u>0,788</u> 22,2	<u>1,034</u> 23,76	<u>0,307</u> 15,31	<u>0,045</u> 3,74	<u>0,632</u> 27,47
150–175	2,47		<u>0,034</u> 0,56	<u>0,863</u> 24,3	<u>0,676</u> 14,06	<u>0,178</u> 8,90	<u>0,055</u> 4,54	<u>0,586</u> 25,48
175–200	2,52		<u>0,037</u> 0,6	<u>0,841</u> 28,7	<u>0,711</u> 14,81	<u>0,187</u> 9,34	<u>0,040</u> 3,29	<u>0,609</u> 25,48

Таблица 15

Дифференциация и сопряженность солевых масс
при промывке почвы с применением 40 т/га гипса (%/ т/га)

Глубина, см	$\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$	CaSO_4	MgSO_4	Na_2SO_4	CaCl_2	MgCl_2	NaCl	Сумма солей
1	2	3	4	5	6	7	8	9
До промывки								
0–25	<u>0,042</u> 1,3	<u>0,256</u> 7,936	нет	нет	<u>0,08</u> 2,48	<u>0,164</u> 5,084	<u>1,335</u> 41,385	<u>1,877</u> 58,177
25–50	<u>0,029</u> 1,025	<u>0,480</u> 16,8			<u>0,061</u> 2,135	<u>0,221</u> 7,735	<u>1,383</u> 48,385	<u>2,174</u> 76,09
50–75	<u>0,029</u> 1,087	<u>0,62</u> 23,35			<u>0,157</u> 5,887	<u>0,251</u> 9,412	<u>1,361</u> 51,037	<u>2,418</u> 90,673
75–100	<u>0,029</u> 1,073	<u>0,731</u> 27,047			нет	<u>0,243</u> 8,991	<u>1,630</u> 60,31	<u>2,636</u> 97,421

Продолжение табл. 15

1	2	3	4	5	6	7	8	9
100–125	<u>0,029</u> 1,029	<u>0,504</u> 17,892	нет	нет	<u>0,067</u> 2,378	<u>0,159</u> 5,644	<u>1,159</u> 55,344	<u>2,318</u> 82,287
125–150	<u>0,039</u> 1,404	<u>0,387</u> 15,093			<u>0,03</u> 1,08	<u>0,164</u> 5,904	<u>1,475</u> 53,1	<u>2,095</u> 76,581
150–175	<u>0,039</u> 1,423	<u>0,782</u> 28,543			нет	<u>0,082</u> 0,993	<u>1,501</u> 54,786	<u>2,404</u> 87,745
175–200	<u>0,042</u> 1,554	<u>0,347</u> 12,839				<u>0,073</u> 2,701	<u>1,483</u> 54,871	<u>2,04</u> 75,56
После первой промывки								
0–25	<u>0,045</u> 1,395	<u>0,107</u> 3,317	<u>0,027</u> 0,837	<u>0,287</u> 8,987	нет	нет	<u>0,187</u> 5,797	<u>0,653</u> 20,243
25–50	<u>0,042</u> 1,47	<u>0,146</u> 5,11	<u>0,027</u> 0,945	<u>0,684</u> 23,9			<u>0,357</u> 12,495	<u>1,256</u> 43,96
50–75	<u>0,029</u> 1,087	<u>0,303</u> 11,362	<u>0,064</u> 2,4	<u>0,292</u> 10,95			<u>1,105</u> 41,437	<u>1,793</u> 67,236
75–100	<u>0,029</u> 1,073	<u>0,417</u> 15,429	<u>0,133</u> 4,921	<u>0,069</u> 2,553			<u>0,603</u> 59,311	<u>2,251</u> 83,287
100–125	<u>0,026</u> 0,923	<u>0,48</u> 5,04	<u>0,16</u> 5,68	<u>0,174</u> 6,177			<u>1,72</u> 61,06	<u>2,56</u> 90,88
125–150	<u>0,029</u> 1,044	<u>0,387</u> 13,932	<u>0,144</u> 5,184	<u>0,19</u> 6,84			<u>1,462</u> 53,632	<u>2,212</u> 79,632
150–175	<u>0,029</u> 1,058	<u>0,357</u> 13,03	<u>0,107</u> 3,905	<u>0,237</u> 8,65			<u>0,351</u> 49,311	<u>2,081</u> 75,954
175–200	<u>0,036</u> 1,332	<u>0,139</u> 5,143	<u>0,037</u> 1,369	<u>0,402</u> 14,874			<u>1,269</u> 46,953	<u>1,883</u> 69,671
После третьей промывки								
0–25	<u>0,068</u> 2,108	<u>0,058</u> 1,798	<u>0,031</u> 0,961	<u>0,266</u> 8,246	нет	нет	<u>0,035</u> 1,085	<u>0,458</u> 14,198
25–50	<u>0,068</u> 2,38	<u>0,19</u> 6,65	<u>0,079</u> 2,765	<u>0,502</u> 17,57			<u>0,363</u> 12,705	<u>1,202</u> 42,07
50–75	<u>0,055</u> 2,062	<u>0,22</u> 8,250	<u>0,106</u> 3,975	<u>0,457</u> 17,137			<u>0,544</u> 20,4	<u>1,382</u> 51,824
75–100	<u>0,058</u> 2,146	<u>0,187</u> 6,919	<u>0,096</u> 3,552	<u>0,21</u> 7,77			<u>0,801</u> 29,637	<u>1,352</u> 50,024
100–125	<u>0,055</u> 1,952	<u>0,284</u> 10,082	<u>0,129</u> 4,579	Нет		<u>0,008</u> 0,284	<u>1,172</u> 41,606	<u>1,648</u> 58,503
125–150	<u>0,045</u> 1,620	<u>1,003</u> 36,108	<u>0,224</u> 8,064	<u>0,374</u> 13,464		нет	<u>1,2995</u> 1,192	<u>2,945</u> 110,448

Окончание табл. 15

1	2	3	4	5	6	7	8	9
150–175	<u>0,045</u> 1,642	<u>0,567</u> 20,695	<u>0,372</u> 13,578	<u>0,084</u> 3,066	нет	нет	<u>1,422</u> 51,903	<u>2,490</u> 90,884
175–200	<u>0,049</u> 1,813	<u>0,594</u> 21,978	<u>0,297</u> 10,989	<u>0,197</u> 7,289			<u>1,386</u> 51,282	<u>2,523</u> 93,351

По некоторым компонентам произошла реставрация засоления. Это оказалось особенно ощутимым в содержании общей щелочности, отмеченном по всей глубине исследованной толщи почвы (табл. 14). Близкие результаты получены по содержанию магния. Количество NaCl в метровой толще почвы уменьшилось на 55,2 т/га . При этом главная масса NaCl (50 т/га) была вымыта из второго полуметрового слоя почвы. Небольшое вымывание хлористого натрия (13 т/га) отмечалось во втором метровом слое.

Примечательно, что соли сернокислого натрия подверглись существенному вымыванию из второго полуметрового слоя почвы (18,4 т/га). В первом же полуметровом слое содержание его несколько (на 12,3 т/га) увеличилось. Это, с одной стороны, связано с образованием вторичных солей за счет вытеснения из почвенно-поглощающего комплекса обменного натрия, а с другой — обусловлено подтягиванием их из нижних горизонтов в поверхностные слои почвы. В профиле почв несколько увеличилось содержание сернокислого магния, сернокислого кальция и двууглекислого кальция. Таким образом, третья промывка и промывка в целом с внесением 40 т/га гипса оказала довольно слабое воздействие на опреснение почвенного профиля.

Результаты этого варианта опыта примерно соответствуют результатам промывки почв с внесением 20 т/га гипса. Отличие состоит лишь в интенсивности вымывания солевых масс (рис. 5 в).

Общее количество вымытых солей в варианте промывки с внесением 40 т/га гипса для метрового слоя почвы составило 115 т/га по плотному остатку и 90 т/га по хлору. В 1 м^3 воды из этой толщи почвы выщелочено 9,6 кг/га солей по плотному остатку и 7,5 кг/га по хлору. На выщелачивание 1 т солей было израсходовано 104,4 $\text{м}^3/\text{га}$ воды по плотному остатку и 133,3 т/га по хлору.

Гипсование почв из расчета 40 *т/га* при промывке в какой-то мере способствовало улучшению физико-химических и водно-физических свойств почвы. В профиле почвы заметно увеличилось содержание карбоната кальция, в пахотном слое резко возросло количество гипса, а в подпахотном горизонте оно несколько уменьшилось. Значительное увеличение содержания гипса отмечалось в слое 45–84 *см* (табл. 16). Количество поглощенного натрия уменьшилось до порога токсичности, а поглощенного кальция увеличилось в первом полуметровом слое почвы на 5–20% и во втором полуметровом слое — на 3–4% от суммы поглощенных катионов (табл. 16).

В отношении показателя рН-среды существенных изменений не произошло: в пахотном слое почвы он уменьшился всего на 0,3 единицы (табл. 16).

Сказанное в определенной степени отразилось и на изменении водно-физических свойств почвы. При этом особенно показательны изменения микроагрегатного состава и коэффициента дисперсности почвы. Количество структурообразующих частиц (более 0,01 *мм*) значительно увеличилось, а количество физической глины и илистой фракции, наоборот, заметно уменьшилось (табл. 17). Коэффициент дисперсности в слое 0–66 *см* также уменьшился с 42,54 (42,5)–61,7 до 5,8–12,6%.

Значительно повысилась фильтрационная способность почвы (в два раза в пахотном и в два с половиной раза в подпахотном слое почвы, т. е. с 10,0 до 19,8 и с 10,0 до 24,0 *см³* в течение 10 минут). Резко повысился коэффициент водопроницаемости почвы (более чем в два раза). При этом от общего количества профильтровавшейся воды (87 *мм*) на первый час приходится 73,6% (64 *мм*), из которых за первые 10 минут проникло в почву 57 *мм*, что составляет 65,5% общего количества профильтровавшейся воды. В последующие часы водопроницаемость уменьшилась и достигла средней величины 4–6 *мм* в час. Установившаяся скорость водопроницаемости составила 0,0666 *мм/мин*, что в 13 раз больше, чем в варианте промывки без химических мелиорантов (табл. 16).

Урожай растений в варианте с применением удобрения составил: по хлопчатнику — 12,78 *г* и по гороху кормовому — 96,80 *г* на сосуд. В варианте без применения удобрения урожай снизился соответственно до 5,38 и 33,45 *г* на сосуд.

Таблица 16

Изменение физико-химических и водно-физических свойств почвы при промывке с внесением 40 т/га гипса (до/после промывки)

Глубина, см	Гумус	CaCO ₃ по CO ₂ , %	Тип	Поглощенные катионы, % от суммы				HCO ₃ , %	Коэффициент дисперсности, %	Водопроницаемость, мм / мин			
				Сумма, мкг	Ca	Mg	Na			Первые 10 мин	1-й час	6-й час	Среднее за 6 часов
0-10	0,92 1,13	14,96 14,69	0,713 8,951	20,6 82,65	68,48 88,18	21,89 11,77	9,71 0,15	0,027 0,017	17,67 9,98	3,1 5,7	0,65 1,0667	0,0333 0,0666	0,1064 0,2416
10-25	0,82 0,8	14,96 16,24	0,713 1,694	20,6 52,76	68,48 72,34	21,89 23,97	7,71 4,82	0,024 0,022	20,96 16,76				
25-45	0,5 0,58	15,64 16,58	1,253 1,042	29,96 50,61	73,63 72,34	22,7 22,92	4,67 4,74	0,029 0,024	23,64 17,92				
45-66	0,5 0,5	15,64 17,81	1,253 1,917	23,31 47,6	66,97 71,03	26,17 23,09	6,86 5,88	0,032 1,024	22,4 20,57				
66-84	0,5 0,5	16,54 16,54	0,593 1,132	23,31 43,1	66,97 70,65	26,17 24,06	6,86 5,29	0,032 0,032	14,6 30,64				
84-102	0,46 0,47	15,64 16,4	1,392 0,978	20,57 42,21	71,37 75,93	24,7 19,38	3,93 4,69	0,029 0,032	30,3 35,41				

Таблица 17

Изменение микроагрегатного состава почв при промывке с внесением 40 т/га гипса (до/после промывки, %)

Глубина, см	Величина фракции, мм						
	1-0,25	0,25-0,05	0,05-0,01	0,01-0,005	0,005-0,001	<0,001	<0,01
0-10	<u>0,65</u> 1,66	<u>11,49</u> 12,22	<u>71,96</u> 74,87	<u>7,72</u> 6,68	<u>2,16</u> 1	<u>6,03</u> 3,57	<u>15,9</u> 11,25
10-25	<u>0,65</u> 0,29	<u>11,49</u> 12,69	<u>71,96</u> 75,8	<u>7,72</u> 7,24	<u>2,16</u> 1,32	<u>6,02</u> 5,66	<u>15,9</u> 11,22
25-45	<u>0,78</u> 0,42	<u>22,24</u> 11,74	<u>59,8</u> 73,66	<u>8,08</u> 5,32	<u>1,8</u> 1,6	<u>7,3</u> 7,26	<u>17,68</u> 14,18
45-66	<u>0,78</u> 1,25	<u>22,24</u> 10,37	<u>59,8</u> 71,74	<u>8,08</u> 6,71	<u>1,8</u> 1	<u>7,3</u> 8,93	<u>17,18</u> 16,64
66-84	<u>0,31</u> 0,45	<u>5,83</u> 9,91	<u>78</u> 72,84	<u>9,12</u> 3,72	<u>1,24</u> 1,72	<u>5,5</u> 11,36	<u>15,86</u> 16,8
84-102	<u>0,12</u> 0,26	<u>1,64</u> 2,98	<u>81,52</u> 75,76	<u>9,36</u> 8,64	<u>2,2</u> 1	<u>5,1</u> 11,36	<u>16,66</u> 21

Таким образом, заканчивая характеристику результатов промывки почв с внесением гипса, можно сделать следующее заключение.

Среди испытанных доз гипса при промывке засоленных почв с низкой солеотдачей наилучшей дозой следует считать 15 т/га. Применение этой дозы при промывке способствовало наибольшему удалению солей из метровой толщи (почвы (146 т/га по плотному остатку и 78 т/га по хлору)) при наименьшем расходе промывной воды (82,2 м³/га по плотному остатку и 78 т/га по хлору) при наименьшем расходе промывной воды (82,2 м³/га по плотному остатку и 153,9 м³/га по хлору) на выщелачивание одной тонны солей из метровой толщи почвы. По эффективности повышения солеотдачи при промывке почв остальные дозы гипса можно построить в следующем убывающем порядке: 10, 20,5 и 40 т/га (табл. 18).

Таблица 18

Показатели солеотдачи почв при промывке с внесением разных доз гипса в слое 0–1 м (плот. сост./хлор)

Варианты промывки	Выщелочено нормой 1200 м ³ /га, т/га	Выщелочено 1 м ³ воды, кг/га	Использованная вода на выщелачивание 1 т солей, м ³ /га
С внесением гипса 5 т/га	<u>124</u> 52	<u>10,3</u> 4,3	<u>96,9</u> 230,8
С внесением гипса 10 т/га	<u>134</u> 65	<u>11,2</u> 5,4	<u>89,5</u> 184,6
С внесением гипса 15 т/га	<u>146</u> 78	<u>12,2</u> 6,5	<u>82,2</u> 153,9
С внесением гипса 20 т/га	<u>127</u> 65	<u>10,6</u> 5,4	<u>94,5</u> 184,6
С внесением гипса 40 т/га	<u>115</u> 90	<u>9,6</u> 7,5	<u>104,4</u> 133,3

ГЛАВА VI

ПРОМЫВКА ПОЧВ ПРИ СОВМЕСТНОМ ПРИМЕНЕНИИ ГИПСА И НАВОЗА

Учитывая, что почвы с низкой солеотдачей, кроме сильной засоленности и солонцеватости, отличаются также незначительным содержанием гумуса и высокой дисперсностью, мы полагали, что повышению эффективности промывки таких почв должно благоприятствовать улучшение структурности почв, на что, помимо кальция, большое влияние может оказывать внесение в почву высоких доз органических веществ. В связи с этим мы большое место уделяли экспериментированию промывок почв с совместным применением гипса и навоза.

Если гипс при мелиорации засоленных солонцеватых почв нашел широкое применение при экспериментировании, то совместное применение гипса с навозом при мелиорации таких почв началось совсем недавно в Советском Союзе (А.Власюк, Т.Д.Катаринич, 1970; А.И.Оборин, В.С.Таскаев, В.И.Каменщиков, 1972; А.Ф.Яровенко, А.М.Каменникова, 1972 и др.) и за рубежом (L.Raikov, Ja. Kaverdiev, 1971; R.I.Olsen, R.J.Hensler, O.I.Attas, 1970; S.P.Raychaudhuri, 1972). Должен отметить, что большинство работ осуществлялось в лабораторных, вегетационных условиях или на мелких делянках, главным образом с целью повышения урожайности сельскохозяйственных культур в засоленных солонцеватых почвах.

Вопросами мелиорации засоленных солонцеватых почв путем совместного применения гипса и навоза мы занимались 20 лет (с 1956 г.) в разных почвенно-природных условиях Азербайджана. Результаты наших лабораторных, вегетационных и полевых мелкоделяночных опытов (М.Р.Абдуев, 1956, 1959, 1961, 1962,

1966, 1968, 1970) послужили основанием для производственных испытаний совместного применения гипса и навоза для повышения эффективности промывки засоленных солонцеватых почв с низкой солеотдачей.

Промывка почв с внесением 10 т/га гипса и 40 т/га навоза

Результаты исследования показали большую эффективность этого способа промывки. Так, промывка одной нормы воды способствовала существенному рассолению в верхнем метровом слое почвы, где содержание солей уменьшилось на 0,8% по плотному остатку и на 0,28% по хлору (рис. 6 а). Содержание хлора, преобладающего в почве до промывки, после первой нормы снизилось довольно резко (табл. 19). В верхнем метровом слое величина этого компонента уменьшилась почти на 1% (с 1,232 до 0,297%). На 0,26% хлор был вымыт и из слоя 1–2 м.

Интенсивное рассоление отмечалось также по катионам Na + K, величина которых уменьшилась на 0,5% в слое 0–0,5 м и несколько больше в слое 0,5–1,0 м. Для второго метрового слоя выщелачивание по Na + K соответствовало выщелоченному количеству хлора. Содержание же CO_4 -иона после первой промывки в поверхностных горизонтах почв не только не уменьшилось, а наоборот, резко увеличилось (в три раза в слое 0,25 см, на 0,03% в слое 25–50 см и на 0,14% в слое 50–75 см). В нижележащих горизонтах SO_4 -ион, как и другие компоненты, подвергся резкому выщелачиванию. Так, в слое 1–2 м содержание этого компонента уменьшилось в среднем на 0,14%.

Аналогичный ход изменения отмечался по данным воднорастворимого кальция, значение которого в слое 0–25 см после первой промывки увеличилось почти на 0,2% (с 0,08 до 0,27%), а глубже (до глубины 125 см) заметно снизилось.

Причины отмеченного характера дифференциации солевых компонентов по SO_4 и Ca можно объяснить растворением внесенного в почву до промывки гипса и переходом его в почвенный раствор.

Воднорастворимый катион магния (за исключением верхнего слоя 25 см) подвергся вымыванию до глубины полутора метров. Значение HCO_3 -иона увеличилось по всей исследованной толще

почвы, что, по-видимому, можно объяснить разложением навоза и выделением CO_2 , при промывке.

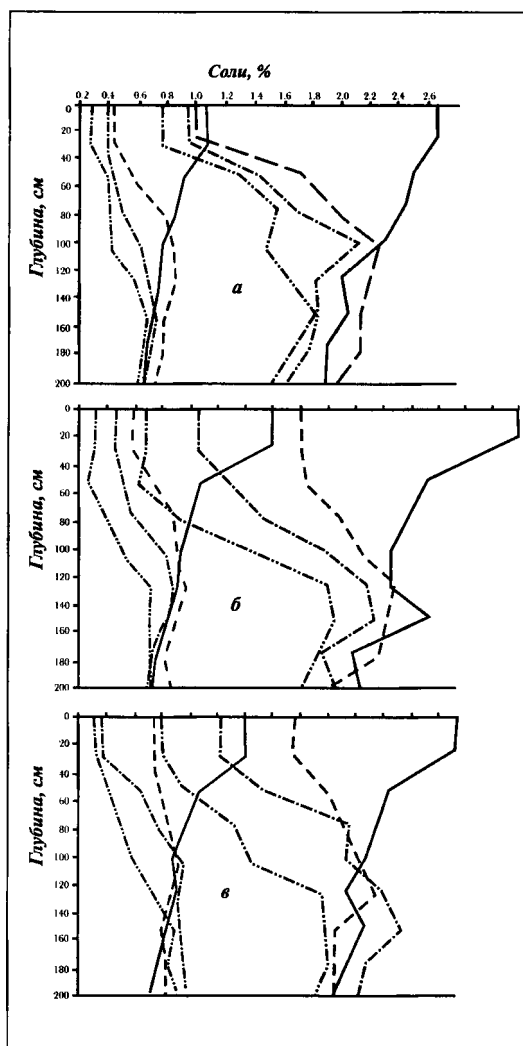


Рис. 6. Характер выщелачивания солей при совместном внесении гипса и навоза: а — 10 т/га гипса + 40 т/га навоза; б — 15 т/га гипса + 40 т/га навоза; в — 20 т/га гипса + 40 т/га навоза. Остальные обозначения как на рис. 2

Таким образом, при первой промывке почвы характеризуемого участка в поверхностных горизонтах превратились из сульфатно-хлоридно-натриевых в хлоридно-сульфатно-кальциево-натриевые, что указывает на благоприятное изменение солевого состава почвы.

Запасы хлористого натрия в слое 0–1 м уменьшились на 235 т/га (более чем в 4 раза). В слое 0–25 см запасы сернокислого кальция увеличились с 7,8 до 27,3 т/га. Заметно повысились запасы сернокислого магния и двууглекислого кальция (табл. 20). Все это благоприятствовало дальнейшему ускорению рассоления почвы.

Вторая промывка (4000+4000 м³/га) заметно продолжала рассоление почвы,

причем рассолом была охвачена вся исследуемая двухметровая толща почвы.

Таблица 19

Изменение содержания солевых компонентов при промывке почвы с применением 10 т/га гипса и 40 т/га навоза (%/мекв)

Глубина, см	Плотный остаток	CO ₃	HCO ₃	Cl	SO ₄	Ca	Mg	Na+K
1	2	3	4	5	6	7	8	9
До промывки								
0-25	2,694	нет	<u>0,017</u> 0,28	<u>1,005</u> 28,3	<u>0,321</u> 10,85	<u>0,08</u> 4	<u>0,017</u> 1,4	<u>0,783</u> 34,03
25-50	3,008		<u>0,02</u> 0,30	<u>1,274</u> 35,9	<u>0,479</u> 9,98	<u>0,091</u> 4,54	<u>0,019</u> 1,6	<u>0,981</u> 40,06
50-75	2,976		<u>0,017</u> 0,28	<u>1,363</u> 38,4	<u>0,406</u> 8,46	<u>0,078</u> 3,89	<u>0,0022</u> 1,8	<u>0,963</u> 41,45
75-100	3,416		<u>0,02</u> 0,32	<u>1,242</u> 36,1	<u>0,586</u> 12,21	<u>0,087</u> 4,32	<u>0,022</u> 1,4	<u>0,978</u> 42,51
100-125	2,65		<u>0,02</u> 0,32	<u>1,108</u> 31,2	<u>0,515</u> 10,79	<u>0,069</u> 3,46	<u>0,018</u> 1,5	<u>0,858</u> 37,29
125-150	2,706		<u>0,02</u> 0,32	<u>1,129</u> 31,8	<u>0,538</u> 11,21	<u>0,069</u> 3,46	<u>0,028</u> 1,9	<u>0,873</u> 37,97
150-175	2,49		<u>0,022</u> 0,36	<u>0,98</u> 27,6	<u>0,561</u> 11,69	<u>0,059</u> 2,92	<u>0,016</u> 1,3	<u>0,815</u> 35,43
175-200	2,338		<u>0,022</u> 0,36	<u>0,884</u> 24,9	<u>0,612</u> 12,75	<u>0,059</u> 2,92	<u>0,013</u> 1,08	<u>0,782</u> 34,01
После первой промывки								
0-25	1,815	нет	<u>0,037</u> 0,6	<u>0,199</u> 5,62	<u>0,977</u> 20,34	<u>0,271</u> 13,54	<u>0,031</u> 2,55	<u>0,242</u> 10,47
25-50	1,222		<u>0,037</u> 0,6	<u>0,257</u> 7,25	<u>0,512</u> 10,66	<u>0,058</u> 2,89	<u>0,012</u> 0,99	<u>0,336</u> 14,63
50-75	1,322		<u>0,037</u> 0,6	<u>0,24</u> 6,75	<u>0,547</u> 11,39	<u>0,057</u> 2,83	<u>0,01</u> 0,83	<u>0,347</u> 15,08
75-100	1,650		<u>0,037</u> 0,6	<u>0,495</u> 13,94	<u>0,415</u> 8,64	<u>0,073</u> 3,66	<u>0,016</u> 1,33	<u>0,418</u> 18,19
100-125	1,467		<u>0,049</u> 0,08	<u>0,519</u> 14,62	<u>0,221</u> 4,6	<u>0,055</u> 2,77	<u>0,015</u> 1,28	<u>0,367</u> 15,97
125-150	2,08		<u>0,043</u> 0,7	<u>0,918</u> 25,87	<u>0,368</u> 7,66	<u>0,098</u> 4,88	<u>0,028</u> 2,33	<u>0,621</u> 27,02

Окончание табл. 19

1	2	3	4	5	6	7	8	9
150–175	2,417	нет	<u>0.03</u> 0,5	<u>0.852</u> 24	<u>0.479</u> 9,97	<u>0.105</u> 5,22	<u>0.028</u> 2,27	<u>0.62</u> 26,98
175–200	2,392		<u>0.03</u> 0,5	<u>0.772</u> 21,75	<u>0.591</u> 12,3	<u>0.12</u> 5,99	<u>0.028</u> 2,33	<u>0.6032</u> 26,83
После третьей промывки								
0–25	0,662	нет	<u>0.05</u> 0,92	<u>0.174</u> 4,9	<u>0.136</u> 0,78	<u>0.016</u> 2,38	<u>0.006</u> 0,49	<u>0.17</u> 7,38
25–50	0,482		<u>0.068</u> 1,12	<u>0.128</u> 3,6	<u>0.105</u> 2,19	<u>0.01</u> 0,49	<u>0.007</u> 0,59	<u>0.134</u> 5,83
50–75	0,666		<u>0.068</u> 0,12	<u>0.117</u> 3,3	<u>0.215</u> 4,48	<u>0.012</u> 0,59	<u>0.003</u> 0,29	<u>0.184</u> 8,02
75–100	0,316		<u>0.044</u> 0,72	<u>0.089</u> 2,5	<u>0.725</u> 15,5	<u>0.083</u> 4,41	<u>0.03</u> 2,45	<u>0.264</u> 11,46
100–125	1,188		<u>0.046</u> 0,76	<u>0.170</u> 4,8	<u>0.582</u> 12,12	<u>0.059</u> 2,94	<u>0.017</u> 1,37	<u>0.307</u> 13,37
125–150	1,144		<u>0.054</u> 0,84	<u>0.195</u> 5,5	<u>0.429</u> 8,94	<u>0.027</u> 1,37	<u>0.006</u> 0,49	<u>0.309</u> 13,42
150–175	1,626		<u>0.073</u> 1,2	<u>0.373</u> 10,5	<u>0.478</u> 9,96	<u>0.031</u> 1,57	<u>0.013</u> 1,08	<u>0.437</u> 19,01
175–200	1,590		<u>0.044</u> 0,72	<u>0.557</u> 15,7	<u>0.41</u> 8,54	<u>0.039</u> 1,96	<u>0.011</u> 0,88	<u>0.509</u> 22,12

Таблица 20

Дифференциация и сопряженность солевых масс
при промывке почвы с применением 10 т/га гипса и 40 т/га навоза

Глубина, см	$\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$	$\text{Mg}(\text{HCO}_3)_{3/2}$	NaHCO_3	CaSO_4	MgSO_4	Na_2SO_4	NaCl	Сумма солей
1	2	3	4	5	6	7	8	9
До промывки								
0–25	<u>0,023</u> 0,713	нет	нет	<u>0,253</u> 7,843	<u>0,084</u> 2,604	<u>0,407</u> 12,607	<u>1,657</u> 51,336	<u>2,423</u> 75,103
25–50	<u>0,025</u> 0,875			<u>0,287</u> 10,045	<u>0,096</u> 3,36	<u>0,296</u> 10,36	<u>2,1</u> 73,5	<u>2,804</u> 98,14

Промывка почв при совместном применении гипса и навоза

Продолжение табл. 20

1	2	3	4	5	6	7	8	9
50-75	<u>0,023</u> 0,862	нет	нет	<u>0,245</u> 9,187	<u>0,108</u> 4,05	<u>0,216</u> 8,1	<u>2,246</u> 84,225	<u>2,838</u> 105,562
75-100	<u>0,025</u> 0,926			<u>0,275</u> 10,064	<u>0,108</u> 3,996	<u>0,455</u> 16,836	<u>2,563</u> 94,833	<u>3,423</u> 126,651
100-125	<u>0,025</u> 0,887			<u>0,214</u> 7,597	<u>0,09</u> 3,195	<u>0,432</u> 15,336	<u>18,26</u> 64,823	<u>2,587</u> 91,838
125-150	<u>0,025</u> 0,9			<u>0,214</u> 7,704	<u>0,114</u> 4,104	<u>0,438</u> 15,768	<u>1,86</u> 66,96	<u>2,651</u> 95,436
150-175	<u>0,029</u> 1,058			<u>0,174</u> 6,351	<u>0,078</u> 2,847	<u>0,556</u> 20,294	<u>1,615</u> 58,947	<u>2,452</u> 89,497
175-200	<u>0,029</u> 1,073			<u>0,174</u> 6,438	<u>0,065</u> 2,405	<u>0,646</u> 23,902	<u>1,457</u> 53,909	<u>2,371</u> 89,727
После первой промывки								
0-25	<u>0,049</u> 1,52	нет	нет	<u>0,88</u> 27,28	<u>0,153</u> 4,74	<u>0,344</u> 10,66	<u>0,329</u> 10,2	<u>1,755</u> 54,41
25-50	<u>0,049</u> 1,84			<u>0,156</u> 5,23	<u>0,059</u> 1,98	<u>0,524</u> 17,55	<u>0,424</u> 14,2	<u>1,212</u> 40,6
50-75	<u>0,049</u> 1,84			<u>0,152</u> 5,7	<u>0,05</u> 1,88	<u>0,591</u> 22,16	<u>0,395</u> 14,81	<u>1,237</u> 46,39
75-100	<u>0,049</u> 1,81			<u>0,208</u> 7,7	<u>0,08</u> 2,96	<u>0,302</u> 11,17	<u>0,816</u> 30,19	<u>1,455</u> 53,84
100-125	<u>0,065</u> 2,31			<u>0,134</u> 4,76	<u>0,077</u> 2,73	<u>0,096</u> 3,41	<u>0,855</u> 30,35	<u>1,227</u> 43,56
125-150	<u>0,057</u> 2,05			<u>0,284</u> 10,22	<u>0,14</u> 5,04	<u>0,082</u> 2,95	<u>1,513</u> 54,47	<u>2,076</u> 74,74
150-175	<u>0,041</u> 1,5			<u>0,321</u> 11,72	<u>0,136</u> 4,96	<u>0,212</u> 7,74	<u>1,404</u> 51,21	<u>2,114</u> 77,16
175-200	<u>0,041</u> 1,52			<u>0,373</u> 13,8	<u>0,14</u> 5,18	<u>0,318</u> 11,77	<u>1,308</u> 48,4	<u>2,18</u> 80,66
После третьей промывки								
0-25	<u>0,064</u> 1,984	<u>0,01</u> 0,31	нет	нет	<u>0,021</u> 0,691	<u>0,176</u> 5,456	<u>0,287</u> 8,897	<u>0,558</u> 17,298
25-50	<u>0,04</u> 1,4	<u>0,043</u> 1,505	<u>0,003</u> 0,105		нет	<u>0,155</u> 5,425	<u>0,211</u> 7,385	<u>0,452</u> 15,82
50-75	<u>0,048</u> 1,8	<u>0,021</u> 0,787	<u>0,02</u> 0,75			<u>0,318</u> 11,925	<u>0,193</u> 7,237	<u>0,6</u> 22,499
75-100	<u>0,058</u> 2,146	нет	нет	<u>0,251</u> 9,287	<u>0,147</u> 5,433	<u>0,636</u> 23,532	<u>0,146</u> 50,402	<u>0,238</u> 45,806

Окончание табл. 20

1	2	3	4	5	6	7	8	9
100–125	<u>0,061</u> 2,165	нет	нет	<u>0,149</u> 5,289	<u>0,082</u> 2,911	<u>0,608</u> 21,584	<u>0,28</u> 9,94	<u>1,18</u> 41,889
125–150	<u>0,068</u> 2,448			<u>0,036</u> 1,296	<u>0,03</u> 1,08	<u>0,562</u> 20,232	<u>0,321</u> 11,556	<u>1,017</u> 36,612
150–175	<u>0,097</u> 3,54			<u>0,025</u> 0,912	<u>0,065</u> 2,372	<u>0,604</u> 22,046	<u>0,614</u> 22,411	<u>1,405</u> 51,281
175–200	<u>0,058</u> 2,146			<u>0,085</u> 3,145	<u>0,433</u> 16,021	<u>0,456</u> 16,872	<u>0,918</u> 33,966	<u>1,95</u> 72,15

В значительном количестве выщелачивались соли из второго метрового слоя почвы (более чем на 0,4% по плотному остатку и на 0,12% по хлору), чего не отмечалось при применении третьей нормы воды ($4000+4000+4000 \text{ м}^3/\text{га}$). Более того, в слое последнего, четвертого, полуметра исследования толщи почвы было обнаружено небольшое накопление легко растворимых солей, что обусловлено вымыванием солей из вышележащих слоев почвы.

В метровом слое содержание хлора в среднем составила 0,127% (при 1,232% в исходном состоянии). Количество сульфат-иона уменьшилось до 0,295%, а Na+K — до 0,190%.

Характерно, что при третьей промывке в почве продолжало увеличиваться содержание HCO_3 -иона, способствовавшее образованию в почве новых солей, таких как NaCO_3 и $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$ (не содержащихся в почве до промывки), и значительному увеличению содержания $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ (табл. 20). Образование новых солей бикарбонатов и увеличение содержания двууглекислого кальция после третьей промывки связано, с одной стороны, с выделением CO_2 при разложении внесенного навоза, а с другой — с полным отсутствием в этих горизонтах гипса, растворенного и полностью унесенного в глубжележащие слои и одновременно израсходованного на вытеснение поглощенного натрия из поглощающего комплекса почвы.

Третья промывка также способствовала сильному вымыванию сернокислого магния, величина которого в верхнем метровом слое почвы уменьшилась более чем наполовину.

Значительному выщелачиванию в поверхностных горизонтах подвергся сернокислый натрий. Так, в полуметровом слое содержание его уменьшилось более чем вдвое.

Как видно из данных табл. 20, основную массу выщелоченных солей составил хлористый натрий, причем не только в верхнем метровом, но и в нижнем метровом слое почвы. Общее количество вымытых солей хлористого натрия из двухметрового слоя почвы составило 442 т/га при исходном запасе 548,5 т/га. Это указывает на то, что испытанный вариант является весьма эффективным способом промывки, о чем свидетельствует также характер интенсивности выщелачивания солевых масс (рис. 7 а). На выщелачивание одной тонны солей из метрового слоя почвы по плотному остатку было израсходовано 68,2 м³/га воды (значительно меньше, чем в предыдущих вариантах).

Интенсивность выщелачивания солевых масс характеризуется следующими данными. Из метрового слоя почвы в результате 3 промывок было вымыто 61,2, 20,5 и 18,3% (от суммы выщелоченных солей) по

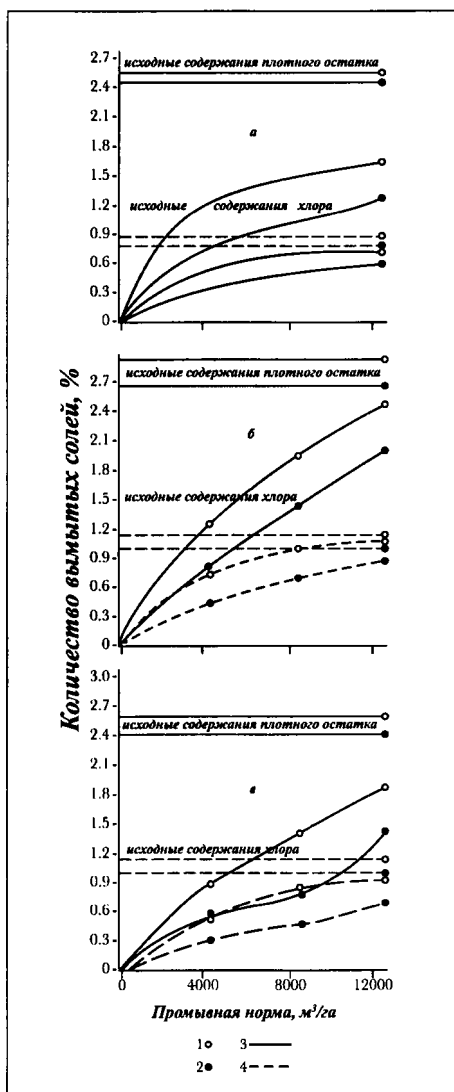


Рис. 7. Интенсивность выщелачивания солей при совместном внесении гипса и навоза: а — 10 т/га гипса+40 т/га навоза; б — 15 т/га гипса+40 т/га навоза; в — 20 т/га гипса+40 т/га навоза. Остальные обозначения как на рис. 5

плотному остатку и соответственно 55,5; 24,9 и 19,5% по хлору (рис. 7 а). Один кубический метр воды из верхнего метрового слоя почвы вымывал по плотному остатку 26,5 кг солей при первой, 8,8 кг при второй и 7,9 кг при третьей промывке, а по хлору — 11,1 кг, 5 и 3,9 кг соответственно. Приведенные данные свидетельствуют о довольно большой эффективности первой промывки, что связано с большим исходным запасом солей в исследованной почве до промывки.

Все это привело к резкому улучшению агрофизических свойств почв. Достаточно сказать, что при совместном внесении гипса (10 т/га) и навоза (40 т/га) в довольно большом количестве увеличивалось число водопрочных агрегатов (табл. 21). Мы объясняем это положительным воздействием внесенных мелиорантов, способствующих резкому увеличению в почвенно-поглощающем комплексе содержания поглощенного кальция и уменьшению поглощенного натрия. Аналогичные изменения произошли и в соотношении воднорастворимых форм этих катионов. Все это, как известно, является одним из главных факторов, определяющих факторы структурности почвы. Интересные исследования в данном направлении проведены А. Fathi, К. Е. Khalil, Sh. Milad (1971). Ими выявлено, что в почвах аллювиальных равнин Нила фактор структурности в значительной степени зависит от содержания в почве обменного и растворимого кальция и натрия. Увеличение в почве содержания обменного и растворимого Са вызывает увеличение фактора структурности, а возрастание в почве содержания обменного и растворимого Na, наоборот, сопровождается снижением величины фактора структурности почвы.

Таблица 21

Изменение микроагрегатного состава при промывке почвы с внесением 10 т/га гипса и 40 т/га навоза (до/после промывки, %)

Глубина, см	Размер частиц, мм					
	1,0–0,25	0,25–0,05	0,05–0,01	0,01–0,005	0,005–0,001	<0,001
0–25	<u>1,1</u> 0,9	<u>15,8</u> 16	<u>12,9</u> 15,4	<u>11,8</u> 17	<u>23,6</u> 31,4	<u>34,8</u> 19,3
25–50	<u>0,8</u> 0,1	<u>0,2</u> 0,9	<u>3,8</u> 7,3	<u>9,2</u> 16,2	<u>39,7</u> 48,1	<u>46,3</u> 27,4

Положительное воздействие органических веществ на физические свойства, в частности, на объемный вес и прочность агрегатов почвы, выявлено также американскими учеными S.Tanchandrphangs и J.M.Davidson (1970).

Осуществленные нами мелиоративные мероприятия положительно воздействовали и на улучшение водных свойств почвы на большой глубине. При этом фильтрационные свойства по сравнению с исходной почвой повышались в четыре раза (36 против $9,2 \text{ см}^3$ в течение 10 минут) в слое 0–25 см и в три раза (25,2 против $8,4 \text{ см}^3$) в слое 25–50 см.

По сравнению с промывкой только водой глубина просачивания промывных вод увеличилась в 2–3 раза. В слое 0–75 см установившийся коэффициент водопроницаемости почвы увеличился с 0,001 до 0,009 мм/сек (в слое 0–25 см — от 0,0006 до 0,0095 мм/сек).

Улучшение агрофизических, физико-химических свойств и повышение солеотдачи способствовали лучшей производительности мелиорированных почв. Урожай хлопчатника, выращенного в вегетационных опытах, составил 8,40 г с каждого сосуда в условиях без применения удобрения и 16,09 г с применением удобрения, урожай гороха кормового по зеленой массе соответственно: 31,35 и 128,8 г на сосуд при высоте растений 29 и 53 см.

Интересные результаты получены в полевых опытах. Урожайность хлопчатника в данном случае на 8 ц/га превысила контроль (промывка только водой), т.е. если в контрольном варианте урожай хлопчатника составил 16,72 ц/га, то в варианте промывка с применением 10 т/га гипса и 40 т/га навоза — 25,31 ц/га в условиях Юго-Восточной Ширвани и 25,6 ц/га — в условиях Карабахской степи.

Аналогичная картина наблюдалась на участке с посевами гороха кормового, зеленая масса которого составила 185,35 ц/га (в контроле — 74,18 ц/га) в Юго-Восточной Ширвани.

В Карабахской степи, где почвы в данном варианте опыта, кроме хлопчатника, использовались под культуры риса и ячменя, урожайность также оказалась довольно высокой. Так, урожайность риса достигла 31,0 ц/га по зерну. Величина урожайности ячменя составила 24,2 ц/га по зерну.

А.Райковым и Я.Ковърджиевым (1971), экспериментирующими на солончаках-солонцах в Болгарии, установлено, что внесение в почву 10 т/га гипса + 40 т/га навоза при промывке дает возможность получить урожай пшеницы с гектара 18,4 ц, ячменя — 16,5 ц, кукурузы (на зерно) — 20,4 ц, подсолнечника — 6,0 ц, т.е. повысить урожайность этих культур соответственно на 428, 422, 352 и 166% по сравнению с контролем.

Результаты их исследования и наши данные дают основание утверждать, что промывка почвы с совместным внесением гипса (10 т/га) и навоза (40 т/га) является одним из эффективных приемов оздоровления засоленных почв с низкой солсодачей.

Промывка почв с внесением 15 т/га гипса и 40 т/га навоза

Такое сочетание гипса и навоза при промывке почвы внесло существенные изменения как в содержание общего количества солей, так и в их состав. При этом первая норма воды в количестве 4000 м³/га рассолила почвенный профиль до глубины полуметра, и содержание плотного остатка уменьшилось более чем наполовину (рис. 66). По хлору соли вымывались еще глубже. В поверхностном (25 см) слое хлор был вымыт почти полностью (с 1,732 до 0,040%). В слое 25–50 см хлор был удален на 0,968%. Значительному выщелачиванию подверглись Na+K, количество которых в верхнем полуметровом слое снизилось на 0,45% (табл. 22).

Таблица 22

Изменение содержания солевых компонентов при промывке почвы с применением 15 т/га гипса и 40 т/га навоза (%/мекв)

Глубина, см	Плотн. остаток	CO ₃	HCO ₃	Cl	SO ₄	Ca	Mg	Na+K
1	2	3	4	5	6	7	8	9
До промывки								
0–25	3,98	нст	<u>0,022</u> 0,366	<u>1,732</u> 48,8	<u>0,679</u> 14,14	<u>0,312</u> 15,15	<u>0,081</u> 3,7	<u>0,944</u> 41,05
25–50	2,062		<u>0,024</u> 0,4	<u>1,214</u> 24,2	<u>1,196</u> 4,08	<u>0,082</u> 4,1	<u>0,031</u> 2,59	<u>0,506</u> 21,99
50–75	2,004		<u>0,029</u> 0,48	<u>0,905</u> 25,5	<u>0,316</u> 6,58	<u>0,054</u> 2,7	<u>0,022</u> 1,84	<u>0,644</u> 28,02
75–100	1,93		<u>0,022</u> 0,36	<u>0,66</u> 18,6	<u>0,545</u> 11,35	<u>0,08</u> 4,00	<u>0,017</u> 1,4	<u>0,573</u> 24,41

Промывка почв при совместном применении гипса и навоза

Окончание табл. 22

Очистительный цикл, %								
1	2	3	4	5	6	7	8	9
100–125	2,198	нет	<u>0.034</u> 0,36	<u>0.56</u> 16,8	<u>0.771</u> 16,06	<u>0.08</u> 4	<u>0.014</u> 1,19	<u>0.649</u> 28,23
125–150	2,456		<u>0.029</u> 0,48	<u>0.504</u> 14,2	<u>1.069</u> 22,27	<u>0.097</u> 4,86	<u>0.026</u> 2,16	<u>0.688</u> 29,93
150–175	1,722		<u>0.024</u> 0,4	<u>0.359</u> 10,1	<u>0.761</u> 15,85	<u>0.071</u> 3,56	<u>0.022</u> 1,84	<u>0.482</u> 20,95
175–200	1,44		<u>0.034</u> 0,56	<u>0.312</u> 8,8	<u>0.535</u> 11,14	<u>0.028</u> 1,4	<u>0.09</u> 0,76	<u>0.422</u> 18,34
После первой промывки								
0–25	1,16	нет	<u>0.058</u> 0,95	<u>0.04</u> 1,12	<u>0.697</u> 14,51	<u>0.145</u> 7,22	<u>0.012</u> 1,01	<u>0.192</u> 8,35
25–50	1,41		<u>0.061</u> 1	<u>0.346</u> 10,75	<u>0.512</u> 10,66	<u>0.09</u> 4,52	<u>0.017</u> 1,42	<u>0.356</u> 15,47
50–75	1,31		<u>0.052</u> 0,85	<u>0.838</u> 23,62	<u>0.468</u> 9,74	<u>0.157</u> 7,83	<u>0.034</u> 2,83	<u>0.542</u> 23,55
75–100	2,21		<u>0.038</u> 0,95	<u>0.887</u> 25	<u>0.22</u> 4,58	<u>0.097</u> 4,86	<u>0.031</u> 2,56	<u>0.531</u> 23,11
100–125	2,395		<u>0.049</u> 0,8	<u>0.994</u> 28	<u>0.247</u> 5,14	<u>0.111</u> 5,53	<u>0.038</u> 3,11	<u>0.582</u> 25,3
150–175	2,787		<u>0.049</u> 0,8	<u>0.945</u> 26,62	<u>0.627</u> 13,05	<u>0.199</u> 9,92	<u>0.04</u> 3,31	<u>0.626</u> 27,24
175–200	2,287		<u>0.058</u> 0,96	<u>0.763</u> 21,5	<u>0.5</u> 10,41	<u>0.131</u> 6,55	<u>0.03</u> 2,49	<u>0.548</u> 23,32
После третьей промывки								
0–25	0,155	<u>0.05</u> –	<u>0.055</u> 0,9	<u>0.016</u> 0,44	<u>0.032</u> 0,57	<u>0.003</u> 0,17	<u>0.001</u> 0,11	<u>0.041</u> 1,78
25–50	0,297	<u>0.001</u> 0,005	<u>0.041</u> 0,67	<u>0.009</u> 0,25	<u>0.121</u> 2,52	<u>0.006</u> 0,28	<u>0.001</u> 0,11	<u>0.071</u> 3,1
50–75	0,637	<u>0.003</u> 0,1	<u>0.027</u> 0,45	<u>0.031</u> 0,87	<u>0.309</u> 6,43	<u>0.027</u> 1,33	<u>0.003</u> 0,22	<u>0.16</u> 6,9
75–100	0,912	нет	<u>0.03</u> 0,5	<u>0.069</u> 1,94	<u>0.39</u> 8,12	<u>0.013</u> 0,67	<u>0.005</u> 0,39	<u>0.203</u> 8,84
100–125	1,315		<u>0.024</u> 0,4	<u>0.197</u> 5,56	<u>0.522</u> 10,87	<u>0.061</u> 3,05	<u>0.007</u> 0,61	<u>0.303</u> 13,17
125–150	2,15		<u>0.021</u> 0,35	<u>0.499</u> 14,06	<u>0.896</u> 18,65	<u>0.199</u> 9,93	<u>0.033</u> 2,72	<u>0.469</u> 20,41
150–175	2,457		<u>0.018</u> 0,3	<u>0.65</u> 18,31	<u>0.759</u> 15,8	<u>0.186</u> 9,27	<u>0.034</u> 2,83	<u>0.513</u> 22,31
175–200	1,895		<u>0.024</u> 0,4	<u>0.643</u> 18,12	<u>0.39</u> 8,12	<u>0.075</u> 3,77	<u>0.02</u> 1,67	<u>0.488</u> 21,2

Характерные данные получены по содержанию сульфат-иона. Содержание его в поверхностных горизонтах не только не уменьшилось, а наоборот, заметно увеличилось. Примечательно, что

глубже слоя 75 см значение сульфат-иона существенно снизилось. Достаточно сказать, что количество выщелоченного SO_4 в слое 1–2 м составило 0,362%. Отмеченное на первый взгляд противоречие объясняется, как нам кажется, искусственным внесением в почву гипса, увеличивающего содержание сульфат-иона при первой промывке в поверхностных горизонтах почвы. Уменьшение же содержания этого компонента в глубоких слоях почвы, очевидно, связано с выщелачивающим воздействием промывной воды.

При первой промывке в поверхностном полуметровом слое почвы подверглись вымыванию кальций и магний, хотя в глеележащих горизонтах количество их увеличилось. Отмечено также заметное повышение содержания общей щелочности по всей исследованной глубине почвы, что, как уже было сказано выше, вызвано выделением CO_2 при разложении внесенного в почву навоза.

По данным изменения солевого состава видно, что выщелачивание солей из почвы происходило главным образом, за счет более легкорастворимых солей (таких как хлористый натрий), количество которых только в поверхностном слое 25 см уменьшилось на 2,336%, или на 81,7 т/га. Из второго горизонта почвы NaCl был вымыт более чем наполовину (25 т/га). В слое 50–75 см количество выщелоченного хлористого натрия составило 4 т/га, а в глеележащих слоях содержание его значительно увеличилось. Тем не менее баланс этой соли в двухметровой толще почвы оказался отрицательным (примерно на 2 т/га), что говорит об охвате рассоления при первой промывке всей исследованной глубины почвы. Об этом свидетельствуют и полное вымывание из двухметровой толщи почвы хлористого кальция и значительное уменьшение, и глубокое перемещение хлористого магния (табл. 23).

Наличие большого количества хлористых солей, особенно хлористого натрия, в исходной почве способствовало, с одной стороны, интенсивному растворению при промывке сернокислого кальция в поверхностном горизонте почвы, а с другой расходованию кальция на обменные реакции с натрием и магнием и образованию здесь вторичных солей сернокислого натрия и магния (табл. 23).

Вторая промывка продолжала процесс рассоления, охватившего всю исследуемую толщу почвогрунта. Но при этом главная масса солей была удалена из верхнего (75 см) слоя почвы

Таблица 23

 Дифференциация и сопряженность солевых масс
при промывке с применением 15 т/га гипса и 40 т/га навоза

Глубина, см	Ca(HCO ₃) ₂	Mg(HCO ₃) ₂	NaHCO ₃	CaSO ₄	MgSO ₄	Na ₂ SO ₄	CaCl ₂	MgCl ₂	NaCl	Na ₂ CO ₃	Сумма солей
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
До промывки											
0-25	0,029 1,01	нет	нет	нет	нет	нет	0,056 1,96	0,318 11,13	2,401 84,03	нет	3,765 191,77
	нет				0,252 8,82	0,022 0,77	0,105 3,67	1,286 45,01	1,697 59,39		
	0,151 5,28				0,11 3,85	0,179 6,26	1,482 52,22	1,971 68,98			
25-50	0,032 1,12	нет	нет	нет	0,247 8,64	0,084 2,94	0,448 15,68	нет	0,059 37,06	нет	1,867 65,34
	0,234 8,19				0,071 2,48	0,811 28,38	0,983 34,4	2,144 75,04			
50-75	0,039 1,36	нет	нет	нет	0,298 10,43	0,13 4,55	1,117 39,09	0,831 29,08	2,415 84,42	нет	2,415 84,42
	0,215 7,52				0,11 3,85	0,77 26,95	0,591 20,68	1,718 60,03			

Продолжение табл. 23												
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
175-200	$\frac{0,045}{1,57}$	нет	нет	$\frac{0,057}{1,99}$	$\frac{0,046}{1,61}$	$\frac{0,677}{23,69}$	нет	нет	$\frac{0,515}{18,02}$	нет	$\frac{1,34}{46,80}$	
После первой промывки												
0-25	$\frac{0,077}{2,69}$	нет	нет	$\frac{0,426}{14,91}$	$\frac{0,061}{2,13}$	$\frac{0,513}{17,95}$	нет	нет	$\frac{0,065}{0,27}$	нет	$\frac{1,142}{39,97}$	
25-50	$\frac{0,081}{2,83}$				$\frac{0,085}{2,97}$	$\frac{0,406}{14,21}$			$\frac{0,570}{19,95}$		$\frac{1,381}{48,33}$	
50-75	$\frac{0,069}{2,41}$				$\frac{0,166}{5,81}$	$\frac{0,004}{0,14}$			$\frac{1,378}{48,23}$		$\frac{2,092}{73,22}$	
75-100	$\frac{0,077}{2,69}$	нет	нет	$\frac{0,266}{9,31}$	$\frac{0,04}{1,4}$	нет	нет	$\frac{0,02}{3,15}$	$\frac{1,352}{47,32}$	нет	$\frac{1,825}{63,87}$	
100-125	$\frac{0,065}{2,27}$				$\frac{0,025}{0,87}$			нет	$\frac{0,128}{4,48}$		$\frac{1,48}{51,8}$	$\frac{2,019}{70,66}$
125-150	$\frac{0,073}{2,55}$				$\frac{0,106}{3,71}$				$\frac{0,05}{1,75}$		$\frac{1,448}{51,8}$	$\frac{2,019}{70,66}$
150-175	$\frac{0,065}{2,27}$			$\frac{0,552}{19,32}$	$\frac{0,192}{6,97}$			$\frac{0,115}{4,02}$	$\frac{1,557}{54,49}$		$\frac{2,488}{87,08}$	

Промывка почв при совместном применении гипса и навоза

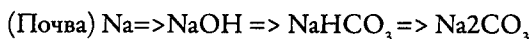
Окончание табл. 23											
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
175-200	$\frac{0,077}{2,69}$	нет	нет	$\frac{0,381}{13,33}$	$\frac{0,149}{5,21}$	нет	нет	нет	$\frac{1,258}{44,03}$	нет	$\frac{2,03}{71,05}$
После третьей промывки											
0-25	$\frac{0,014}{0,49}$	$\frac{0,008}{0,28}$	$\frac{0,052}{1,82}$	нет	нет	$\frac{0,048}{1,68}$	нет	нет	$\frac{0,026}{0,91}$	$\frac{0,003}{0,1}$	$\frac{0,151}{5,28}$
25-50	$\frac{0,023}{0,8}$	$\frac{0,008}{0,28}$	$\frac{0,024}{0,84}$			$\frac{0,179}{6,26}$			$\frac{0,015}{0,52}$	$\frac{0,003}{0,1}$	$\frac{0,252}{8,8}$
50-75	$\frac{0,036}{1,26}$	нет	нет	$\frac{0,015}{0,52}$	$\frac{0,013}{0,457}$	$\frac{0,425}{14,87}$	нет	нет	$\frac{0,051}{1,78}$	$\frac{0,005}{0,17}$	$\frac{0,545}{19,05}$
75-100	$\frac{0,040}{1,4}$			$\frac{0,056}{1,96}$	$\frac{0,497}{17,39}$	Нет			$\frac{0,108}{3,78}$	$\frac{0,701}{24,53}$	
100-125	$\frac{0,032}{1,12}$	нет	нет	$\frac{0,18}{6,3}$	$\frac{0,037}{1,29}$	$\frac{0,541}{18,93}$	нет	нет	$\frac{0,325}{11,37}$	нет	$\frac{1,115}{39,01}$
125-150	$\frac{0,003}{0,98}$			$\frac{0,651}{22,78}$	$\frac{0,163}{5,7}$	$\frac{0,451}{15,78}$			$\frac{0,822}{28,77}$		$\frac{2,115}{74,01}$
150-175	$\frac{0,024}{0,84}$	нет	нет	$\frac{0,61}{21,35}$	$\frac{0,17}{5,95}$	$\frac{0,284}{9,94}$	нет	нет	$\frac{1,071}{37,48}$	нет	$\frac{2,152}{75,56}$
175-200	$\frac{0,052}{1,12}$			$\frac{0,229}{8,01}$	$\frac{0,1}{3,5}$	$\frac{0,211}{7,66}$			$\frac{1,060}{37,1}$		$\frac{1,652}{57,39}$

(рис. 6 б), где особенно явно проявлялось выщелачивание по хлор-иону, за счет которого вымылось 0,83%, или 29 *т/га* солей.

Третья промывка еще больше сократила солесодержание в почвенном профиле. Из оставшихся после 2 промывки 1,3% солей в метровом слое почвы при третьей промывке было вымыто 0,6% из которых 0,2% падает на долю хлора (рис. 6 б).

Среднее значение оставшегося после третьей промывки в верхнем метровом слое хлора составило всего 0,03%, что говорит о практической пригодности для растений этого слоя почвы. Значительно вымылись почвы и по сульфат-иону и натрию. Оставшееся небольшое количество их в полуметровом слое, на наш взгляд, не должно оказывать вредного действия на развитие растений.

Привлекает внимание появление в почве после третьей промывки CO_3 -иона и образование соды в поверхностных горизонтах почвы, которых при первых промывках в почве не было. Это, как известно (К.К.Гедройц, 1955; А.П.Розов, 1956), является наиболее характерной особенностью натриевых солончаков, в которых при первых промывках концентрация растворенных солей $\text{CaCl}_2 + \text{NaCl}$ оказалась высокой, поглощенный натрий не диссоциировал, поэтому сода в растворе не появлялась. По мере уменьшения в растворе концентрации $\text{CaCl}_2 + \text{NaCl}$ поглощенный натрий начинает диссоциировать и дает щелочность по схеме:



В дальнейшем по мере вытеснения натрия ионом водорода (в нашем случае ионом кальция) и разрушения поглощающего комплекса количество соды постепенно падает до нуля. Из этого можно предположить, что появившаяся при третьей промывке сода с последующими нормами воды (промывной или оросительной) полностью исчезнет. Высказанное предположение позволило выяснить поведение HCO_3 -иона при промывке почвы.

Как видно из табл. 22, количество этого компонента в почве до промывки было довольно низким; при первых же промывках значение его в профиле почвогрунта резко (более чем в два раза) повысилось, а при третьей промывке намного уменьшилось, что особенно проявилось в нижних горизонтах почвогрунта.

При третьей промывке из почвы был полностью удален хлористый магний и до ничтожной величины уменьшилось содержание хлористого натрия. Верхние горизонты почвы освободились также от сернокислого кальция и магния, но некоторое накопление их было отмечено в средней части почвенного профиля. Один из главных факторов образования соды в почве при третьей промывке, по-видимому, также следует связать с этим обстоятельством.

Интересные данные получены по интенсивности выщелачивания солевых масс. По сравнению с предыдущим вариантом здесь при промывке на много ускорился процесс выщелачивания солей (примерно на 0,8% по плотному остатку и 0,6% по хлору) и значительно сгладился характер последовательности выщелачивания (рис. 7 б). В данном варианте опыта количество вымытых солей при каждой последующей промывке в верхнем полуметровом слое постепенно уменьшалось (рис. 7 б), а во втором полуметровом слое, наоборот, увеличивалось как по плотному остатку, так и по хлору, что вполне закономерно.

Характерно, что если из верхнего полуметрового слоя одного гектара почвы 1 м^3 воды при первой промывке выщелачивает 14,16 кг по плотному остатку и 8,30 кг по хлору, то при второй и третьей промывках эта величина падала соответственно до 7,54 и 8,27 кг по плотному остатку и 4,29 и 2,09 кг по хлору. Для второго полуметрового слоя эти величины соответственно составили: 2,41; 0,54; 13,05 кг/га по плотному остатку и 1,01; 0,49; 5,53 кг/га по хлору. Приведенные данные говорят о том, что если первые промывные нормы способствовали вымыванию солей из поверхностных горизонтов, то последующие нормы подвергли рассолению главным образом нижние слои почвы. На выщелачивание 1 т солей потребовалось воды по плотному остатку $45,3 \text{ м}^3/\text{га}$, по хлору — $104,3 \text{ м}^3/\text{га}$.

Для опреснения почвы до порога токсичности в этом варианте потребовалось применение $14,1 \text{ тыс. м}^3/\text{га}$ промывной воды. Это, пожалуй, наименьшая норма промывки среди всех испытанных нами при производственном опыте вариантов. Недостаток воды здесь компенсируется более активным воздействием применяемых мелиорантов на агрофизические свойства почвы, в частности на фильтрационную ее способность. Полученные данные

показали, что в характеризуемом варианте фильтрационная способность почв увеличилась 9,5 до 38,0 см^3 (в течение 10 минут) в слое 0–25 см и 10,6 до 28,2 см^3 в слое 25–50 см .

Положительное действие применяемых доз гипса и навоза при промывке отразилось также на повышении производительности почв. Данные, полученные в вегетационных опытах, показали, что урожайность хлопчатника составила 8,83 г на сосуд в условиях без удобрений и 18,16 г с применением удобрения. Аналогичные данные получены по гороху кормовому. Урожай зеленой массы этой культуры с каждого сосуда составил 32,33 г в условиях без удобрений 129,01 г с применением удобрения, что оказалось намного больше, чем в предыдущих вариантах. Как в предыдущих вариантах, так и здесь, обращает на себя внимание тот факт, что почвы, промытые на фоне применения химических мелиорантов, довольно отзывчивы к удобрениям, что, очевидно, связано с вымыванием из почв при промывке наряду с вредными солями и питательных элементов. Это видно из данных полевых опытов в Карабахской степи. Рис, выращенный в полевых производственных условиях, был удобрен из расчета $\text{N}_{90}\text{P}_{90}\text{K}_{60}$, и урожай зерна риса составил 31,6 ц/га. Урожай ячменя, посеянного после риса в почву этого варианта, составил 24,4 ц/га по зерну. После ячменя почвы этого варианта использовались под хлопчатник, урожайность которого по хлопку-сырцу достигла 23,6 ц/га.

Промывка почв с внесением 20 т/га гипса и 40 т/га навоза

При промывке с совместным применением 20 т/га гипса и 40 т/га навоза соли подвергались довольно быстрому вымыванию. Первой промывкой (4000 $\text{м}^3/\text{га}$) почвы были рассолены на глубину около метра (рис. 6 в). В результате значение сульфат-иона в слое 0–0,5 м уменьшилось в три раза. Резкое увеличение содержания этого компонента в последующих горизонтах почвы свидетельствует об охвате промывкой довольно большой глубины почвогрунта. Баланс кальция в двухметровой толще почвы оказался отрицательным. Следовательно, из названной толщи почвогрунта при первой промывке подвергался вымыванию не только кальций самой почвы, но и кальций из внесенного гипса.

Все это, как в отношении поведения SO_4 , так и Ca, по-видимому, можно объяснить значительной хлоридностью почвогрунта до промывки, что, как известно, способствует повышению растворимости гипса и быстрому вымыванию его при промывке.

Первая промывка оказала большое воздействие и на перемещение остальных компонентов солевых масс (табл. 24). В этом отношении интересно поведение HCO_3 -иона, содержание которого довольно резко повысилось в поверхностных горизонтах, в результате чего образовался CO_3 -ион, что скорее всего вызвано резким вымыванием внесенного в почву гипса и отсутствием его в поверхностных горизонтах (табл. 25).

Таблица 24

Изменение содержания солевых компонентов при промывке почвы с применением 20 т/га гипса и 40 т/га навоза (%/мекв)

Глубина, см	Плот. остаток	CO ₃	HCO ₃	Cl	SO ₄	Ca	Mg	Na+K
1	2	3	4	5	6	7	8	9
До промывки								
0-25	2,428	нет	<u>0.022</u> 0,36	<u>1.054</u> 29,7	<u>0.376</u> 7,83	<u>0.184</u> 9,18	<u>0.046</u> 3,78	<u>0.573</u> 24,93
25-50	2,348		<u>0.022</u> 0,36	<u>0.983</u> 27,7	<u>0.427</u> 8,89	<u>0.178</u> 8,86	<u>0.045</u> 3,67	<u>0.561</u> 24,41
50-75	2,36		<u>0.02</u> 0,32	<u>1.026</u> 28,9	<u>0.354</u> 7,37	<u>0.162</u> 8,1	<u>0.047</u> 3,89	<u>0.566</u> 24,6
75-100	2,136		<u>0.027</u> 0,44	<u>0.008</u> 28,4	<u>0.266</u> 5,54	<u>0.132</u> 6,8	<u>0.037</u> 3,02	<u>0.565</u> 24,56
100-125	2,09		<u>0.024</u> 0,40	<u>0.941</u> 26,5	<u>0.244</u> 5,08	<u>0.113</u> 5,62	<u>0.03</u> 2,48	<u>0.549</u> 23,88
125-150	2.296		<u>0.024</u> 0,40	<u>1.15</u> 32,4	<u>0.26</u> 5,42	<u>0.123</u> 6,16	<u>0.038</u> 3,13	<u>0.615</u> 28,93
150-175	3,218		<u>0.02</u> 0,32	<u>0.994</u> 28	<u>0.999</u> 20,81	<u>0.342</u> 17,06	<u>0.063</u> 5,18	<u>0.618</u> 26,89
175-200	2,108		<u>0.022</u> 0,36	<u>1.04</u> 29,3	<u>0.704</u> 14,66	<u>0.244</u> 12,2	<u>0.046</u> 3,78	<u>0.652</u> 28,34
После первой промывки								
0-25	0,535	<u>0.006</u> 0,20	<u>0.125</u> 2,05	<u>0.04</u> 1,12	<u>0.06</u> 1,25	<u>0.007</u> 0,33	<u>0.001</u> 0,11	<u>0.096</u> 4,18

Окончание табл. 24

1	2	3	4	5	6	7	8	9
25-50	0,635	нет	<u>0.088</u> 1,45	<u>0.133</u> 3,75	<u>0.2</u> 4,16	<u>0.007</u> 0,33	<u>0.004</u> 0,33	<u>0.2</u> 8,7
50-75	2,157		<u>0.046</u> 0,75	<u>0.51</u> 14,37	<u>0.869</u> 18,1	<u>0.172</u> 8,58	<u>0.029</u> 2,42	<u>0.511</u> 22,22
75-100	2,52		<u>0.043</u> 0,7	<u>0.843</u> 23,75	<u>0.743</u> 15,47	<u>0.181</u> 9,02	<u>0.043</u> 3,52	<u>0.63</u> 27,38
100-125	2,745		<u>0.043</u> 0,7	<u>0.865</u> 24,37	<u>0.801</u> 17,93	<u>0.227</u> 11,33	<u>0.056</u> 4,62	<u>0.622</u> 27,05
125-150	2,742		<u>0.042</u> 0,7	<u>0.945</u> 26,2	<u>0.77</u> 16,04	<u>0.216</u> 10,78	<u>0.052</u> 4,29	<u>8.651</u> 28,29
150-175	2,822		<u>0.043</u> 0,7	<u>0.745</u> 21	<u>1.031</u> 21,47	<u>0.251</u> 12,54	<u>0.055</u> 4,51	<u>0.601</u> 26,12
175-200	2,5		<u>0.043</u> 0,7	<u>0.732</u> 20,62	<u>0.825</u> 17,18	<u>0.196</u> 9,79	<u>0.043</u> 3,52	<u>0.579</u> 25,14
После третьей промывки								
0-25	0,612	нет	<u>0.083</u> 1,36	<u>0.014</u> 0,4	<u>0.327</u> 6,81	<u>0.039</u> 1,96	<u>0.008</u> 0,62	<u>0.138</u> 5,99
25-50	0,46	<u>0.005</u> 0,16	<u>0.122</u> 2	<u>0.025</u> 0,7	<u>0.167</u> 3,48	<u>0.005</u> 0,27	<u>0.001</u> 0,009	<u>0.138</u> 5,98
50-75	1,05	нет	<u>0.081</u> 1,32	<u>0.028</u> 0,8	<u>0.617</u> 12,85	<u>0.087</u> 4,36	<u>0.013</u> 1,07	<u>0.219</u> 9,54
75-100	0,936		<u>0.088</u> 1,44	<u>0.071</u> 2	<u>0.472</u> 9,83	<u>0.046</u> 2,31	<u>0.008</u> 0,62	<u>0.238</u> 10,34
100-125	2,09		<u>0.068</u> 1,12	<u>0.588</u> 16,6	<u>0.667</u> 13,89	<u>0.137</u> 6,85	<u>0.031</u> 2,58	<u>0.51</u> 28,18
125-150	2,84		<u>0.046</u> 0,76	<u>0.886</u> 24,4	<u>0.900</u> 18,75	<u>0.225</u> 11,21	<u>0.047</u> 3,83	<u>0.664</u> 28,87
150-175	2,412		<u>0.024</u> 0,4	<u>0.877</u> 24,7	<u>0.609</u> 12,69	<u>0.135</u> 6,76	<u>0.031</u> 2,58	<u>0.654</u> 28,4
175-200	2,236		<u>0.024</u> 0,4	<u>0.905</u> 25	<u>0.435</u> 9,06	<u>0.098</u> 4,89	<u>0.026</u> 21,14	<u>0.642</u> 27,93

Отмеченные явления одновременно способствовали образованию в этих горизонтах почвы солей бикарбонатов и карбонатов натрия, а также двууглекислого магния. Характерно, что в поверхностных горизонтах почвы в заметном количестве образовался сернокислый натрий. Соли же хлористых соединений,

Таблица 25

Дифференциация и сопряженность солевых масс при промывке почвы
с применением 20 т/га гипса и 40 т/га навоза (%/т/га)

Глубина, см	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
		$\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$	$\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$	NaHCO_3	CaSO_4	MgSO_4	Na_2SO_4	CaCl_2	MgCl_2	NaCl	Na_2CO_3	Сумма солей
До промывки												
0-25	0,029	нет	нет	нет	0,532	нет	нет	0,055	0,217	1,458	нет	2,291
25-50	0,9	0,029	0,023	0,023	16,49	0,023	нет	6,73	6,73	45,2	нет	71,02
50-75	0,026	0,97	0,77	0,77	0,578	0,77	нет	нет	0,156	1,429	нет	2,215
75-100	0,036	0,98	0,501	0,501	19,36	0,501	нет	0,023	5,23	47,87	нет	74,2
100-125	1,33	0,377	18,79	18,79	0,023	0,023	нет	0,185	6,94	1,439	нет	2,174
125-150	0,032	0,345	0,85	0,85	0,046	0,046	нет	0,143	53,96	1,437	нет	81,53
150-175	1,14	1,7	1,7	1,7	0,008	0,008	нет	5,29	6,94	53,16	нет	75,44
175-200	0,029	0,032	0,032	0,032	0,008	0,008	нет	0,118	4,19	1,387	нет	1,9
	1,07	1,15	1,15	1,15	0,28	0,28	нет	4,19	49,6	1,692	нет	67,45
	0,026	0,32	0,32	0,32	0,019	0,019	нет	0,149	2,261	1,692	нет	2,261
	0,95	1,38	1,38	1,38	0,68	0,68	нет	5,36	81,4	60,91	нет	81,4
	0,029	1,38	1,38	1,38	0,244	0,244	нет	0,053	3,034	1,573	нет	3,034
	1,07	41,54	41,54	41,54	8,91	8,91	нет	1,93	110,74	57,41	нет	110,74
	0,029	0,805	0,805	0,805	0,169	0,169	нет	0,046	2,707	1,658	нет	2,707
	1,07	29,79	29,79	29,79	6,25	6,25	нет	1,7	100,16	61,35	нет	100,16
После первой промывки												
0-25	0,027	0,008	0,135	0,135	нет	нет	0,088	нет	нет	0,065	0,001	0,324
25-50	0,84	0,25	4,18	4,18	нет	нет	2,73	нет	нет	2,01	0,03	10,04
	0,027	0,024	0,066	0,066	нет	нет	0,295	нет	нет	0,219	нет	0,631
	0,9	0,8	2,21	2,21	нет	нет	9,88	нет	нет	7,34	нет	21,13

Окончание табл. 25

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
50-75	0,06 2,25			0,532 19,95	0,145 5,44	0,557 20,89			0,841 31,54		2,135 80,07
75-100	0,057 2,11			0,566 20,94	0,211 7,81	0,258 9,55			1,389 51,39		2,481 91,8
100-125	0,057 2,02			0,723 25,67	0,277 9,83	0,19 6,74			1,426 50,62		2,673 94,88
125-150	0,057 2,05			0,685 24,66	0,257 9,25	0,118 56,05			1,557 56,05	нет	2,674 96,26
150-175	0,057 2,08			0,805 29,38	0,271 9,89	0,363 13,25			1,228 44,82		2,724 99,42
175-200	0,057 2,11			0,618 22,87	0,211 7,81	0,324 11,99			1,206 44,62		2,416 89,4
После третьей промывки											
0-25	0,11 3,41			0,041 1,271	0,037 1,147	0,397 12,307			0,023 0,713	нет	0,608 18,848
25-50	0,021 0,735	0,006 0,21	0,138 4,83	нет нет	нет нет	0,247 8,645			0,041 1,435	0,009 0,315	0,462 16,17
50-75	0,106 3,975			0,207 7,762	0,064 2,4	0,62 232,5			0,046 1,725		1,043 39,112
75-100	0,117 4,329			0,059 2,183	0,037 1,369	0,592 21,904			0,117 4,329		0,922 34,114
100-125	0,09 3,195			0,382 13,809	0,155 5,502	0,396 14,058			0,971 34,47		2,001 71,034
125-150	0,061 2,196			0,711 25,596	0,138 4,968	0,318 11,448			1,427 51,372	нет	2,655 95,58
150-175	0,032 1,168			0,432 15,768	0,155 5,657	0,266 9,709			1,445 52,742		2,33 85,044
175-200	0,032 1,184			0,305 11,285	0,129 4,773	0,173 6,401			1,491 55,167		2,13 78,81

особенно хлористого магния и кальция, вымылись полностью не только из поверхностных горизонтов, но и из всего профиля почвогрунта. Довольно резкому выщелачиванию подвергся хлористый натрий, содержание которого значительно уменьшилось по всей толще исследованной глубины почвогрунта (табл. 25).

Вторая промывка ($4000+4000 \text{ м}^3/\text{га}$) продолжала процесс рассоления в верхнем метровом слое почвы (рис. 6 в), а третья ($4000+4000+4000 \text{ м}^3/\text{га}$) еще больше сократила соледержание в профиле почвы (рис. 6 в). Явное рассоление произошло уже по всей глубине почвы. В целом в двухметровом слое запасы солей после второй промывки уменьшились на $138 \text{ т}/\text{га}$ по плотному остатку и на $50 \text{ т}/\text{га}$ по хлору. Однако высокое содержание оставшихся после промывки солей по плотному остатку и других солевых компонентов, таких как $\text{Na} + \text{K}$, не дает основания считать почву промытой, вполне опресненной. Положение осложняется еще и тем, что хотя при третьей промывке содержание HCO_3 и CO_3 -ионов немного уменьшилось, однако сохранившееся количество их оказалось настолько большим, что продолжало оставаться вредным для развития культурных растений. Большое значение сульфат, и кальций-ионов, по-видимому, следует считать положительным фактором для жизни растений. Преобладание этих компонентов после третьей промывки способствовало увеличению содержания в почве сернокислого натрия. Величина этой соли в слое $0-1 \text{ м}$ в среднем составляла $0,46\%$, или $66 \text{ т}/\text{га}$, а в слое $1-2 \text{ м}$ — значительно меньше — $0,29\%$, или $41,6 \text{ т}/\text{га}$.

Как видно, из представленных данных (табл. 25), содержание сернокислого натрия при третьей промывке значительно увеличилось, что связано с почти полным вымыванием хлористого натрия и образованием вторичных солей Na_2SO_4 .

Появление в поверхностном горизонте сернокислого магния и особенно сернокислого кальция способствовало нейтрализации бикарбоната натрия.

Интенсивность выщелачивания солевых масс показала, что хотя в этом варианте процесс солеотдачи в некоторой степени отстает от предыдущего варианта, ход его последовательного изменения при каждой промывке оказывается почти таким же (рис. 7 в).

На выщелачивание 1 т солей из верхнего метрового слоя было израсходовано 130,5 м³/га воды. 1 м³ воды в среднем выщелачивало из метрового слоя почвы 7,7 кг/га солей. На опреснение метрового слоя почвы до порога токсичности в данном варианте потребовалось дополнительно 5 тыс. м³/га воды, необходимой для выщелачивания такой вредной соли, как сернокислый натрий, преобладающий в большинстве случаев в почве после промывки.

Изменение физико-химических свойств почвы. В метровом слое почвы заметно возрастало содержание карбонатов (на 1–3%) и гипса (в 2–3 раза), что привело к лучшему сочетанию состава почвенно-поглощающего комплекса, т.е. значительному увеличению содержания поглощенного кальция и резкому уменьшению поглощенных катионов магния и натрия (табл. 26). Здесь особое внимание следует обратить на изменение содержания поглощенного натрия. Его величина в верхних двух горизонтах уменьшилась с 14 до 1,6–2,0%, от суммы поглощенных катионов, т.е. эти горизонты почвы полностью освободились от солонцеватости. Заметно изменились показатели рН-среды (на 0,3–0,4) и общей щелочности (с 0,029 до 0,012%) в сторону нейтрализации почвы (табл. 26). Данные, полученные во многих наших опытах в разных массивах Азербайджана, дают нам основание не согласиться с выводами R.I.Olsen, R.F.Hensler, O.I. Attes (1970) о том, что внесение навоза на фоне CaCO₃ и MgCO₃ в анаэробных условиях сдвигает рН-среды в сторону щелочной реакции.

Таблица 26

Изменение физико-химических свойств почвы при промывке с внесением 20 т/га гипса и 40 т/га навоза (до/после промывки, %)

Глубина, см	Гумус	CaCO ₃ (по CO ₂)	Гипс	Сумма погло- щенных кати- онов, мэкв	% от суммы			рН	HCO ₃
					Ca	Mg	Na		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0–10	1,16	15,41	0,181	24,25	57,91	28,18	13,91	8,1	0,029
	1,26	16,44	0,546	19,85	70,62	27,36	2,02	7,7	
10–34	0,7	15,41	0,181	24,45	57,91	28,18	13,91	8,1	0,029
	0,74	18,53	0,248	24,61	66,64	31,73	1,63	7,7	

Окончание табл. 26

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
34-60	<u>0.43</u> 0,44	<u>16.54</u> 17,79	<u>0.385</u> 0,471	<u>24.26</u> 27,58	<u>51.56</u> 70	<u>31.35</u> 22,9	<u>16.49</u> 7,1	<u>8.1</u> 7,8	<u>0.024</u> 0,027
60-86	<u>0.43</u> 0,44	<u>17.67</u> 17,83	<u>0.385</u> 1,005	<u>26.85</u> 27,28	<u>64.05</u> 59,24	<u>26.27</u> 32,26	<u>9.68</u> 8,5	<u>7.9</u> 8,1	<u>0.024</u> 0,029
86-100	<u>0.4</u> 0,4	<u>17.23</u> 16,87	<u>0.509</u> 0,255	<u>24.44</u> 28,16	<u>72.91</u> 60,23	<u>19.72</u> 31,25	<u>7.37</u> 8,52	<u>8</u> 7,9	<u>0.024</u> 0,024

Изменение агрофизических свойств почвы. Наиболее характерные данные получены по изменению микроагретатного состава и коэффициента дисперсности почвы. Количество структурообразующих частиц (более 0,01 мм) значительно увеличилось, а физической глины и илистой фракции, наоборот, заметно уменьшилось (табл. 27).

Таблица 27

Изменение некоторых агрофизических свойств почвы при промывке с внесением 20 т/га гипса и 40 т/га навоза (до/после промывки, %)

Глубина, см	Величина фракции, мм							Коэффициент дисперсности	Водопроницаемость, мм / мин			
	1-0,25	0,25-0,05	0,05-0,01	0,01-0,005	0,005-0,001	<0,001	<0,01		Первые 10 мин	1-й час	6-й час	за 6 часов (средн.)
0-10	<u>0.063</u> 3,88	<u>9.54</u> 14,56	<u>71.76</u> 67,08	<u>9.16</u> 8,06	<u>1.48</u> 1,68	<u>7.33</u> 4,74	<u>18.02</u> 14,48	<u>22.81</u> 10,61	3 8,8	<u>0.7833</u> 1,7167	<u>0.0333</u> 0,1560	<u>0.1778</u> 0,4111
10-34	<u>0.63</u> 0,18	<u>9.59</u> 0,38	<u>71.76</u> 74,32	<u>9.16</u> 17,04	<u>1.48</u> 1,92	<u>7.33</u> 6,16	<u>18.02</u> 25,12	<u>26.4</u> 15,99				
34-60	<u>1</u> 0,39	<u>15.3</u> 2,69	<u>66.44</u> 76,08	<u>6.08</u> 11,16	<u>1.68</u> 1,95	<u>7.5</u> 7,73	<u>15.26</u> 20,84	<u>35.51</u> 17,97				
60-86	<u>0.07</u> 0,18	<u>10.99</u> 1,42	<u>12.28</u> 72,50	<u>3.64</u> 17,64	<u>0.84</u> 0,8	<u>12.18</u> 7,76	<u>16.66</u> 25,9	<u>26.12</u> 20,73				
86-100	<u>0</u> 0,64	<u>8.1</u> 18,16	<u>76.04</u> 64,56	<u>3.60</u> 6,16	<u>1.04</u> 2,48	<u>11.22</u> 8	<u>15.86</u> 16,64	<u>36.12</u> 25,44				

Уменьшение коэффициента дисперсности почв в слое 0-1 м составило 18%, что в свою очередь отразилось на водных свойствах почвы. Водопроницаемость почвы увеличилась более чем в 30 раз. За шесть часов профильтровалось 148 мм воды, из них за

первый час — 103 мм, или 69,2% от общего количества профильтровавшейся воды. В течение первых 10 мин профильтровалось 88 мм (59,5%). Средняя скорость водопроницаемости составила 0,4111 мм/мин, а установившаяся скорость водопроницаемости — 0,1500 мм/мин.

Производительность почвы. Здесь в условиях без применения удобрений урожайность зеленой массы гороха кормового достигла 34,71 г на сосуд, а урожай хлопчатника — 7,97 г на сосуд. Применение удобрений резко повысило выход продукции растений. Так, по зеленой массе гороха кормового он составил 132,11 г, а по хлопчатнику — 17,60 г на сосуд.

В полевых производственных условиях урожай риса по зерну составил 23,2 ц/га. Аналогичные результаты получены по урожаю ячменя, количество зерна которого с 1 га составило 24,5 ц. Большой урожай получен и по хлопчатнику. Хлопка-сырца с 1 га было получено 25,6 ц/га.

Таким образом, совместное применение гипса и навоза при промывке оказывается довольно эффективным приемом не только для быстрого удаления солей из почвы с низкой солеотдачей, но и для резкого улучшения физико-химических и агрофизических свойств и наилучшей производительности почвы. При этом самым лучшим оказался способ промывки с оптимальной дозой гипса 15 т/га и навоза 40 т/га.

ГЛАВА VII

ПРОМЫВКА ПОЧВ С ПРИМЕНЕНИЕМ СЕРНОЙ КИСЛОТЫ

Техническая серная кислота, производимая в большом количестве в виде отходов Сумгайытским заводом синтетического каучука и Гянджинским (Кировобадском) алюминиевым заводом не нашла еще широкого применения в народном хозяйстве Азербайджана. Учитывая дешевизну ее (стоимость 1 т — 7 руб.), а также способность сильно растворять соли, мы сочли нужным провести широкие испытания эффективности серной кислоты для ускорения процесса промывки засоленных почв с низкой солеотдачей. Кроме того, основанием для широкого экспериментирования с серной кислотой при промывке почв послужила надежда на то, что серная кислота по сравнению с гипсом (имеющим слабую растворимость в щелочной среде и способность в присутствии карбонатов кальция приостанавливать процесс растворения путем образования на своей поверхности кристаллов защитной пленки), окажется более активным реагентом в процессе коагуляции и агрегирования коллоидной фракции, в регулировании соотношения щелочных и щелочноземельных катионов в почвенном растворе, создании положительного антагонизма солей и повышении эффективности промывки засоленных почв с низкой солеотдачей.

Принцип воздействия серной кислоты на повышение эффективности засоленных почв в карбонатной среде почти такой же, как у гипса. Отличие заключается лишь в том, что при применении серной кислоты в карбонатной почве образуется свежий гипс ($\text{H}_2\text{SO}_4 + \text{CaCO}_3 \rightleftharpoons \text{CaSO}_4 + \text{HCO}_3$), растворимость которого более высокая, чем у обмолотого и внесенного в почву гипса.

Применение серной кислоты в сельском хозяйстве в частности, при мелиорации почв, не является новым. Оно предлагалось еще К.К.Гедройцем (1922, 1930), A.V.Sigmond (1922, 1932), Д.Н.Прянишниковым (1924), И.Н.Антиповым-Каратаевым (1937) для рассолонцевания солонцов. Однако эксперименты с применением серной кислоты для ускорения промывки засоленных почв начали проводиться лишь в последние годы. Широкие опыты с содовозасоленными почвами проводились Известны также работы в Грузии В.И.Чхиквишвили (1971), И.Бочкаи (1971) в Венгрии, П.Яницким (1971) в США. Применение серной кислоты в Азербайджане в целях повышения эффективности промывки тяжело глинистых, засоленных нейтральными солями почв впервые было осуществлено в 1964–1965 гг. К.Г.Теймуровым (1969) и в 1966 г. под нашим руководством М.С.Мамедовым (1969). С 1967 г. мы проводили эту работу уже в производственных условиях и таким образом: тяжелые по механическому составу почвы с сульфатно-хлоридно-натриевым или хлоридно-сульфатно-натриевым засолением перед промывкой насыщались принятой дозой серной кислоты, а затем промывались водой. Принятая доза серной кислоты вносилась в почву при подаче первой нормы ($4000 \text{ м}^3/\text{га}$) промывной воды. Испытывали три дозы серной кислоты — 10, 20 и 30 $\text{т}/\text{га}$ из которых получены соответственно 0,4–0,8 и 1,2%-ные растворы.

Промывка почв с внесением 10 т/га серной кислоты

Почвы опытного участка до промывки были сильно засолены. Содержание плотного остатка в профиле этих почв превышало 3% (рис. 8 а, табл. 28). После подачи второй нормы воды* почвы подверглись сильному рассолению. При этом рассолением оказалась охвачена вся исследуемая двухметровая толща (рис. 8 а). Средняя величина выщелоченных из верхнего полуметрового слоя почвы солей составила 1,388%, или 89% $\text{т}/\text{га}$, по плотному остатку и 0,66%, или 44 $\text{т}/\text{га}$, по хлору.

* Образцы первой промывки здесь и в варианте промывки с внесением 20 т/га серной кислоты потеряны.

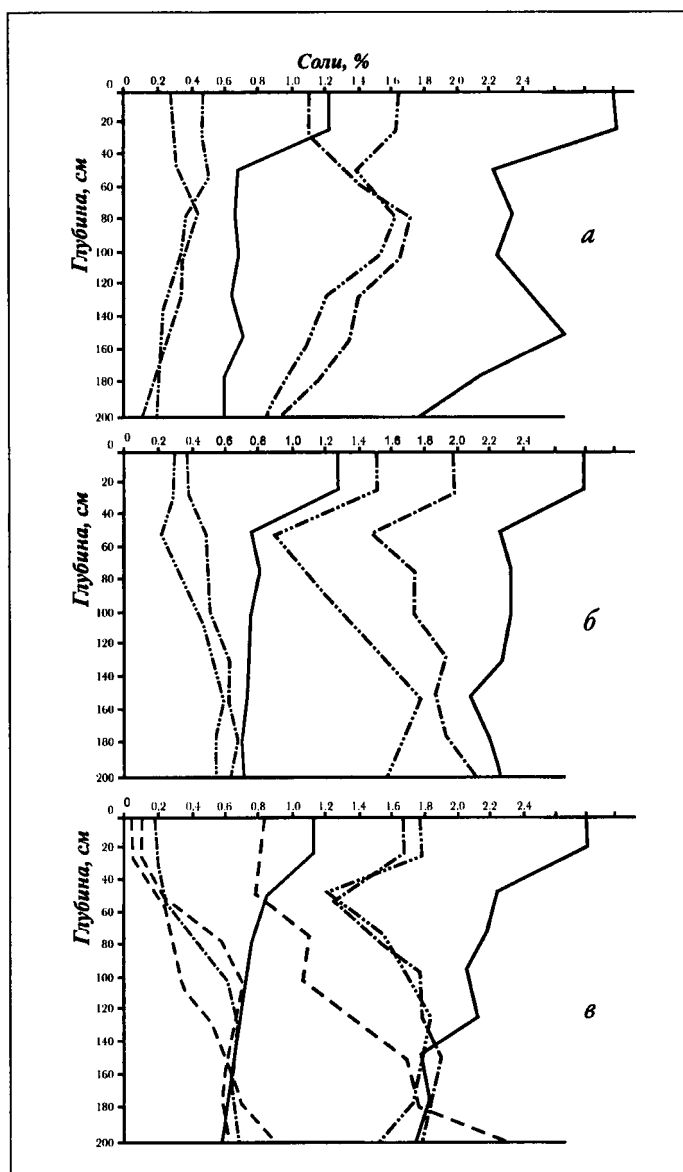


Рис. 8. Характер выщелачивания солей при промывке с применением серной кислоты: а — 10 т/га серной кислоты; б — 20 т/га серной кислоты; в — 30 т/га серной кислоты. Остальные обозначения как на рис. 2

Характерно, что послойное вымывание солей во втором метровом слое происходило равномерно. Запасы солевых масс каждого горизонта уменьшились почти наполовину (рис. 8 а). Общее количество вымытых солей во втором метровом слое несколько превышает (на 0,4%, или на 10 *т/га*) таковые в верхнем метровом слое почвы, что, по-видимому, вызвано некоторой легкостью механического состава этого слоя.

Обращают на себя внимание данные по сульфатиону, количество которого в поверхностном слое почвы не только не уменьшилось, а, наоборот, резко увеличилось (более чем в 4,5 раза), что в условиях внесения в почву серной кислоты является вполне естественным. Однако содержание этого компонента в подпахотном и последующих горизонтах довольно заметно уменьшилось.

Ход изменения содержания Са-иона оказался почти таким же, как по сульфат-иону (табл. 28). Довольно большое расслоение отмечалось по Na + K. Резкое выщелачивание этих компонентов произошло не только в верхних, но и в нижних горизонтах почвы.

Таблица 28

Изменение содержания солевых компонентов
при промывке с применением 10 т/га серной кислоты (% / мэкв)

Глубина, см	Плотный остаток	CO ₃	HCO ₃	Cl	SO ₄	Ca	Mg	Na+K
1	2	3	4	5	6	7	8	9
До промывки								
0-25	2,744	нет	<u>0.034</u> 0,56	<u>1.459</u> 41,1	<u>0.132</u> 2,75	<u>0.041</u> 2,05	<u>0.018</u> 1,51	<u>0.939</u> 40,85
25-50	3,668		<u>0.029</u> 0,48	<u>1.125</u> 31,7	<u>1.193</u> 24,75	<u>0.123</u> 24,85	<u>0.022</u> 6,16	<u>1.128</u> 49,04
50-75	3,502		<u>0.027</u> 0,44	<u>1.061</u> 29,9	<u>1.142</u> 23,79	<u>0.155</u> 5,72	<u>0.025</u> 2,05	<u>1.066</u> 46,36
75-100	3,636		<u>0.027</u> 0,44	<u>1.103</u> 31,1	<u>1.116</u> 23,25	<u>0.141</u> 7,02	<u>0.026</u> 2,16	<u>1.049</u> 45,61
100-125	3,668		<u>0.022</u> 0,36	<u>1.083</u> 30,5	<u>1.119</u> 24,79	<u>0.141</u> 7,02	<u>0.023</u> 1,94	<u>1.078</u> 46,87
125-150	3,576		<u>0.019</u> 0,32	<u>1.058</u> 29,8	<u>1.142</u> 23,79	<u>0.13</u> 6,48	<u>0.023</u> 1,94	<u>1.046</u> 45,49
150-175	3,402		<u>0.022</u> 0,36	<u>4.029</u> 29	<u>1.132</u> 23,58	<u>0.123</u> 6,16	<u>0.021</u> 1,73	<u>1.036</u> 45,06

Окончание табл. 28

1	2	3	4	5	6	7	8	9
175–200	3,378	нет	<u>0,022</u> 0,36	<u>1,076</u> 30,3	<u>1,069</u> 22,27	<u>0,113</u> 5,62	<u>0,023</u> 1,94	<u>1,043</u> 45,37
После второй промывки								
0–25	1,15	нет	<u>0,04</u> 0,65	<u>0,151</u> 4,25	<u>0,587</u> 12,22	<u>0,073</u> 3,66	<u>0,022</u> 1,78	<u>0,269</u> 11,68
25–50	1,702		<u>0,04</u> 0,65	<u>0,204</u> 5,75	<u>0,812</u> 16,9	<u>0,1</u> 4,99	<u>0,023</u> 1,89	<u>0,378</u> 16,42
50–75	1,88		<u>0,04</u> 0,65	<u>0,359</u> 10,12	<u>0,761</u> 15,84	<u>0,093</u> 4,66	<u>0,027</u> 2,22	<u>0,454</u> 19,73
75–100	2,002		<u>0,04</u> 0,65	<u>0,27</u> 7,62	<u>0,917</u> 19,09	<u>0,109</u> 5,44	<u>0,026</u> 2,11	<u>0,456</u> 19,81
100–125	2,27		<u>0,37</u> 0,6	<u>0,24</u> 6,75	<u>1,135</u> 23,63	<u>0,144</u> 7,21	<u>0,028</u> 2,34	<u>0,493</u> 21,43
125–150	1,62		<u>0,04</u> 0,65	<u>0,173</u> 4,87	<u>0,786</u> 16,36	<u>0,062</u> 3,11	<u>0,013</u> 1,11	<u>0,406</u> 17,66
150–175	1,405		<u>0,49</u> 0,8	<u>0,164</u> 4,62	<u>0,593</u> 12,35	<u>0,033</u> 1,66	<u>0,012</u> 1	<u>0,347</u> 15,11
175–200	1,285	<u>0,003</u> 0,1	<u>0,043</u> 0,7	<u>0,186</u> 5,25	<u>0,524</u> 10,91	<u>0,022</u> 1,11	<u>0,007</u> 0,55	<u>0,352</u> 15,30
После третьей промывки								
0–25	1,337	нет	<u>0,021</u> 0,35	<u>0,115</u> 3,25	<u>0,784</u> 16,32	<u>0,209</u> 10,43	<u>0,024</u> 2	<u>0,172</u> 7,49
25–50	0,527		<u>0,043</u> 0,7	<u>0,057</u> 1,62	<u>0,194</u> 4,04	<u>0,009</u> 0,44	<u>0,003</u> 0,23	<u>0,131</u> 5,69
50–75	0,572	<u>0,004</u> 0,15	<u>0,038</u> 0,62	<u>0,062</u> 1,75	<u>0,206</u> 4,29	<u>0,004</u> 0,22	<u>0,003</u> 0,22	<u>0,146</u> 6,37
75–100	0,68	<u>0,004</u> 0,15	<u>0,047</u> 0,77	<u>0,062</u> 1,75	<u>0,282</u> 5,87	<u>0,004</u> 0,22	<u>0,003</u> 0,22	<u>0,186</u> 8,1
100–125	1,075	<u>0,003</u> 0,1	<u>0,04</u> 0,65	<u>0,075</u> 2,12	<u>0,52</u> 10,83	<u>0,016</u> 0,78	<u>0,004</u> 0,33	<u>0,289</u> 12,59
125–150	1,522	нет	<u>0,033</u> 0,55	<u>0,164</u> 4,62	<u>0,736</u> 15,32	<u>0,055</u> 2,77	<u>0,012</u> 1	<u>0,384</u> 16,72
150–175	1,665		<u>0,03</u> 0,5	<u>0,217</u> 6,12	<u>0,865</u> 18,01	<u>0,098</u> 4,88	<u>0,015</u> 1,22	<u>0,426</u> 18,53
175–200	1,32	<u>0,004</u> 0,15	<u>0,035</u> 0,57	<u>0,262</u> 7,37	<u>0,341</u> 7,1	<u>0,01</u> 0,5	<u>0,003</u> 0,28	<u>0,331</u> 14,41

Что же касается общей щелочности, то здесь наблюдалась обратная картина. Значение HCO_3^- -иона при второй промывке

увеличилось во всех горизонтах исследованной толщи почвы. И хотя повышение содержания HCO_3^- -иона было небольшим и не достигло токсичной величины (табл. 28), сам факт был неприятен тем, что внесение серной кислоты в почву при промывке способствует образованию соды. Однако данные по отдельным солям нас успокоили. Как видно из табл. 29, повышение содержания общей щелочности способствовало некоторому увеличению значения лишь двууглекислого кальция в профиле исследованной толщи почвы. Содержание сернокислого кальция в поверхностном горизонте увеличилось вдвое, зато в глубже лежащих горизонтах он подвергся заметному вымыванию. То же можно сказать и о сернокислом магнии (табл. 29).

Таблица 29

Дифференциация и сопряженность солевых масс
при промывке почвы с применением 10 т/га серной кислоты (% т/га)

Глубина, см	$\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$	$\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$	MgSO_4	Na_2SO_4	CaCl_2	MgCl_2	NaCl	Na_2CO_3	Сумма солей
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
До промывки									
0–25	<u>0,045</u> 1,4	нет	нет	<u>0,101</u> 3,13	<u>0,075</u> 2,33	нет	<u>0,389</u> 74,06	нет	<u>2,622</u> 81,29
25–50	<u>0,039</u> 1,31			<u>0,387</u> 12,97	<u>0,11</u> 3,69	<u>1,114</u> 87,32	<u>1,854</u> 62,11		<u>3,504</u> 117,4
50–75	<u>0,036</u> 1,35			<u>0,290</u> 10,88	<u>0,123</u> 4,61	<u>1,16</u> 43,84	<u>1,749</u> 65,59		<u>3,367</u> 126,27
75–100	<u>0,036</u> 1,33			<u>0,448</u> 16,58	<u>0,13</u> 4,81	<u>1,03</u> 38,11	<u>1,819</u> 67,3		<u>3,463</u> 128,13
100–125	<u>0,029</u> 1,03			<u>0,453</u> 16,08	<u>0,116</u> 4,12	<u>1,162</u> 41,25	<u>1,784</u> 63,33		<u>3,544</u> 125,81
125–150	<u>0,025</u> 0,9			<u>0,419</u> 15,08	<u>0,116</u> 4,18	<u>1,114</u> 40,1	<u>1,743</u> 62,75		<u>3,417</u> 123,01
150–175	<u>0,029</u> 1,06			<u>0,394</u> 14,38	<u>0,124</u> 4,53	<u>1,14</u> 41,53	<u>1,696</u> 61,9		<u>3,383</u> 123,48
175–200	<u>0,029</u> 1,07			<u>0,357</u> 13,21	<u>0,116</u> 4,29	<u>1,07</u> 39,59	<u>1,773</u> 65,5		<u>3,345</u> 123,76

Окончание табл. 29

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
После второй промывки									
0-25	<u>0,052</u> 1,61	нет	нет	<u>0,204</u> 6,32	<u>0,106</u> 3,29	<u>0,528</u> 16,37	<u>0,249</u> 7,72	нет	<u>1,139</u> 35,31
25-50	<u>0,052</u> 1,74			<u>0,295</u> 9,88	<u>0,114</u> 3,82	<u>0,757</u> 25,36	<u>0,336</u> 11,26		<u>1,554</u> 52,06
50-75	<u>0,052</u> 1,95			<u>0,24</u> 9	<u>0,134</u> 5,03	<u>0,682</u> 25,58	<u>0,592</u> 22,2		<u>1,7</u> 63,76
75-100	<u>0,053</u> 1,96			<u>0,326</u> 12,06	<u>0,126</u> 4,66	<u>0,865</u> 32,01	<u>0,445</u> 16,47		<u>1,815</u> 67,16
100-125	<u>0,049</u> 1,74			<u>0,449</u> 15,94	<u>0,14</u> 4,97	<u>1,043</u> 37,03	<u>0,395</u> 14,02		<u>2,076</u> 73,7
125-150	<u>0,053</u> 1,91			<u>0,167</u> 6,01	<u>0,066</u> 2,38	<u>0,908</u> 32,69	<u>0,285</u> 10,26		<u>1,479</u> 53,24
150-175	<u>0,065</u> 2,37			<u>0,058</u> 2,12	<u>0,06</u> 2,19	<u>0,745</u> 27,19	<u>0,27</u> 9,86		<u>1,198</u> 43,73
175-200	<u>0,057</u> 2,11			<u>0,102</u> 3,77	<u>0,033</u> 1,22	<u>0,707</u> 26,16	<u>0,307</u> 11,36		<u>1,211</u> 44,81
После третьей промывки									
0-25	<u>0,028</u> 0,87	нет	нет	<u>0,684</u> 21,2	<u>0,12</u> 3,72	<u>0,3</u> 9,3	<u>0,189</u> 5,86	нет	<u>1,321</u> 40,95
25-50	<u>0,035</u> 1,17	<u>0,017</u> 0,57	<u>0,003</u> 0,1	нет	нет	<u>0,287</u> 9,62	<u>0,094</u> 3,15		<u>0,436</u> 14,61
50-75	<u>0,017</u> 0,64	<u>0,016</u> 0,6	<u>0,015</u> 0,56			<u>0,305</u> 11,44	<u>0,102</u> 3,83	<u>0,007</u> 0,26	<u>0,462</u> 17,33
75-100	<u>0,017</u> 0,63	<u>0,016</u> 0,59	<u>0,028</u> 1,04			<u>0,417</u> 15,43	<u>0,102</u> 3,77	<u>0,007</u> 0,26	<u>0,587</u> 2,17
100-125	<u>0,053</u> 1,88	нет	нет	<u>0,009</u> 0,32	<u>0,02</u> 0,71	<u>0,736</u> 26,13	<u>0,124</u> 4,4	<u>0,005</u> 0,18	<u>0,947</u> 33,62
125-150	<u>0,044</u> 1,58			<u>0,151</u> 5,44	<u>0,06</u> 2,16	<u>0,859</u> 30,92	<u>0,27</u> 9,72	нет	<u>1,384</u> 49,82
150-175	<u>0,04</u> 1,46			<u>0,298</u> 10,88	<u>0,074</u> 2,7	<u>0,881</u> 32,16	<u>0,358</u> 13,07		<u>1,651</u> 60,27
175-200	<u>0,04</u> 1,48			<u>0,005</u> 0,19	нет	<u>0,012</u> 0,44	<u>0,489</u> 18,09	<u>0,431</u> 15,95	<u>0,007</u> 0,26

Примечание: до промывки в слое 0 – 25 обнаруживался $MgCl_2$ в количестве 0,012 % (0,37 т/га).

Следует отметить, что, несмотря на довольно значительное увеличение в поверхностном горизонте запасов сернокислых солей, в целом в двухметровой толще почвы их содержание резко сократилось (на 37 *т/га* CaSO_4 , 5 *т/га* MgSO_4 и 59 *т/га* Na_2SO_4). Это указывает на то, что при второй промывке вымыванию подверглись не только сернокислые соли (главным образом гипс) самой почвы, но и соли, образованные в результате внесения в почву серной кислоты.

Обращают на себя внимание данные по хлористому натрию. В поверхностном горизонте содержание этой соли уменьшилось более чем в 9 раз (с 2,389 до 0,249%). Интенсивному выщелачиванию он подвергался по всей толще почвогрунта (табл. 29). Достаточно сказать, что запасы его уменьшились на 212 *т/га* в первом и на 208 *т/га* во втором метровых слоях почвогрунта. Следовательно, главную массу выщелоченных солей составил хлористый натрий. Кроме того, из двухметровой толщи почвогрунта было вымыто 516 *т/га* легкорастворимых солей. При этом сравнительно большая сумма солей (281 *т/га*) удалена из второго метрового слоя.

Приведенные цифры свидетельствуют о большой эффективности применения серной кислоты в дозе 10 *т/га* при промывке засоленных почв с низкой солеотдачей. Однако незначительное появление соды на довольно большой глубине почвогрунта (175–200 *см*) заставляет нас не торопиться с выводами. Наличие соды можно было бы оценить как случайное явление, если бы не результаты последующей промывки.

Применение очередной, третьей нормы промывной воды не только не закрепило полученную эффективность серной кислоты в углублении рассоления почвы, а, наоборот, способствовало значительному увеличению солесодержания в поверхностном полуметровом слое почвы. При этом резкое повышение содержания отмечалось в верхнем (25 *см*) слое почвы, где количество плотного остатка, по данным рис. 9 а (составлен по средним данным опытов в девятикратной повторности), увеличивалось более чем на 0,5% (16 *т/га*), а содержание хлора — на 0,286% (6 *т/га*). Содержание плотного остатка в глубже лежащих горизонтах значительно уменьшилось. При этом рассоление для слоя 0,5–1,0 *м* составило 1,3%, а для второго метрового слоя — 0,3%.

Количество сульфатов и кальция продолжало увеличиваться в поверхностном (25 см) слое почвы с 0,587 и 0,073% до 0,784 и 0,209%, что, по-видимому, вызвано солеобразующим действием серной кислоты. Содержание названных компонентов до глубины 150 см значительно уменьшилось, а в слое 150–175 см заметно повысилось.

Резкое рассоление почвы отмечалось также по Mg и Na+K. Содержание их в двухметровой толще почвы в среднем уменьшилось соответственно на 0,008% и 0,176%.

Примечательны данные по HCO_3 и CO_3 . Если величина общей щелочности в верхнем (25 см) слое уменьшилась вдвое, то в глубжележащих горизонтах почвы — несущественно. Что же касается CO_3 , то обнаруживалась явная тенденция не только к повышению его содержания, но и к появлению его в ряде горизонтов почвы (табл. 28). Все это способствовало образованию в названных горизонтах нормальных карбонатов и появлению в почве двууглекислого магния и бикарбоната натрия (табл. 28). Из данных табл. 28 становится вполне очевидным, что отмеченное явление вызвано резким выщелачиванием из почвы сернокислых солей и прежде всего CaSO_4 и MgSO_4 . Содержание же сернокислого натрия уменьшилось более чем вдвое. Однако в поверхностном горизонте количество CaSO_4 и MgSO_4 продолжало увеличиваться (гипс — более чем в три раза). NaCl в полутораметровой толще вымывался довольно значительно.

Таким образом, в результате третьей промывки, учитывая значительное увеличение количества некоторых солей в поверхностном горизонте и появление новых солей в других горизонтах верхнего метрового слоя, из почвы было дополнительно вынесено 124 т/га солей. На 35 т/га уменьшились запасы солей во втором метровом слое почвы. Таким образом, при промывке из двухметровой толщи почвы было удалено 675 т/га солей, в том числе 463 т/га NaCl и 129 т/га NaSO_4 . Все это указывает на большую эффективность характеризуемого способа промывки. Однако постепенное убывание интенсивности солеотдачи при каждой норме и характер качественного изменения солевых масс (появление новых солей, причем вредных, таких как NaCO_3 , NaHCO_3 и $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$ при третьей промывке приводит к обратному мнению.

Интенсивность выщелачивания солевых масс создает полное представление о характере солеотдачи при каждой промывке почвы (рис. 9а). Средние расчеты анализов из девяти повторных образцов при каждой промывке показали, что если величина выщелачивания к исходному (допромывному) засолению после второй промывки составила по плотному остатку для верхнего полуметрового слоя 54%, то после третьей промывки она снизилась до +11%. По хлору эту показатели соответственно составила 68 и +17%. Для верхнего метрового/ слоя характеризующие показатели составили 40 и +3,5% по плотному остатку, 56 и +7% по хлору.

На выщелачивание 1 *т* солей по плотному остатку расходовалось 97,6 $\text{м}^3/\text{га}$ воды, а по хлору — 218,2 $\text{м}^3/\text{га}$. 1 м^3 воды выщелачивает из метрового слоя почвы соответственно 10,3 и 4,6 $\text{кг}/\text{га}$ солей. При этом привлекает внимание характер выщелачивания солей при каждой промывке. Выявлено, например, что если 1 м^3 воды из метрового слоя почвы при второй промывке выщелачивает 33,7 $\text{кг}/\text{га}$ по плотному остатку и 16,2 $\text{кг}/\text{га}$ по хлору, то при третьей промывке это количество воды способствует накоплению в характеризующем слое почвы солей: 3,0 $\text{кг}/\text{га}$ по плотному остатку и 2,1 $\text{кг}/\text{га}$ по хлору.

Из всего сказанного, по-видимому, следует вывод о том, что при промывке почв с применением серной кислоты вообще и в частности в дозе 10 *т/га* нельзя ограничиваться двумя-тремя промывками, их надо продолжать до тех пор, пока не вымоются все вторичные соли, образованные с внесением в почву серной кислоты. Это дает возможность улучшить водные свойства почв при промывке с внесением серной кислоты. Результаты лабораторных опытов показали что фильтрация воды при промывке почвы с внесением серной кислоты в дозе 10 *т/га* увеличивается в слое 0–25 *см* с 0,73 до 1,80 $\text{см}^3/\text{мин}$, а в слое 25–50 *см* — с 0,92 до 1,44 $\text{см}^3/\text{мин}$.

Производительность почв показала, что почвы, промытые с применением серной кислоты в дозе 10 *т/га*, способствуют получению с каждого гектара; риса — 18,7 *ц*, ячменя — 15,5 и хлопчатника — 15,8 *ц*. По сравнению с промывкой только водой урожай риса повысился на 12,5%, ячменя — на 35% и хлопчатника — на 43%, что весьма показательно.

Промывка почв с внесением 20 т/га серной кислоты

Из рисунка 8 б видно, что до промывки в двухметровой толще почвы было накоплено 585 т/га солей. Первая промывка способствовала значительному рассолению почвогрунта. Промывка второй нормой воды (4000+4000 м³/га) рассолила почвы по всей исследованной толще профиля, однако степень выраженности этого явления по сравнению с предыдущим вариантом была несколько ослаблена (рис. 8). Средний вынос солей из метрового слоя почвы составил 0,58% (95 т/га) по плотному остатку и 0,44% (72 т/га) по хлору. Выщелачивание солей из второго метрового слоя оказалось еще меньше, т.е. 0,24% (3,5% т/га) по плотному остатку и 0,08% (12 т/га).

В отличие от предыдущего варианта третья промывка (4000+4000+4000 м³/га) продолжала рассоление по всему профилю почвы. При этом особое внимание обращают на себя SO₄ и Ca, количество которых в слое 0–25 см соответственно увеличилось на 0,531 и 0,166%.

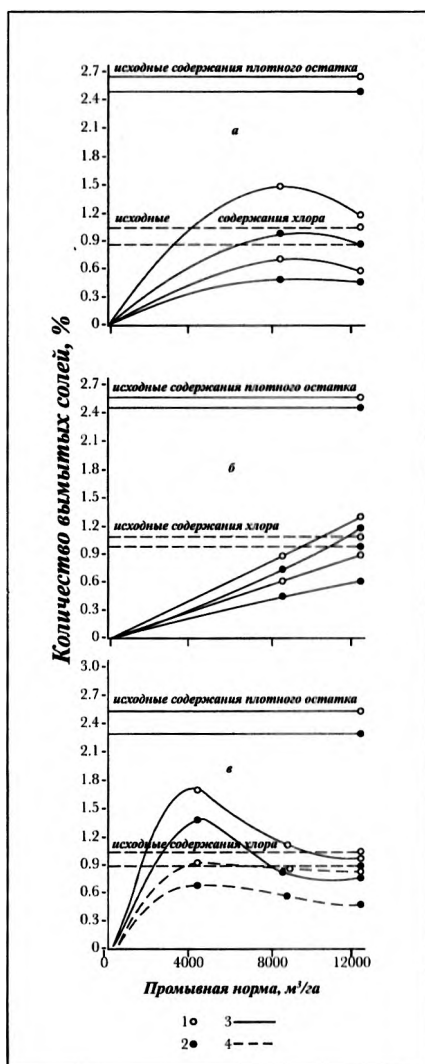


Рис. 9. Интенсивность выщелачивания солей при промывке с применением серной кислоты: а — 10 т/га серной кислоты; б — 20 т/га серной кислоты; в — 30 т/га серной кислоты. Остальные обозначения как на рис. 5

Содержание сульфат-иона в слое 25–200 см значительно уменьшилось, тогда как содержание Са-иона в этом слое резко увеличилось (табл. 30). Средняя величина этих компонентов после третьей промывки соответственно составила: в слое 0–1 м — 0,485 и 0,098%, в слое 1–2 м — 0,313 и 0,051%. По хлору в почве отмечалось значительное выщелачивание по всей исследованной толще профиля. При этом резкое вымывание (почти в 9 раз) было приурочено к верхнему полуметровому слою почвы, где содержание хлора снизилось с 1,033% до 0,122%. Более чем в четыре раза в характеризуемом слое почвы вымылись Na + K, количество которых наполовину уменьшилось в слоях 0,5–1,0 и 1–2 м. По данным общей щелочности существенных изменений не отмечалось.

Таблица 30

Изменение содержания солевых компонентов
при промывке почвы с применением 20 т/га серной кислоты (% мэкв)

Глубина, см	Плотный остаток	CO ₃	HCO ₃	Cl	SO ₄	Ca	Mg	Na+K
1	2	3	4	5	6	7	8	9
До промывки								
0–25	2,878	нет	<u>0.02</u> 0,32	<u>1.278</u> 36	<u>0.364</u> 7,58	<u>0.074</u> 3,67	<u>0.022</u> 1,80	<u>0.884</u> 38,43
25–50	2,54		<u>0.022</u> 0,36	<u>0.788</u> 22,2	<u>0.801</u> 16,68	<u>0.087</u> 4,32	<u>0.01</u> 0,86	<u>0.783</u> 34,06
50–75	1,972		<u>0.027</u> 0,44	<u>0.71</u> 20	<u>0.521</u> 10,85	<u>0.032</u> 1,62	<u>0.007</u> 0,54	<u>0.67</u> 29,19
75–100	1,798		<u>0.029</u> 0,48	<u>0.682</u> 19,2	<u>0.431</u> 8,98	<u>0.022</u> 1,08	<u>0.004</u> 0,32	<u>0.627</u> 27,26
100–125	2,092		<u>0.029</u> 0,48	<u>0.696</u> 19,6	<u>0.6</u> 12,5	<u>0.026</u> 1,3	<u>0.007</u> 0,54	<u>0.707</u> 30,74
125–150	1,938		<u>0.034</u> 0,56	<u>0.465</u> 13,1	<u>0.766</u> 15,96	<u>0.028</u> 1,4	<u>0.003</u> 0,22	<u>0.643</u> 27,96
150–175	1,78		<u>0.041</u> 0,68	<u>0.497</u> 14	<u>0.593</u> 12,35	<u>0.013</u> 0,65	<u>0.003</u> 0,22	<u>0.602</u> 26,16
175–200	1,866		<u>0.034</u> 0,56	<u>0.462</u> 13	<u>0.696</u> 14,5	<u>0.017</u> 0,85	<u>0.003</u> 0,22	<u>0.621</u> 26,98

Промывка почв с применением серной кислоты

Окончание табл. 30								
1	2	3	4	5	6	7	8	9
После промывки								
0-25	1,487	нет	<u>0.018</u> 0,3	<u>0.071</u> 2,00	<u>0.895</u> 18,63	<u>0.24</u> 11,99	<u>0.032</u> 2,61	<u>0.145</u> 6,33
25-50	1,075		<u>0.026</u> 0,42	<u>0.173</u> 4,87	<u>0.403</u> 8,39	<u>0.044</u> 2,22	<u>0.005</u> 0,44	<u>0.253</u> 11,02
50-75	1,257		<u>0.022</u> 0,37	<u>0.333</u> 9,37	<u>0.300</u> 6,25	<u>0.044</u> 2,22	<u>0.009</u> 0,78	<u>0.299</u> 12,99
75-100	1,59		<u>0.024</u> 0,4	<u>0.479</u> 13,5	<u>0.345</u> 7,18	<u>0.064</u> 3,22	<u>0.009</u> 0,78	<u>0.393</u> 17,08
100-125	1,662		<u>0.019</u> 0,32	<u>0.51</u> 14,37	<u>0.533</u> 11,1	<u>0.095</u> 4,77	<u>0.02</u> 1,67	<u>0.445</u> 19,85
125-150	1,18		<u>0.019</u> 0,32	<u>0.448</u> 12,62	<u>0.282</u> 5,87	<u>0.044</u> 2,22	<u>0.012</u> 1	<u>0.358</u> 15,59
150-175	1,395		<u>0.024</u> 0,4	<u>0.508</u> 14,31	<u>0.256</u> 5,32	<u>0.038</u> 1,89	<u>0.011</u> 0,88	<u>0.397</u> 17,26
175-200	1,115		<u>0.024</u> 0,4	<u>0.415</u> 11,69	<u>0.181</u> 3,76	<u>0.029</u> 1,44	<u>0.005</u> 0,45	<u>0.321</u> 13,96

Внесенная серная кислота довольно сильно способствовала новообразованию сернокислых солей в поверхностном слое почвы, где величина CaSO_4 увеличилась на 0,567%, MgSO_4 — на 0,05%, а Na_2SO_4 — на 0,134%. Значительное увеличение содержания сернокислого кальция отмечалось в подпахотном и последующих горизонтах почвы до глубины двух метров. Заметим, что запасы этой соли увеличились в слое 0-1 м на 20 т/га, а в слое 1-2 м — на 17 т/га.

Как видно из табл. 31, до и после промывки из хлористых солей в почве был лишь NaCl , который при промывке подвергался довольно сильному вымыванию. В слое 0-1 м запас его уменьшился на 132 т/га, а в слое 1-2 м — лишь на 4 т/га.

Суммарный запас солей в двухметровом слое в результате промывки при норме воды 12000 м³/га уменьшился на 230 т/га, из которых 169 т/га падает на долю верхнего метрового слоя почвы.

Таблица 31

Дифференциация и сопряженность солевых масс при промывке почвы
с применением 20 т/га серной кислоты (%/т/га)

Глубина, см	$\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$	CaSO_4	MgSO_4	Na_2SO_4	NaCl	Сумма солей
До промывки						
0-25	<u>0,025</u> 0,78	<u>0,228</u> 7,07	<u>0,108</u> 3,35	<u>0,173</u> 5,36	<u>2,106</u> 65,29	<u>2,64</u> 81,85
25-50	<u>0,029</u> 0,97	<u>0,269</u> 9,01	<u>0,051</u> 1,71	<u>0,842</u> 28,21	<u>1,229</u> 43,52	<u>2,49</u> 83,42
50-75	<u>0,036</u> 1,35	<u>0,081</u> 3,04	<u>0,032</u> 1,2	<u>0,648</u> 24,3	<u>1,17</u> 43,88	<u>1,967</u> 73,77
75-100	<u>0,039</u> 1,44	<u>0,042</u> 1,55	<u>0,019</u> 0,7	<u>0,572</u> 21,16	<u>1,124</u> 41,59	<u>1,796</u> 66,44
100-125	<u>0,039</u> 1,39	<u>0,055</u> 1,95	<u>0,032</u> 1,14	<u>0,791</u> 20,08	<u>1,147</u> 40,72	<u>2,064</u> 73,28
125-150	<u>0,045</u> 1,62	<u>0,057</u> 2,05	<u>0,013</u> 0,47	<u>0,058</u> 38,09	<u>0,766</u> 27,58	<u>1,939</u> 69,81
150-175	<u>0,047</u> 1,72	нет	<u>0,012</u> 0,44	<u>0,861</u> 31,43	<u>0,819</u> 29,89	<u>1,739</u> 63,48
175-200	<u>0,045</u> 1,67	<u>0,015</u> 0,56	<u>0,013</u> 0,48	<u>0,992</u> 36,7	<u>0,923</u> 34,15	<u>1,988</u> 73,56
После промывки						
0-25	<u>0,024</u> 0,74	<u>0,795</u> 24,65	<u>0,157</u> 4,87	<u>0,307</u> 9,52	<u>0,117</u> 3,63	<u>1,4</u> 43,41
25-50	<u>0,034</u> 1,14	<u>0,122</u> 4,09	<u>0,026</u> 0,87	<u>0,437</u> 14,64	<u>0,285</u> 9,55	<u>0,904</u> 30,29
50-75	<u>0,03</u> 1,13	<u>0,126</u> 4,73	<u>0,047</u> 1,76	<u>0,257</u> 9,64	<u>0,548</u> 20,55	<u>1,008</u> 37,81
75-100	<u>0,032</u> 1,18	<u>0,192</u> 7,1	<u>0,047</u> 1,74	<u>0,254</u> 9,4	<u>0,79</u> 29,23	<u>1,315</u> 48,65
100-125	<u>0,026</u> 0,92	<u>0,303</u> 10,76	<u>0,1</u> 3,55	<u>0,354</u> 12,57	<u>0,841</u> 29,86	<u>1,624</u> 57,66
125-150	<u>0,026</u> 0,94	<u>0,129</u> 4,64	<u>0,06</u> 2,16	<u>0,211</u> 7,60	<u>0,738</u> 26,57	<u>1,164</u> 41,91
150-175	<u>0,032</u> 1,17	<u>0,101</u> 3,69	<u>0,053</u> 1,94	<u>0,209</u> 7,63	<u>1,232</u> 44,97	<u>1,627</u> 59,4
175-200	<u>0,032</u> 1,18	<u>0,071</u> 2,63	<u>0,027</u> 0,99	<u>0,161</u> 5,96	<u>0,684</u> 25,31	<u>0,975</u> 36,07

Интенсивность выщелачивания солевых масс показала (рис.9 б), что на удаление 1 т солей из метрового слоя почвы потребовался $71 \text{ м}^3/\text{га}$ воды по плотному остатку и $166,6 \text{ м}^3/\text{га}$ по хлору. При этом 1 м^3 воды выщелачивал $14,1 \text{ кг}/\text{га}$ солей по плотному остатку и $6,0 \text{ кг}/\text{га}$ по хлору. Надо отметить, что эти соли при каждой промывке вымывались с неодинаковой интенсивностью. Так, если 1 м^3 воды при второй промывке вымывал из верхней полуметровой толщи почвы $13,15 \text{ кг}/\text{га}$ солей по плотному остатку и $9,75 \text{ кг}/\text{га}$ по хлору, то при третьей промывке эти показатели соответственно составили $8,11$ и $2,94 \text{ кг}/\text{га}$. Аналогичные данные получены в целом для верхнего метрового слоя почвы.

Значительно лучше оказалось воздействие серной кислоты в дозе $20 \text{ т}/\text{га}$ по сравнению с дозой $10 \text{ т}/\text{га}$ на фильтрационные свойства почвы. Фильтрация воды в слое почвы (0–25 см по сравнению с допромывным состоянием) ($1,01 \text{ см}^3/\text{мин}$ увеличилась в два раза ($2,00 \text{ см}^3/\text{мин}$). Улучшение фильтрационных свойств почвы в слое 25–50 см выразилось еще сильнее. Здесь оно увеличилось более чем в три раза (с $0,95$ до $3,00 \text{ см}^3/\text{мин}$).

Таким образом, приведенные цифры дают основание говорить о сравнительно лучшем воздействии серной кислоты в дозе $20 \text{ т}/\text{га}$. Однако по сумме выщелоченных солей как первую, так и вторую дозу нельзя считать достаточно удовлетворительными. Ибо если серная кислота в дозе $10 \text{ т}/\text{га}$ выщелачивает лишь около 36% от допромывного засоления, то увеличение дозы ее в 2 раза повысило количество выщелоченных солей до 50%. Следовательно, при сравнительно лучшей дозе серной кислоты с применением 12000 м^3 воды соли вымывались из метрового слоя почвы только наполовину, что нельзя считать достаточным. К тому же некоторое увеличение солеотдачи почвы не подкрепляется урожайными данными культурных растений.

Изучение производительности почвы показало, что увеличение дозы не повышает урожайность растений, наоборот, несколько снижает ее. Так, урожай зерна риса, выращенного на этой почве, составил $17,6 \text{ ц}/\text{га}$, что на $1,1 \text{ ц}/\text{га}$ меньше, чем в варианте с серной кислотой в дозе $10 \text{ т}/\text{га}$. На $0,5 \text{ ц}/\text{га}$ зерна меньше ($15,0 \text{ ц}/\text{га}$) получено и в урожае ячменя. А урожай хлопчатника оказался самым низким — $15,8 \text{ ц}/\text{га}$, т.е. на $3,3 \text{ ц}/\text{га}$ меньше, чем в предыдущем варианте.

Промывка почв с внесением 30 т/га серной кислоты

Насыщение почвы серной кислотой в дозе 30 т/га при подаче первой нормы воды способствовало не только растворению, но и резкому выщелачиванию солей. Причем довольно большое рас-соление произошло в первом метровом слое, где запасы солей по плотному остатку уменьшились на 198 т/га. Во втором метровом слое выщелачивание было незначительных (16 т/га). Это вызвано тем, что второй полуметровый слой почвы оказался слоем наибольшей солевой аккумуляция (рис. 8 в). Из верхнего метрового слоя количество выщелоченных солей только по хлору составило 100 т/га, или 70% от исходного запаса солей.

В опытах К.Г.Теймурова (1968) содержание солей при насыщении почвы серной кислотой значительно увеличивалось. Мы склонны объяснить это тем, что в опытах К.Г.Теймурова при насыщении почвы серной кислотой использовалось сравнительно небольшое количество промывной воды (3000 м³/га), что могло только насытить почву. Поэтому растворенные, а также новообразованные соли при насыщении почвы серной кислотой не удалялись из нее, а накапливались.

Повышение содержания солей в наших экспериментах с применением серной кислоты отмечалось при подаче второй нормы воды (рис. 8 в). В этом случае повышение количества солей, причем в значительной степени, отмечалось почти по всей глубине почвенного профиля (за исключением горизонта 175–200 см). Это, по-видимому, связано с тем, что первая промывная норма воды не смогла полностью удалить из исследуемой толщи внесенную в нее серную кислоту. Оставаясь в профиле почвы, она способствовала растворению более трудно растворимых и, таким образом, новообразованию вторичных солей. При этом наибольшее увеличение солесодержания отмечалось в поверхностных горизонтах, из которых при первой промывке легкорастворимые соли были почти полностью выщелочены (рис. 8 в). Для верхнего полуметрового слоя увеличение солесодержания по плотному остатку в среднем составило 0,63%, или 42 т/га. Несколько меньше содержание солей увеличилось во втором полуметровом слое почвы. Среднее значение новообразованных вторичных солей

в верхнем метровом слое почвы достигло 0,59%. Во втором метровом слое этот показатель был выражен едва заметно, 0,07% по плотному остатку. По хлору же, наоборот, отмечалось некоторое рассоление почвы (рис. 8 в). Это обстоятельство заставляет предположить, что увеличение содержания солей во втором метровом слое произошло за счет сравнительно труднорастворимых солей и что не все вторичные соли задерживались в профиле почвы, часть их подверглась вымыванию и удалению из исследованной толщи почвы. Наше предположение подтвердилось после третьей промывки почвы (табл. 32, 33), в процессе которой рассоление, причем в заметной степени, отмечалось в слое 1–2 м, особенно в толще 125–200 см (рис. 8 в). Рассоление по плотному остатку выразилось более сильно, чем по хлору, что свидетельствует о вымывании главным образом труднорастворимых солей. В поверхностном горизонте почвы и на этот раз отмечалось небольшое увеличение содержания, как по плотному остатку, так и по хлору. Во втором горизонте соли были несколько вымыты (рис. 8 в). Во втором полуметровом слое содержание по плотному остатку в среднем оставалось почти неизменным, однако по хлору наблюдалось некоторое выщелачивание солей (рис. 8 в). В пахотном слое на 0,1% снизилось количество SO_4 -иона. В подпахотном горизонте вынос этого компонента составил более чем 50% от оставшейся после второй промывки величины. Значительное вымывание сульфатона отмечалось и в последующих горизонтах почвы. В среднем для двухметровой толщи почвы показатель SO_4 уменьшился на 0,35%. На 0,026% снизилось и количество Са. Заметное рассоление в профиле почвы отмечено по $\text{Na} + \text{K}$. За исключением слоя 25–50 см, вынос компонентов замечен также по общей щелочности. При абсолютно малом значении магния заметного изменения в его содержании не обнаружилось (табл. 32). Однако сопряженность солевых масс указывает на то, что после третьей промывки в почве появились соли MgCl_2 . Причем это явление приурочено было к слою глубже 75 см, где содержание MgCl_2 колебалось в пределах 0,03–0,08%. Примечательно, что при общем выщелачивании NaCl на 15,4 т/га в характеризуемом слое MgCl появился в размере 5,6 т/га, что скорее всего связано со значительным выщелачиванием сульфатона.

Таблица 32

Изменение содержания солевых компонентов
при промывке почвы с применением 30 т/га серной кислоты (%/мэкв)

Глубина, см	Плотный остаток	CO ₃	HCO ₃	Cl	SO ₄	Ca	Mg	Na+K
1	2	3	4	5	6	7	8	9
До промывки								
0–25	2,508	нет	<u>0,024</u> 0,4	<u>0,994</u> 28	Не определены			
25–50	2,216		<u>0,022</u> 0,36	<u>0,87</u> 24,5	<u>0,471</u> 9,81	<u>0,165</u> 8,21	<u>0,043</u> 3,56	<u>0,527</u> 22,8
50–75	2,104		<u>0,024</u> 0,4	<u>0,777</u> 21,9	<u>0,484</u> 10,08	<u>0,156</u> 7,78	<u>0,045</u> 3,67	<u>0,481</u> 20,93
75–100	2,252		<u>0,024</u> 0,4	<u>0,799</u> 22,5	<u>0,543</u> 11,31	<u>0,178</u> 8,86	<u>0,039</u> 3,24	<u>0,509</u> 22,11
100–125	2,042		<u>0,024</u> 0,4	<u>0,774</u> 21,6	<u>0,446</u> 9,29	<u>0,143</u> 7,13	<u>0,031</u> 2,59	<u>0,501</u> 21,77
125–150	1,848		<u>0,027</u> 0,44	<u>0,792</u> 22,3	<u>0,307</u> 6,39	<u>0,104</u> 5,18	<u>0,025</u> 2,05	<u>0,504</u> 21,9
После второй промывки								
0–25	1,805	нет	<u>0,043</u> 0,7	<u>0,129</u> 3,62	<u>1,05</u> 21,87	<u>0,254</u> 12,65	<u>0,038</u> 3,08	<u>0,241</u> 10,46
25–50	1,355		<u>0,058</u> 0,95	<u>0,221</u> 6,25	<u>0,616</u> 12,83	<u>0,048</u> 2,42	<u>0,009</u> 0,77	<u>0,387</u> 16,84
50–75	1,796		<u>0,049</u> 0,8	<u>0,726</u> 21,87	<u>0,316</u> 6,58	<u>0,046</u> 2,31	<u>0,016</u> 1,21	<u>0,592</u> 25,73
75–100	2,272		<u>0,043</u> 0,7	<u>1,124</u> 31,65	<u>0,263</u> 5,48	<u>0,064</u> 3,19	<u>0,025</u> 2,09	<u>0,729</u> 32,55
100–125	2,195		<u>0,049</u> 0,8	<u>0,861</u> 24,25	<u>0,46</u> 9,58	<u>0,086</u> 4,29	<u>0,024</u> 1,98	<u>0,652</u> 28,36
125–150	2,487		<u>0,046</u> 0,75	<u>1,033</u> 29,25	<u>0,482</u> 10,04	<u>0,11</u> 5,50	<u>0,031</u> 2,53	<u>0,737</u> 32,03
150–175	2,172		<u>0,049</u> 0,8	<u>0,976</u> 27,5	<u>0,356</u> 7,41	<u>0,073</u> 3,63	<u>0,025</u> 2,09	<u>0,69</u> 29,99
175–200	2,16		<u>0,046</u> 0,75	<u>0,927</u> 26,12	<u>0,384</u> 8	<u>0,062</u> 3,08	<u>0,023</u> 1,87	<u>0,688</u> 29,92
После третьей промывки								
0–25	1,636	нет	<u>0,037</u> 0,6	<u>0,057</u> 1,6	<u>0,949</u> 19,77	<u>0,253</u> 12,64	<u>0,032</u> 2,67	<u>0,153</u> 6,66
25–50	0,736		<u>0,073</u> 1,2	<u>0,124</u> 3,5	<u>0,283</u> 5,89	<u>0,016</u> 0,8	<u>0,003</u> 0,27	<u>0,219</u> 9,52

Промывка почв с применением серной кислоты

Окончание табл. 32

1	2	3	4	5	6	7	8	9
50–75	1,346	нет	<u>0,049</u> 0,8	<u>0,600</u> 16,90	<u>0,197</u> 4,10	<u>0,006</u> 1,78	<u>0,004</u> 0,36	<u>0,452</u> 19,66
75–100	2,05		<u>0,027</u> 0,44	<u>0,980</u> 27,60	<u>0,222</u> 4,62	<u>0,073</u> 3,65	<u>0,025</u> 2,05	<u>0,62</u> 26,96
100–125	2,138		<u>0,027</u> 0,44	<u>1,029</u> 29,00	<u>0,215</u> 4,48	<u>0,075</u> 3,74	<u>0,025</u> 2,05	<u>0,647</u> 28,13
125–150	2,056		<u>0,027</u> 0,44	<u>1,001</u> 28,20	<u>0,192</u> 4,00	<u>0,064</u> 3,20	<u>0,023</u> 1,87	<u>0,634</u> 27,57
150–175	2,112		<u>0,024</u> 0,4	<u>0,944</u> 26,60	<u>0,290</u> 6,04	<u>0,075</u> 3,74	<u>0,026</u> 2,14	<u>0,685</u> 27,16
175–200	2,118		<u>0,024</u> 0,4	<u>1,040</u> 29,30	<u>0,177</u> 3,69	<u>0,017</u> 3,47	<u>0,029</u> 2,40	<u>0,633</u> 27,52

Таблица 33

Дифференциация и сопряженность солевых масс
при промывке почв с применением 30 т/га серной кислоты (%/т/га)

Глубина, см	$\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$	$\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$	NaHCO_3	CaSO_4	MgSO_4	Na_2SO_4	NaCl	Сумма солей
1	2	3	4	5	6	7	8	9
До промывки								
0–25	Полный состав солевых компонентов отсутствовал							
25–50	<u>0,029</u> 0,97	нет	<u>0,534</u> 17,89	<u>0,177</u> 0,92	нет	<u>0,123</u> 4,12	<u>1,34</u> 44,89	<u>2,143</u> 71,79
50–75	<u>0,032</u> 1,2		<u>0,502</u> 18,83	<u>0,162</u> 6,08		<u>0,046</u> 1,73	<u>1,224</u> 45,90	<u>1,966</u> 73,74
75–100	<u>0,032</u> 1,18		<u>0,575</u> 21,28	<u>0,171</u> 6,33		<u>0,066</u> 2,44	<u>1,293</u> 47,84	<u>2,137</u> 79,07
100–125	<u>0,032</u> 1,14		<u>0,458</u> 16,26	<u>0,155</u> 5,5		нет	<u>1,273</u> 45,19	<u>1,918</u> 68,09
125–150	<u>0,036</u> 1,30		<u>0,322</u> 11,59	<u>0,099</u> 3,56		<u>0,028</u> 1,01	<u>1,281</u> 46,12	<u>1,766</u> 63,58
После второй промывки								
0–25	<u>0,057</u> 1,77	нет	<u>0,813</u> 25,2	<u>0,185</u> 5,74	<u>0,415</u> 12,87	нет	<u>0,212</u> 6,57	<u>1,682</u> 52,15

1	2	3	4	5	6	7	8	9
25–50	<u>0,059</u> 1,98	нет	<u>0,099</u> 3,32	<u>0,046</u> 1,54	<u>0,752</u> 25,19	нет	<u>0,366</u> 12,26	<u>1,322</u> 44,29
50–75	<u>0,065</u> 2,44		<u>0,103</u> 3,86	<u>0,073</u> 2,74	<u>0,274</u> 10,28		<u>1,279</u> 47,96	<u>1,794</u> 67,28
75–100	<u>0,057</u> 2,11		<u>0,169</u> 6,25	<u>0,125</u> 4,63	<u>0,064</u> 2,37		<u>1,852</u> 68,52	<u>2,267</u> 83,88
100–125	<u>0,065</u> 2,31		<u>0,237</u> 8,41	<u>0,119</u> 4,23	<u>0,292</u> 10,37		<u>1,419</u> 50,38	<u>2,132</u> 75,7
125–150	<u>0,061</u> 2,2		<u>0,323</u> 13,82	<u>0,152</u> 7,67	<u>0,196</u> 9,25		<u>1,712</u> 61,63	<u>2,444</u> 94,57
150–175	<u>0,065</u> 2,37		<u>0,192</u> 7,01	<u>0,125</u> 4,56	<u>0,177</u> 6,46		<u>1,609</u> 58,73	<u>2,168</u> 79,13
175–200	<u>0,061</u> 2,26		<u>0,158</u> 5,85	<u>0,112</u> 4,14	<u>0,27</u> 9,99		<u>1,528</u> 56,54	<u>2,129</u> 78,78
После третьей промывки								
0–25	<u>0,049</u> 1,52	нет	<u>0,019</u> 25,39	<u>0,16</u> 4,96	<u>0,359</u> 11,13	нет	<u>0,094</u> 2,91	<u>1,481</u> 45,91
25–50	<u>0,065</u> 2,18	<u>0,019</u> 0,64	нет	нет	<u>0,418</u> 14		<u>0,204</u> 6,83	<u>0,717</u> 24,02
50–75	<u>0,065</u> 2,44	нет	<u>0,067</u> 2,51	<u>0,021</u> 0,79	<u>0,195</u> 7,31		<u>0,989</u> 37,09	<u>1,337</u> 50,14
75–100	<u>0,036</u> 1,33		<u>0,218</u> 8,07	<u>0,085</u> 3,15	нет	<u>0,031</u> 1,15	<u>1,577</u> 58,35	<u>1,947</u> 72,05
100–125	<u>0,036</u> 1,28		<u>0,224</u> 7,95	<u>0,067</u> 2,38		<u>0,041</u> 1,46	<u>1,65</u> 65,86	<u>2,018</u> 78,93
125–150	<u>0,036</u> 1,28		<u>0,224</u> 7,95	<u>0,067</u> 2,38		<u>0,041</u> 1,46	<u>1,65</u> 65,86	<u>2,018</u> 78,93
150–175	<u>0,032</u> 1,17		<u>0,227</u> 8,29	<u>0,128</u> 4,67	<u>0,04</u> 1,46	нет	<u>1,556</u> 56,79	<u>1,983</u> 72,38
175–200	<u>0,032</u> 1,18		<u>0,208</u> 7,7	<u>0,037</u> 1,37	нет	<u>0,084</u> 3,11	<u>1,61</u> 59,57	<u>1,971</u> 72,93

Примечание : При третьей промывке на глубине 25–50 см образовался NaHCO_3 в количестве 0,019 % (0,64 г)

Из плотного слоя почвы наблюдалось незаметно выщелачивание сернокислых солей, в частности, CaSO_4 и MgSO_4 . Однако в подпахотном слое эти соли были полностью вымыты, в связи с чем появились NaHCO_3 и $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$ и несколько увеличилось

содержание $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$. В то же время содержание $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ в нижележащих горизонтах значительно уменьшилось. Почва в большой степени опреснилась по Na_2SO_4 , содержание которого в двухметровой толще почвогрунта уменьшилось на 53 т/га.

Таким образом, после третьей промывки из двухметровой толщи почвогрунта было вымыто всего 76 т/га солей и в почве оказалось неблагоприятное соотношение отдельных солей и появились новые вредные соли. Все это, включая интенсивность солевых масс свидетельствует о непригодности высоких доз серной кислоты (30 т/га) при промывке почв.

Если количество всех выщелоченных солей за период промывки принять за 100%, то обнаруживается, что в слое 9–0,5 и 0–1 м эта сумма была полностью вымыта при первой промывке. А при второй и третьей промывках содержание солей по плотному остатку и хлору в характеризующихся слоях соответственно увеличилось на 37,8; 3,1 и на 43,5; 9,4% (рис. 9 в).

Количество же выщелоченных солей по сравнению с исходным запасом солей составило 57,2 и 58,9% при первой промывке, 25,4 и 25,7% при второй, 2,1 и 1,2% при третьей промывке соответственно для слоев 0,5 и 0–1,0 м. Следовательно, если 1 м³ воды при первой промывке способствовал вымыванию солей из полуметрового и метрового слоев почвы, составившему соответственно 27,5 и 47,2 кг/га, то это же количество воды при второй промывке реставрировало соли для каждого слоя в размере 10,4 и 20,6 кг/га соответственно. При третьей промывке количество восстановленных солей составило 0,8 и 0,95 кг/га.

Здесь на выщелачивание 1 т солей потребовалось больше воды (115,4 м³/га по плотному остатку и 166,6 м³/га по хлору), чем в предыдущих мелиорантах. Все это объясняется интенсивным образованием вторичных солей при промывке. Следовательно, промывка с применением серной кислоты (по сравнению с предыдущими мелиорантами) малоэффективна в отношении усиления солеотдачи засоленных почв с низкой солеотдачей.

В опытах, осуществленных другими исследователями, отмечалась положительная роль серной кислоты при промывке. Так, К.Г.Теймуров (1969) по результатам лабораторных опытов пришел к заключению, что внесение при промывке 2%-ной серной

кислоты позволяет за весьма короткий срок в 2–3 раза быстрее использовать норму (раствор+вода= 15000 $m^3/га$) и сразу опреснить 1,5-метровую толщу почвы по плотному остатку при солесодержании ниже 0,3%. При этом отрицательных изменений в составе поглощенных оснований им не было обнаружено.

В опытах В.И. Чхиквишвили (1971) по промывке солончакового солонца Грузии, проводившихся в полевых условиях, установлено, что при обработке почв серной кислотой в дозе 15–20 $t/га$ отдельно или совместно с 10–15 $t/га$ гипса быстрее происходит выщелачивание вредных солей, полная нейтрализация щелочности, замещение обменного натрия кальцием, резко падает дисперсность и улучшаются физико-химические и водно-физические свойства. Увеличиваются также диапазон активной влаги, водопроницаемость, коэффициент фильтрации, всасывающая способность и скорость капиллярной подачи воды к корням растений.

На примере черноземно-луговых солонцов в Куйбышевской области В.В. Кобзев (1968) установил, что внесение в почву купоросного масла, содержащего 85% серной кислоты, способствует снижению рН, исчезновению соды, уменьшению концентрации воднорастворимого и поглощенного Na.

В Калифорнийском университете (США) П. Яницкий (1971) на основе лабораторных опытов (в стеклянных цилиндрах высотой 30 см и диаметром 4 см) пришел к выводу, что промывка засоленных солонцовых почв растворами минеральных кислот (0,001 и H_2SO_4) существенно облегчает проведение промывки и мелиорации почв.

И. Бочкаи (1971) в Венгрии выявил, что внесение в щелочные почвы нефтяных смол (полученных в виде отходов и содержащих высокомолекулярные органические вещества и от 10 до 40% серной кислоты) при промывке способствует повышению урожая подсолнечника и сахарного сорго на 40%.

Должен отметить, что выводы названных исследователей многим отличаются от результатов наших исследований. Примерно около 50% солей от исходного их содержания выщелачивалось и в наших опытах. Однако мы считаем это недостаточным, потому что основная доля солей выщелачивалась при первой промывке, а при последующих промывках, как уже отмечалось, интенсивность

солеотдачи не только резко уменьшилась, но в некоторых случаях общая щелочность за счет новообразованных солей существенно увеличивалась. В исследованиях же названных авторов установить это было невозможно, так как промывки осуществлялись ими при одновременной подаче намеченной нормы.

Изменение физико-химических свойств щелочных почв в лучшую сторону отмечалось и в наших исследованиях. Проведенные опыты показали, что промывка способствовала уменьшению содержания в поверхностных горизонтах CaCO_3 на 2%. Резко снижалось содержание поглощенного натрия. Почвы из слабосолонцовых превратились в нейтральные. При этом освобожденный поглощенный Na (в отдельных горизонтах верхнего полуметрового слоя от 2 до 9% от суммы) замещался поглощенными Mg и Ca.

В слое глубже 0–64 см содержание поглощенного Na увеличилось на 2–4% от суммы поглощенных оснований, что объясняется вытеснением этого катиона из поглощающего комплекса вышележащих горизонтов почвы. В нижних горизонтах несколько снизилось содержание поглощенных катионов Ca и Mg. Уменьшение в верхних и увеличение в нижних горизонтах поглощенного натрия при промывке отмечалось и в опытах Correia Goncalves (1972) почвами Мозамбика. В сторону нейтрализации изменялось также содержание рН-среды почвы. Все это способствовало резкому сокращению коэффициента дисперсности почвы (в слое 0–64 см — более чем в 2 раза).

Большие изменения претерпели также агрофизические свойства почвы. В микроагрегатном составе почвы илистая фракция стала меньше примерно в 2–3 раза, содержание же структурообразующей фракции (более 0,01 м), наоборот, значительно увеличилось (табл. 35). Лабораторное определение фильтрации воды показало увеличение значения ее в пахотном горизонте от 0,7 до 2,0 см³/мин, а в подпахотном — от 0,9 до 2,0 см³/мин.

При исследовании водопроницаемости в полевых условиях было установлено, что внесение серной кислоты в почву в дозе 30 т/га при промывке способствует увеличению фильтрации воды по сравнению с контрольным вариантом за первый час наблюдения на 10 мм и на шестом часу — на 2 мм. При этом установившаяся водопроницаемость почвы увеличилась вдвое.

Таблица 35

Изменение микроагрегатного состава почвы при промывке с применением 30 т/га серной кислоты (до/после промывки, %)

Глубина, см	Величина фракции, мм						
	5-0,25	0,25-0,05	0,05-0,01	0,01-0,005	0,005-0,001	<0,001	<0,01
0-9	0,65	11,79	71,96	7,72	2,16	6,02	15,9
	0,61	15,99	69,28	8,84	0,56	3,72	13,12
9-23	0,65	11,49	71,96	7,72	2,16	6,02	15,9
	0,77	15,43	65,44	14,32	0,88	3,16	18,36
23-43	0,78	22,24	59,8	8,08	1,8	7,3	17,18
	0,37	12,27	68,8	14,8	1,76	2	18,56
43-64	0,78	22,24	59,8	8,08	1,8	7,3	17,18
	0,17	4,67	74,8	16,2	1,76	2,52	20,36
64-82	0,31	5,83	78	9,12	1,24	5,5	15,86
	0,6	11,08	72,64	5,28	0,76	9,64	15,68
82-106	0,18	1,64	81,52	9,36	2,2	5,1	16,66
	1,36	13,64	88,32	8,24	0,68	7,76	16,68

Производительность мелиорированных почв

Применение серной кислоты в размере 30 т/га способствовало невысокой урожайности испытанных культур по сравнению с предыдущими мелиорантами. Урожай риса составил всего 17 ц/га, т. е. всего на 0,4 ц/га больше, чем в контроле. Примерно такие же результаты получены по урожайности ячменя и хлопчатника (соответственно 12,9 и 13,9 ц/га). Прибавка урожая этих культур по сравнению с промывкой только водой составила 1,4 (ячмень) и 2,3 ц/га (хлопчатник).

Таким образом, из сказанного становится ясно, что промывки с применением серной кислоты в больших дозах оказались непродуктивными в деле ускорения оздоровления засоленных почв с низкой солеотдачей. Применение серной кислоты могло бы повысить эффективность промывки трудномелиорируемых засоленных почв только в тех случаях, когда промывка этих почв будет осуществляться слабыми растворами серной кислоты (до 0,5-0,8%). Необходимость применения слабого раствора серной кислоты диктуется, тем, что он, повышая фильтрационную способность почвы, обеспечивает быстрое вымывание легкорастворимых солей и не вызывает растворения инертных, новообразования вторичных солей и тем самым увеличения соледождения в профиле почв.

ГЛАВА VIII

ПРОМЫВКА ПОЧВ С ПРИМЕНЕНИЕМ ОРГАНО-ГИПСОВОЙ СМЕСИ

На нефтехимических заводах Баку и Сумгайыта ежегодно скапливается огромное количество отходов производства. В числе их оказалась привлекавшая наше внимание и условно названная нами органо-гипсовая смесь. Эта смесь после центрифугирования в виде твердой слабomasляной массы выбрасывается на свалку в количестве более 2000 т. По нашим анализам, в ней содержится 75,1 % гипса ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) и 20,6% органических веществ. Эти показатели послужили для нас основанием испытать ее в качестве мелиоранта при производственной промывке глинистых засоленных почв с низкой солеотдачей в Карабахской степи. Органо-гипсовая смесь (ОГС) применялась в дозах 10, 20 и 40 т на 1 га.

Промывка почв с внесением 10 т/га органо-гипсовой смеси

Поверхностные горизонты почвы исследуемого участка до промывки содержали довольно большое количество солей (3–4%). Глубже содержание солей постепенно снижалось, колеблясь в пределах 2,0–2,5%.

Промывка с применением первой (4000 м³/га) нормы воды способствовала глубокому рассолению почвы (рис.10 а). При этом довольно резкое рассоление отмечалось в верхнем полуметровом слое почвы, где содержание плотного остатка сократилось почти наполовину (более чем на 1,6%). Примерно в такой же степени вымылся хлор-ион (с 1,33 до 0,78%). Значительно вымылись и остальные компоненты (табл. 36). Слой 0,5–1,0 м после первой промывки был слоем солевой аккумуляции (табл.). Однако подсчеты вымытых из верхних горизонтов и аккумулярованных в харак-

теризуемом слое почвы солей указывают на то, что слой 0,5–1,0 м также подвергся значительному рассолению. Из выщелоченных в среднем 0,546% солей только 0,291% находилось в этом слое. Остальное количество солей было вымыто в более глубокие слои. Причем выщелачивание солей произошло главным образом за счет SO_4 -иона. Некоторая дифференциация плотного остатка и солевых компонентов отмечалась в слое 1–2 м.

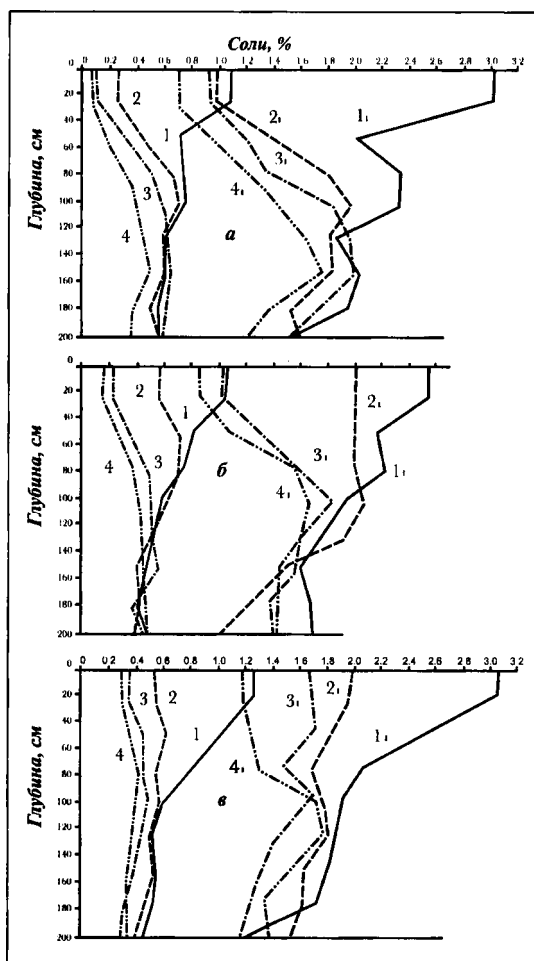


Рис. 10

В полуметровом верхнем слое главная масса солей выщелачивалась по NaCl (57 т/га) и CaSO_4 (24 т/га). MgSO_4 и Na_2SO_4 выщелачивались сравнительно мало (табл. 37). Причем интересно отметить, что во втором полуметровом слое при резком рассолении почвы по сернокислому натрию (на 40 т/га) почти вдвое увеличилось содержание CaSO_4 и MgSO_4 . Несколько повысилось и содержание NaCl . Значительное рассоление почвы по Na_2SO_4 отмечалось в слое 1–2 м. Зато здесь содержание CaSO_4 и MgSO_4 увеличилось более чем вдвое, что, возможно, связано с накоплением

этих солей за счет выщелачивания из поверхностных горизонтов почвенных солей и солей, содержащихся в органо-гипсовой смеси, внесенной в почву.

Таблица 36

Изменение содержания солевых компонентов при промывке почвы с применением 10 т/га органо-гипсовой смеси (%/мэкв)

Глубина, см	Плотный остаток	CO ₃	HCO ₃	Cl	SO ₄	Ca	Mg	Na+K
1	2	3	4	5	6	7	8	9
До промывки								
0–25	3,94	нет	<u>0,017</u> 0,28	<u>1,169</u> 45,6	<u>0,760</u> 15,83	<u>1,16</u> 8	<u>0,037</u> 3,02	<u>1,166</u> 50,69
25–50	3,037		<u>0,013</u> 0,22	<u>1,043</u> 29,37	<u>0,778</u> 16,2	<u>0,182</u> 9,1	<u>0,032</u> 2,67	<u>0,782</u> 34,02
50–75	2,373		<u>0,022</u> 0,36	<u>0,728</u> 20,5	<u>0,769</u> 16,02	<u>0,071</u> 3,56	<u>0,016</u> 1,3	<u>0,756</u> 32,02
75–100	2,144		<u>0,022</u> 0,36	<u>0,753</u> 21,2	<u>0,586</u> 12,21	<u>0,045</u> 2,27	<u>0,012</u> 0,97	<u>0,704</u> 30,63
100–125	1,958		<u>0,027</u> 0,44	<u>0,799</u> 22,5	<u>0,419</u> 8,73	<u>0,03</u> 1,51	<u>0,012</u> 0,97	<u>0,667</u> 28,99
125–150	2,224		<u>0,024</u> 0,4	<u>0,856</u> 24,1	<u>0,495</u> 10,31	<u>0,039</u> 1,94	<u>0,007</u> 0,54	<u>0,744</u> 32,33
150–175	2,362		<u>0,024</u> 0,4	<u>0,841</u> 23,7	<u>0,639</u> 13,31	<u>0,056</u> 2,81	<u>0,01</u> 0,86	<u>0,776</u> 33,74
175–200	2,536		<u>0,022</u> 0,36	<u>0,898</u> 25,3	<u>0,709</u> 14,77	<u>0,065</u> 3,24	<u>0,014</u> 1,19	<u>0,828</u> 36
После первой промывки								
0–25	2,177	нет	<u>0,01</u> 0,17	<u>0,821</u> 23,12	<u>0,519</u> 10,8	<u>0,118</u> 5,88	<u>0,02</u> 1,67	<u>0,61</u> 26,54
25–50	1,516		<u>0,052</u> 0,52	<u>0,749</u> 21,1	<u>0,162</u> 3,37	<u>0,013</u> 0,65	<u>0,004</u> 0,82	<u>0,502</u> 24,02
50–75	2,502		<u>0,018</u> 0,3	<u>0,034</u> 29,12	<u>0,439</u> 9,14	<u>0,102</u> 5,11	<u>0,024</u> 1,99	<u>0,723</u> 31,46
75–100	2,597		<u>0,021</u> 0,35	<u>0,016</u> 28,62	<u>0,457</u> 9,51	<u>0,089</u> 4,44	<u>0,026</u> 2,11	<u>0,734</u> 31,93
100–125	2,497		<u>0,021</u> 0,35	<u>0,865</u> 24,37	<u>0,579</u> 12,05	<u>0,107</u> 5,33	<u>0,027</u> 2,22	<u>0,672</u> 29,22

Продолжение табл. 36

1	2	3	4	5	6	7	8	9
125–150	2,4	нет	<u>0.021</u> 0,35	<u>0.927</u> 26,12	<u>0.591</u> 12,30	<u>0.095</u> 4,77	<u>0.024</u> 2	<u>0.736</u> 32
150–175	2,79		<u>0.018</u> 0,3	<u>0.847</u> 23,87	<u>0.746</u> 15,53	<u>0.122</u> 6,10	<u>0.026</u> 2,11	<u>0.724</u> 31,49
175–200	2,127		<u>0.027</u> 0,45	<u>0.759</u> 21,37	<u>0.464</u> 9,66	<u>0.055</u> 2,77	<u>0.016</u> 1,34	<u>0.629</u> 27,37
После второй промывки								
0–25	0,872	нет	<u>0.033</u> 0,55	<u>0.057</u> 1,62	<u>0.505</u> 10,51	<u>0.067</u> 3,33	<u>0.011</u> 0,89	<u>0.194</u> 8,46
25–50	1,05		<u>0.032</u> 0,55	<u>0.044</u> 1,25	<u>0.638</u> 13,28	<u>0.044</u> 2,22	<u>0.008</u> 0,67	<u>0.28</u> 12,19
50–75	1,267	<u>0.003</u> 0,1	<u>0.037</u> 0,6	<u>0.044</u> 1,25	<u>0.761</u> 15,84	<u>0.036</u> 1,78	<u>0.007</u> 0,55	<u>0.355</u> 15,46
75–100	1,5	<u>0.003</u> 0,1	<u>0.021</u> 0,35	<u>0.151</u> 4,25	<u>0.714</u> 14,86	<u>0.042</u> 2,11	<u>0.009</u> 0,78	<u>0.383</u> 16,67
100–125	2,027	нет	<u>0.03</u> 0,5	<u>0.568</u> 16	<u>0.606</u> 12,62	<u>0.071</u> 3,55	<u>0.013</u> 1,11	<u>0.562</u> 24,46
125–150	2,627		<u>0.024</u> 0,4	<u>0.708</u> 22,75	<u>0.927</u> 19,3	<u>0.169</u> 8,44	<u>0.03</u> 2,44	<u>0.726</u> 31,57
150–175	1,752	<u>0.003</u> 0,1	<u>0.021</u> 0,35	<u>0.473</u> 16,13	<u>0.398</u> 8,29	<u>0.033</u> 1,66	<u>0.012</u> 1	<u>0.511</u> 22,21
175–200	1,755	<u>0.033</u> 0,1	<u>0.027</u> 0,45	<u>0.503</u> 17	<u>0.384</u> 7,99	<u>0.029</u> 1,44	<u>0.011</u> 0,89	<u>0.534</u> 23,21
После третьей промывки								
0–25	0,335	нет	<u>0.056</u> 0,92	<u>0.022</u> 0,62	<u>0.148</u> 3,08	<u>0.004</u> 0,22	<u>0.001</u> 0,11	<u>0.099</u> 4,29
25–50	0,952		<u>0.062</u> 1,02	<u>0.024</u> 0,69	<u>0.558</u> 11,62	<u>0.022</u> 1,11	<u>0.007</u> 0,61	<u>0.267</u> 11,61
50–75	1,145		<u>0.061</u> 1	<u>0.049</u> 1,37	<u>0.67</u> 13,95	<u>0.031</u> 1,55	<u>0.006</u> 0,5	<u>0.328</u> 14,27
75–100	1,29		<u>0.061</u> 1	<u>0.075</u> 2,12	<u>0.705</u> 15,30	<u>0.044</u> 2,22	<u>0.007</u> 0,55	<u>0.36</u> 15,65
100–125	2,19		<u>0.049</u> 0,8	<u>0.492</u> 13,87	<u>0.91</u> 18,95	<u>0.133</u> 6,66	<u>0.022</u> 1,83	<u>0.578</u> 25,13
125–150	2,377		<u>0.052</u> 0,85	<u>0.843</u> 23,75	<u>0.604</u> 12,57	<u>0.15</u> 4,99	<u>0.024</u> 2,5	<u>0.694</u> 30,18

Окончание табл. 36

1	2	3	4	5	6	7	8	9
150–175	1,91	нет	<u>0,052</u> 0,85	<u>0,772</u> 21,75	<u>0,393</u> 8,18	<u>0,047</u> 2,34	<u>0,019</u> 1,54	<u>0,619</u> 26,9
175–200	2,3		<u>0,049</u> 0,8	<u>0,781</u> 22	<u>0,658</u> 13,7	<u>0,103</u> 5,12	<u>0,024</u> 1,98	<u>0,676</u> 29,4

Вторая промывка ($4\ 000 + 4\ 000\ \text{м}^3/\text{га}$) продолжала рассоление почвы. Причем рассолением была охвачена довольно мощная толща почвы (рис. 10а). Так в верхнем метровом слое почвы содержание солей по плотному остатку уменьшилось почти наполовину (на 1,02%) по сравнению с результатами первой промывки. Довольно сильно вымылся хлор-ион (в среднем с 0,90 до 0,07%). По хлору рассоление охватило всю двухметровую толщу почвы. Почти на 0,30% хлор вымылся из слоя 1–2 м. Аналогичные изменения отмечались и по содержанию $\text{Na} + \text{K}$. Величина их только в слое 0–1 м сократилась на 0,35%, а в слое 1–2 м — на 0,11%. С SO_4 произошел обратный процесс. Содержание этого компонента, за исключением верхнего (25 см) слоя, сильно возросло в профиле исследованной толщи почвы (табл. 36), что, по-видимому, было вызвано вымыванием из верхнего горизонта гипса, содержащегося во внесенном в почву мелиоранте. Этот процесс в определенной степени способствовал некоторому увеличению содержания общей щелочности по HCO_3 и образованию в некоторых горизонтах небольшого количества CO_3 . Это в свою очередь послужило образованию Na_2CO_3 и увеличению содержания $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$. Из почвы при второй промывке был сильно вымыт и гипс самой почвы (табл. 37).

Рассоление почвы особенно резко произошло по NaCl . Значение этой соли в слое 1–2 м уменьшилось на 181 т/га (с 210,2 до 28,7 т/га), а в слое 1–2 м оно снизилось на 97,2 т/га. Значительно рассолились почвы по MgSO_4 , но вместе с тем почва обогатилась сернокислым натрием, что вызвано сильным выщелачиванием кальция (табл. 36).

Третья промывка продолжала рассоление почвы по плотному остатку и более подвижным компонентом (Cl , $\text{Na} + \text{K}$). Полностью был вынесен CO_3 , однако в почве значительно увеличилось

содержание HCO_3 , что по-видимому, связано с разложением органических веществ внесенного мелиоранта и образованием CO_2 . При третьей промывке почва полностью освободилась от соды (табл.). Поверхностный горизонт почвы лишился также CaSO_4 и MgSO_4 . Эти соли резко вымылись и в глубже лежащих горизонтах. Сильно сократилось также содержание Na_2SO_4 , но несколько повысилось значение $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$.

Таблица 37

Дифференциация и сопряженность солевых масс при промывке почвы с применением 10 т/га органо-гипсовой смеси (%/т/га)

Глубина, см	$\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$	CaSO_4	MgSO_4	Na_2SO_4	NaCl	Na_2CO_3	Сумма солей
1	2	3	4	5	6	7	8
До промывки							
0–25	<u>0,23</u> 0,71	<u>0,525</u> 16,28	<u>0,181</u> 5,61	<u>0,361</u> 11,19	<u>2,668</u> 82,71	нет	<u>3,758</u> 116,50
25–50	<u>0,014</u> 0,47	<u>0,604</u> 20,23	<u>0,180</u> 5,36	<u>0,330</u> 11,06	<u>1,718</u> 57,55		<u>2,826</u> 94,67
50–75	<u>0,029</u> 1,09	<u>0,218</u> 8,18	<u>0,078</u> 2,93	<u>0,818</u> 30,68	<u>1,258</u> 47,18		<u>2,401</u> 90,06
75–100	<u>0,029</u> 1,07	<u>0,123</u> 3,48	<u>0,059</u> 2,18	<u>0,670</u> 24,79	<u>1,241</u> 45,92		<u>2,122</u> 77,44
100–125	<u>0,036</u> 1,28	<u>0,086</u> 1,78	<u>0,059</u> 2,10	<u>0,460</u> 16,33	<u>1,316</u> 46,72		<u>1,957</u> 68,21
125–150	<u>0,032</u> 1,15	<u>0,105</u> 3,78	<u>0,032</u> 1,15	<u>0,584</u> 21,02	<u>1,409</u> 50,72		<u>2,162</u> 77,82
150–175	<u>0,032</u> 1,17	<u>0,164</u> 5,99	<u>0,051</u> 1,86	<u>0,614</u> 22,41	<u>1,386</u> 50,89		<u>2,247</u> 82,02
175–200	<u>0,029</u> 1,07	<u>0,196</u> 7,25	<u>0,071</u> 2,63	<u>0,760</u> 28,12	<u>1,380</u> 51,06		<u>2,436</u> 90,13
После первой промывки							
0–25	<u>0,014</u> 0,43	<u>0,338</u> 12,03	<u>0,1</u> 3,1	<u>0,243</u> 7,53	<u>1,353</u> 41,94	нет	<u>2,098</u> 65,03
25–50	<u>0,042</u> 1,41	<u>0,009</u> 0,30	<u>0,019</u> 0,64	<u>0,207</u> 6,94	<u>1,234</u> 41,34		<u>1,511</u> 50,63

Продолжение табл. 37

1	2	3	4	5	6	7	8
50-75	<u>0,024</u> 0,90	<u>0,327</u> 12,26	<u>0,191</u> 7,16	<u>1,66</u> 6,23	<u>1,734</u> 65,03	нет	<u>2,442</u> 91,58
75-100	<u>0,028</u> 1,04	<u>0,278</u> 10,29	<u>0,127</u> 4,70	<u>0,235</u> 8,70	<u>1,674</u> 61,94		<u>2,342</u> 86,67
100-125	<u>0,028</u> 0,99	<u>0,339</u> 12,04	<u>0,133</u> 4,72	<u>0,344</u> 12,21	<u>1,426</u> 50,62		<u>2,279</u> 80,58
125-150	<u>0,028</u> 1,01	<u>0,301</u> 10,84	<u>0,120</u> 4,32	<u>0,418</u> 15,05	<u>1,528</u> 55,01		<u>2,395</u> 86,23
150-175	<u>0,024</u> 0,88	<u>0,394</u> 14,38	<u>0,120</u> 4,64	<u>0,541</u> 19,75	<u>1,396</u> 50,95		<u>2,482</u> 90,60
175-200	<u>0,037</u> 1,37	<u>0,158</u> 5,85	<u>0,081</u> 2,99	<u>0,426</u> 15,76	<u>1,250</u> 46,25		<u>1,952</u> 72,22
После второй промывки							
0-25	<u>0,045</u> 1,40	<u>0,189</u> 4,46	<u>0,053</u> 1,64	<u>0,486</u> 15,07	<u>0,948</u> 14,32	нет	<u>1,721</u> 36,89
25-50	<u>0,045</u> 1,51	<u>0,114</u> 3,82	<u>0,040</u> 1,34	<u>0,777</u> 26,03	<u>0,073</u> 2,45		<u>1,049</u> 35,15
50-75	<u>0,049</u> 1,84	<u>0,080</u> 3,00	<u>0,033</u> 1,24	<u>1,002</u> 37,58	<u>0,073</u> 2,74	<u>0,005</u> 0,19	<u>1,242</u> 46,59
75-100	<u>0,028</u> 1,04	<u>0,120</u> 4,44	<u>0,047</u> 1,74	<u>0,875</u> 32,38	<u>0,249</u> 0,19	<u>0,005</u> 0,19	<u>1,324</u> 49,00
100-125	<u>0,040</u> 1,42	<u>0,207</u> 7,35	<u>0,067</u> 2,38	<u>0,601</u> 21,34	<u>0,936</u> 11,89	нет	<u>1,851</u> 44,38
125-150	<u>0,032</u> 1,15	<u>0,547</u> 19,69	<u>0,146</u> 5,26	<u>0,626</u> 17,28	<u>1,331</u> 47,92		<u>2,682</u> 91,30
150-175	<u>0,028</u> 1,02	<u>0,089</u> 2,23	<u>0,006</u> 0,22	<u>0,425</u> 15,51	<u>0,944</u> 18,94	<u>0,005</u> 0,18	<u>1,497</u> 38,10
175-200	<u>0,037</u> 1,37	<u>0,067</u> 1,11	<u>0,053</u> 1,96	<u>0,434</u> 16,06	<u>0,995</u> 36,82	<u>0,005</u> 0,19	<u>1,591</u> 57,51
После третьей промывки							
0-25	<u>0,017</u> 0,53	нет	нет	<u>0,219</u> 6,79	<u>0,036</u> 1,12	нет	<u>0,330</u> 10,24
25-50	<u>0,082</u> 0,87	<u>0,006</u> 0,21	<u>0,036</u> 1,18	<u>0,775</u> 27,12	<u>0,040</u> 1,40		<u>0,939</u> 30,78
50-75	<u>0,081</u> 9,04	<u>0,037</u> 1,39	<u>0,030</u> 1,12	<u>0,916</u> 33,35	<u>0,080</u> 3,00		<u>1,144</u> 41,90
75-100	<u>0,081</u> 3,00	<u>0,083</u> 3,07	<u>0,033</u> 1,22	<u>0,960</u> 35,52	<u>0,124</u> 4,59		<u>1,281</u> 47,40

Окончание табл. 37

1	2	3	4	5	6	7	8
100–125	<u>0,065</u> 2,31	<u>0,398</u> 14,13	<u>0,110</u> 3,91	<u>0,799</u> 28,36	<u>0,811</u> 28,79	нет	<u>2,183</u> 77,50
125–150	<u>0,069</u> 2,48	<u>0,282</u> 10,15	<u>0,120</u> 4,32	<u>0,457</u> 16,45	<u>1,389</u> 50,00		<u>2,317</u> 83,40
150–175	<u>0,069</u> 2,52	<u>0,101</u> 3,69	<u>0,092</u> 3,36	<u>0,365</u> 13,32	<u>1,272</u> 46,43		<u>1,899</u> 69,32
175–200	<u>0,065</u> 2,41	<u>0,293</u> 10,84	<u>0,119</u> 4,40	<u>0,525</u> 19,43	<u>1,286</u> 47,58		<u>2,288</u> 84,66

Таким образом, промывка не только резко рассолила почвы по всей толще, но и способствовала изменению солевого состава почвы в благоприятную сторону.

Положительное воздействие испытанной дозы характеризующего мелиоранта подтвердилось также интенсивностью выщелачивания солевых масс. Под влиянием органо-гипсовой смеси первая промывка в верхнем полуметровом слое почвы вымыла главную массу солей (82% от суммы выщелаченных солей почв по плотному остатку и 71% по хлору), составляющую более половины исходного запаса солей. На долю второй и особенно третьей промывки падало довольно незначительное количество солей (рис.11 а).

При промывке с применением органо-гипсовой смеси на выщелачивание 1 т солей из метрового слоя почвы расходовалось по плотному остатку 63,2 м³/га воды, а по хлору — 148,1 м³/га, что близко к промывке с совместным применением 10 т/га гипса и 40т/га навоза. 1 м³ воды выщелачивал из метрового слоя 15,9 кг/га по плотному остатку и 6,7 кг/га по хлору.

Применение 10 т/га органо-гипсовой смеси положительно воздействовало и на водные свойства почвы. Лабораторными исследованиями полевых опытных образцов установлено, что этот способ промывки способствовал повышению фильтрации воды с 1,00 до 2,43 м³/мин в слое 0–25 см и с 1,01 до 2,00 м³/мин в слое 25–50 см, т.е. более чем в два раза.

Все это отразилось на повышении производительности почвы. Урожай зерна риса, выращенного на этом участке после промывки, составил 19,6 ц/га, что на 18% больше, чем в вариан-

те промывки только водой. На 92%, или на 10,6 ц/га, повысилась урожайность ячменя по зерну (21,1 ц/га). Урожайность хлопчатника составила 16,6 ц/га, что на 50% больше, чем в варианте промывки только водой.

Промывка почв с внесением 20 т/га органо-гипсовой смеси

Промывки, осуществленные на исследуемом участке, каждая в свою очередь способствовали последовательному рассолению почвы (табл.38). Причем заметное рассоление отмечалось в верхних горизонтах, до глубины 1 м, где запасы солей при первой промывке снизились на 14 т/га по плотному остатку. По хлору количество выщелоченных солей составило на 6 т/га больше, чем по плотному остатку. Это указывает на то, что процессы выщелачивания произошли главным образом за счет более растворимых солей, в частности NaCl. За счет внесенного в большом количестве мелиоранта в почве произошло накопление сернокислых солей, особенно в верхней

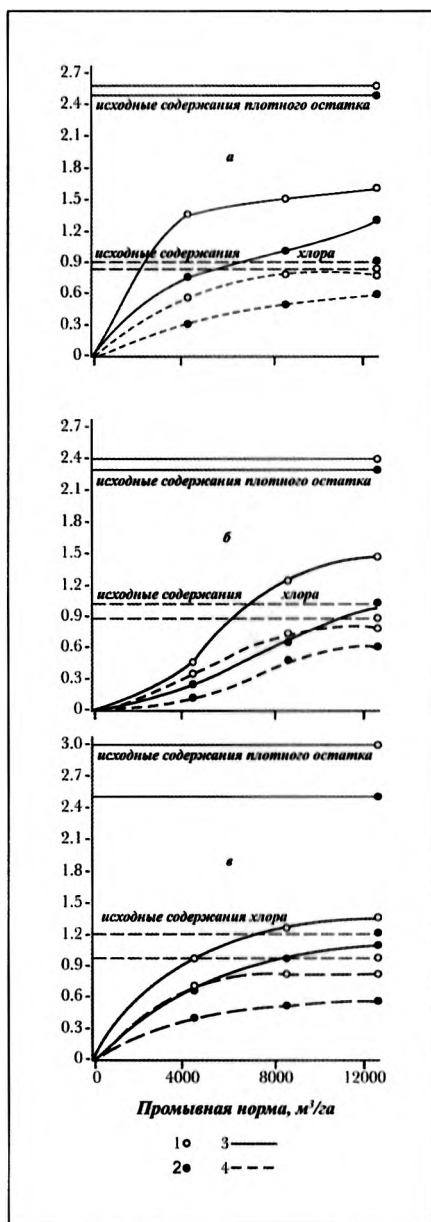


Рис. 11

части. Мы пришли к этому выводу, исследовав характер выщелачивания солевых масс при последующих промывках.

Таблица 38

Изменение содержания солевых компонентов при промывке почвы с применением 20 т/га органо-гипсовой смеси (%/мэкв)

Глубина, см	Плотный остаток	CO ₃	HCO ₃	Cl	SO ₄	Ca	Mg	Na+K
1	2	3	4	5	6	7	8	9
До промывки								
0–25	4,622	нет	<u>0,026</u> 0,42	<u>1,997</u> 56,25	<u>0,301</u> 6,27	<u>0,267</u> 13,32	<u>0,082</u> 6,77	<u>0,985</u> 42,85
25–50	2,090		<u>0,022</u> 0,37	<u>0,861</u> 24,25	<u>0,411</u> 8,56	<u>0,118</u> 5,88	<u>0,031</u> 2,56	<u>0,567</u> 24,74
5–75	2,072		<u>0,024</u> 0,40	<u>0,652</u> 18,37	<u>0,534</u> 11,12	<u>0,098</u> 4,88	<u>0,027</u> 2,22	<u>0,524</u> 22,79
75–100	1,855		<u>0,027</u> 0,45	<u>0,532</u> 15,00	<u>0,483</u> 10,06	<u>0,067</u> 3,33	<u>0,015</u> 1,22	<u>0,482</u> 20,96
100–125	1,637		<u>0,033</u> 0,55	<u>0,515</u> 14,50	<u>0,354</u> 7,37	<u>0,036</u> 1,78	<u>0,008</u> 0,66	<u>0,459</u> 19,98
125–150	1,625		<u>0,033</u> 0,55	<u>0,532</u> 15,00	<u>0,481</u> 10,01	<u>0,049</u> 2,44	<u>0,003</u> 1,11	<u>0,506</u> 22,01
150–175	1,795		<u>0,033</u> 0,55	<u>0,504</u> 14,19	<u>0,629</u> 13,09	<u>0,073</u> 3,66	<u>0,018</u> 1,50	<u>0,521</u> 22,67
175–200	1,687		<u>0,043</u> 0,70	<u>0,472</u> 13,31	<u>0,498</u> 10,37	<u>0,042</u> 2,11	<u>0,011</u> 0,94	<u>0,490</u> 21,33
После третьей промывки								
0–25	0,854	нет	<u>0,046</u> 0,76	<u>0,252</u> 7,10	<u>0,260</u> 5,42	<u>0,018</u> 0,68	<u>0,012</u> 0,98	<u>0,263</u> 11,42
25–50	0,730	-	<u>0,044</u> 0,72	<u>0,096</u> 2,70	<u>0,343</u> 7,14	<u>0,047</u> 2,35	<u>0,018</u> 1,47	<u>0,155</u> 6,74
50–75	0,727	-	<u>0,049</u> 0,80	<u>0,086</u> 2,41	<u>0,354</u> 7,37	<u>0,073</u> 3,66	<u>0,015</u> 1,22	<u>0,131</u> 5,70
75–100	1,148	-	<u>0,056</u> 0,92	<u>0,060</u> 1,70	<u>0,639</u> 13,31	<u>0,039</u> 1,96	<u>0,017</u> 1,37	<u>0,290</u> 12,60
100–125	1,832	-	<u>0,044</u> 0,72	<u>0,085</u> 2,40	<u>1,144</u> 23,83	<u>0,139</u> 6,96	<u>0,061</u> 5,00	<u>0,345</u> 14,99
125–150	1,624	-	<u>0,049</u> 0,80	<u>0,064</u> 1,80	<u>1,009</u> 21,02	<u>1,104</u> 5,19	<u>0,030</u> 2,45	<u>0,367</u> 15,98

Окончание табл. 38

1	2	3	4	5	6	7	8	9
150-175	1,364	-	<u>0,044</u> 0,72	<u>0,099</u> 2,80	<u>0,773</u> 16,10	<u>0,102</u> 5,10	<u>0,027</u> 2,25	<u>0,282</u> 12,27
175-200	0,996	-	<u>0,049</u> 0,80	<u>0,103</u> 2,90	<u>0,530</u> 11,04	<u>0,063</u> 3,14	<u>0,033</u> 2,74	<u>0,204</u> 8,86

Как видно из рис. 10 б, запасы солей по плотному остатку в слое 0-1 м при второй промывке уменьшились в 6,5 раза больше (93 т/га), чем при первой промывке (14 т/га). По хлору же почвы рассолились всего на 12 т/га, что, на наш взгляд, говорит о выщелачивании солевых масс при второй промывке за счет сравнительно инертных солей, главным образом сернокислых.

Привлекают внимание полные данные водной вытяжки при третьей промывке. Из рис. 10б видно, что третья промывка по сравнению со второй мало рассолила почву. Сравнение данных до промывки и после третьей промывки показало, что промывки способствовали полному вымыванию CaCl_2 и MgCl_2 . В верхнем метровом слое была вымыта 171 т/га NaCl . Послепромывное значение этой соли составило всего 27 т/га. Из этого слоя значительно вымылись CaSO_4 и MgSO_4 , но в большей степени повысились запасы Na_2SO_4 и $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$.

В результате промывки из второй метровой толщи почвы было удалено всего 20 т/га солей, однако только по NaCl запасы удаленных солей составили 100 т/га, т.е. оказались в 5 раз больше общего количества солей. Это становится понятным из рассмотрения данных по сернокислым солям, содержание которых на много увеличилось (табл. 39).

При оценке результатов промывки по интенсивности выщелачивания солевых масс выявилось, что главная масса солей как в верхних полуметровых, так и в метровых слоях в целом выщелачивалась при второй промывке (рис. 11 б). Первая и третья промывки из метрового слоя почв вынесли небольшое количество солей (около 20% от суммы всех выщелоченных солей).

Расход воды на выщелачивание 1 т солей из метрового слоя почвы составил 70,9 м³/га по ионному остатку и 173,9 м³/га по

хлору. 1 м³ воды выщелачивал из метрового слоя почвы 12,7 кг/га солей по плотному остатку и 5,8 кг/га по хлору.

Таблица 39

Дифференциация и сопряженность солевых масс при промывке почв с применением 20 т/га органо-гипсовой смеси (%/т/га)

Глубина, см	Ca (HCO ₃) ₂	CaSO ₄	MgSO ₄	Na ₂ SO ₄	CaCl ₂	MgCl	NaCl	Сумма солей
1	2	3	4	5	6	7	8	9
До промывки								
0–25	<u>0.034</u> 1,05	<u>0.426</u> 13,20	нет	нет	<u>0.368</u> 11,40	<u>0.321</u> 9,95	<u>2.506</u> 77,68	<u>3.655</u> 113,28
25–50	<u>0.029</u> 0,97	<u>0.374</u> 12,53	<u>0.152</u> 5,09	<u>0.034</u> 1,14	нет	нет	<u>1.415</u> 47,40	<u>2.004</u> 67,13
50–75	<u>0.032</u> 1,20	<u>0.305</u> 11,44	<u>0.133</u> 4,99	<u>0.314</u> 11,78			<u>1.074</u> 40,28	<u>1.858</u> 69,69
75–100	<u>0.036</u> 1,33	<u>0.196</u> 7,25	<u>0.074</u> 2,74	<u>0.423</u> 15,65			<u>0.877</u> 32,45	<u>1.606</u> 59,42
100–125	<u>0.044</u> 1,56	<u>0.084</u> 1,42	<u>0.040</u> 1,42	<u>0.389</u> 13,81			<u>0.830</u> 29,47	<u>1.387</u> 47,68
125–150	<u>0.044</u> 1,58	<u>0.128</u> 4,61	<u>0.066</u> 2,38	<u>0.498</u> 17,93			<u>0.877</u> 31,57	<u>1.613</u> 58,07
150–175	<u>0.044</u> 1,61	<u>0.211</u> 7,70	<u>0.087</u> 3,18	<u>0.602</u> 21,97			<u>0.830</u> 30,30	<u>1.774</u> 64,76
175–200	<u>0.056</u> 2,07	<u>0.096</u> 3,55	<u>0.056</u> 2,07	<u>0.569</u> 21,05			<u>0.778</u> 28,79	<u>1.495</u> 57,53
После третьей промывки								
0–25	<u>0.061</u> 1,89	<u>0.008</u> 0,25	<u>0.059</u> 1,83	<u>0.306</u> 9,49	нет	нет	<u>0.415</u> 12,07	<u>0.849</u> 26,33
25–50	<u>0.056</u> 1,88	<u>0.111</u> 0,72	<u>0.089</u> 2,98	<u>0.287</u> 9,62			<u>0.158</u> 5,29	<u>0.701</u> 23,49
50–75	<u>0.065</u> 2,44	<u>0.195</u> 7,31	<u>0.073</u> 2,74	<u>0.234</u> 8,78			<u>0.141</u> 5,29	<u>0.708</u> 26,56
75–100	<u>0.072</u> 2,66	<u>0.071</u> 2,63	<u>0.082</u> 3,03	<u>0.774</u> 28,64			<u>0.099</u> 3,66	<u>0.098</u> 40,62
100–125	<u>0.058</u> 2,06	<u>0.425</u> 15,09	<u>0.300</u> 10,65	<u>0.894</u> 31,74			<u>0.140</u> 4,97	<u>1.817</u> 64,51

Окончание табл. 39

1	2	3	4	5	6	7	8	9
125-150	<u>0,065</u> 2,34	<u>0,299</u> 10,76	<u>0,147</u> 5,25	<u>1,007</u> 36,25	нет	нет	<u>0,105</u> 3,78	<u>1,623</u> 58,42
150-175	<u>0,058</u> 2,12	<u>0,298</u> 10,88	<u>0,135</u> 4,93	<u>0,691</u> 25,22			<u>0,163</u> 5,95	<u>1,345</u> 49,10
175-200	<u>0,064</u> 2,37	<u>0,159</u> 5,88	<u>0,164</u> 6,07	<u>0,423</u> 15,65			<u>0,170</u> 6,29	<u>0,980</u> 36,26

Данные об изменении физико-химических свойств почвы представлены в табл. 41, из которой видно, что верхние горизонты почвы при внесении органо-гипсовой смеси в дозе 20 т/га полностью нейтрализовались по поглощенному Na и pH. Значительно уменьшилось содержание общей щелочности почвы как здесь, так и в глубже лежащих горизонтах. Несколько увеличилось содержание гипса и CaCO_3 .

Таблица 40

Изменение микроагрегатного состава почвы при промывке с применением 20 т/га органо-гипсовой смеси (до/после промывки, % к сухой почве)

Глубина, см	Величина фракции, мм						
	1-0,25	0,25-0,05	0,05-0,01	0,01-0,005	0,005-0,001	<0,001	<0,01
0-10	<u>0,48</u> 0,27	<u>5,06</u> 17,97	<u>74,28</u> 59,64	0,88 16,48	<u>2,04</u> 2,60	<u>17,26</u> 3,04	<u>20,18</u> 22,12
10-25	<u>0,48</u> 0,70	<u>5,06</u> 10,18	<u>74,28</u> 57,20	0,88 25,12	<u>2,04</u> 4,52	<u>17,26</u> 2,25	<u>20,18</u> 31,92
25-50	<u>0,30</u> 0,88	<u>7,54</u> 8,96	<u>74,54</u> 57,76	<u>7,32</u> 26,72	<u>1,32</u> 3,16	<u>8,98</u> 2,52	<u>17,62</u> 32,40
50-80	<u>0,30</u> 1,12	<u>7,54</u> 10,08	<u>74,54</u> 56,12	<u>7,32</u> 25,84	<u>1,32</u> 2,08	<u>8,98</u> 4,76	<u>17,62</u> 32,68
80-110	<u>0,31</u> 0,61	<u>4,47</u> 10,23	<u>73,68</u> 73,88	<u>5,72</u> 3,56	<u>0,84</u> 7,96	<u>14,98</u> 13,76	<u>21,54</u> 25,28

Почвы резко улучшились также по данным фактора дисперсности. Величина этого показателя в слое верхнего полуметра

уменьшилась с 42–53% до 5–6%. Во втором полуметровом слое фактор дисперсности после промывки имел величину 12–22% против 31–44% до промывки.

Весьма ощутимое улучшение установлено по агрегированию почвы. Довольно резко уменьшилась илистая фракция и повысились водопровочные фракции (табл. 40).

Фильтрация воды, по лабораторным данным, повысилась с 1,00 до 3,14 см³/мин в слое 0–25 см и с 1,10 до 3,03 см³/мин в слое 25–50 см. По полевым данным, скорость фильтрации увеличилась с 3,0 до 4,6 мм/мин в первые 10 минут и с 0,7833 до 1,2500 мм/мин в первый час. Установившаяся водопроницаемость почвы повысилась более чем в 2,5 раза (с 0,0333 до 0,0833 мм/мин).

Все это благоприятно отразилось на повышении производительности почвы. Урожай риса по зерну составил 19,8 ц/га, что на 19% больше, чем в варианте промывки только водой. На 93%, или на 10,7 ц/га, увеличился урожай ячменя (22,2 ц/га). Урожайность хлопчатника (17,1 ц/га) повысилась на 5,5 ц/га, или 54%.

Таким образом, приведенные данные свидетельствуют о положительном воздействии внесенного в почву мелиоранта в количестве 20 т/га.

Промывки почв с внесением 40 т/га органо-гипсовой смеси

Этот способ промывки способствовал значительному рассолению почвы. Первая норма воды (4000 м³/га) (рис. 10 в) рассолила почву до глубины 175 см. По данным полных анализов (табл. 42), соли главным образом вымылись из слоя 0–75 см, где содержание плотного остатка уменьшилось в среднем на 0,762, из которых 0,625% падает на долю хлора.

В отличие от хлора, по SO₄ отмечалось резкое повышение содержания солей, причем не только в поверхностных слоях, но почти по всей толще почвы (до глубины 175 см), что свидетельствует о явном воздействии внесенного мелиоранта на процессы рассоления почвы. Увеличение же содержания SO₄-иона в глуболежащих горизонтах по-видимому, связано с накоплением частично выщелоченного из верхних горизонтов сульфат-иона как самой почвы, так и внесенного мелиоранта. На это указывают также данные по Са-иону, значение которого увеличилось как

Таблица 41

Изменение физико-химических и водных свойств при промывке почвы с применением 20 т/га органо-гипсовой смеси (до/после промывки)

Глубина, см	%			Поглощенные катионы, % от суммы				pH водной суспензии	HCO ₃ %	Коэф-фициент дисперсности, %	Водопроницаемость, мм/мин			
	Гумус	CaCO ₃ (по CO ₂)	Тип	Сумма	Ca	Mg	Na				1-10 мин	1-й час	6-й час	Среднее за 6 часов
0-10	1,03 1,15	11,09 16,60	0,228 0,391	20,72 19,67	77,41 75,19	11,97 24,40	10,62 0,41	7,8 7,0	0,022 0,019	53,34 8,37	3,0 4,6	0,7833 1,2500	0,0333 0,0833	0,1778 0,3000
10-25	0,87 0,92	11,09 16,37	0,228 1,157	20,72 19,41	77,41 73,93	11,97 20,71	10,62 5,36	7,8 7,00	0,022 0,022	61,73 5,87				
25-50	0,80 0,85	16,97 16,68	0,281 0,384	20,49 15,99	16,18 55,28	23,18 37,21	14,64 7,51	7,9 7,7	0,029 0,024	42,52 6,71				
50-80	0,34 0,36	14,45 16,83	0,853 1,944	29,85 28,67	82,68 79,49	12,63 17,72	4,69 2,79	8,1 8,0	0,029 0,019	31,27 12,65				
80-110	0,036 0,36	17,90 16,37	1,005 1,508	28,18 31,14	83,14 77,65	11,89 19,78	4,97 2,57	8,0 8,0	0,029 0,024	44,43 22,73				

в поверхностном, так и в глубоких горизонтах почв. Явное засоление почвы отмечалось по Na+K. Все это отразилось на сопряженности дифференциации солевых масс. Как видно из данных табл.43, только из верхнего (25 см) слоя почвы NaCl был вымыт на 1,14%. Полностью исчез $MgCl_2$. Но значительно увеличилось содержание сернокислых солей: образовались вторичные соли Na_2SO_4 (0,393%) и повысилось содержание $CaSO_4$ и $MgSO_4$ (соответственно на 0,047 и 0,076%).

Таблица 42

Изменение содержания солевых компонентов при промывке почвы с применением 40 т/га органо-гипсовой смеси (%/мэкв)

Глубина, см	Плотный остаток	CO ₃	HCO ₃	Cl	SO ₄	Ca	Mg	Na+K
1	2	3	4	5	6	7	8	9
До промывки								
0-25	3,126	нет	<u>0.022</u> 0,36	<u>1.243</u> 35,00	<u>0.635</u> 13,23	<u>0.240</u> 11,99	<u>0.054</u> 4,43	<u>0.740</u> 32,17
25-50	2,460		<u>0.022</u> 0,36	<u>1.022</u> 28,80	<u>0.523</u> 10,89	<u>0.158</u> 7,88	<u>0.038</u> 3,13	<u>0.668</u> 29,04
50-75	2,234		<u>0.022</u> 0,36	<u>0.845</u> 23,80	<u>0.525</u> 10,94	<u>0.095</u> 4,75	<u>0.025</u> 2,05	<u>0.651</u> 28,30
75-100	1,914		<u>0.037</u> 0,60	<u>0.692</u> 19,50	<u>0.460</u> 9,58	<u>0.054</u> 2,70	<u>0.014</u> 1,19	<u>0.593</u> 25,79
100-125	2,094		<u>0.029</u> 0,36	<u>0.714</u> 20,10	<u>0.484</u> 10,08	<u>0.076</u> 3,78	<u>0.017</u> 1,40	<u>0.586</u> 25,48
125-150	1,904		<u>0.027</u> 0,45	<u>0.621</u> 17,50	<u>0.460</u> 9,58	<u>0.113</u> 5,61	<u>0.025</u> 2,05	<u>0.457</u> 19,87
150-175	1,850		<u>0.039</u> 0,64	<u>0.650</u> 18,30	<u>0.456</u> 9,50	<u>0.024</u> 1,19	<u>0.009</u> 0,76	<u>0.609</u> 26,49
175-200	2,075		<u>0.024</u> 0,40	<u>0.657</u> 18,12	<u>0.632</u> 13,16	<u>0.106</u> 5,28	<u>0.027</u> 2,20	<u>0.577</u> 24,20
После первой промывки								
0-25	2,402	нет	<u>0.040</u> 0,65	<u>0.453</u> 12,75	<u>0.995</u> 20,72	<u>0.260</u> 12,98	<u>0.035</u> 2,86	<u>0.420</u> 18,28
25-50	1,838		<u>0.027</u> 0,45	<u>0.404</u> 11,37	<u>0.707</u> 14,73	<u>0.110</u> 5,50	<u>0.029</u> 2,42	<u>0.428</u> 18,63
50-75	1,596		<u>0.027</u> 0,45	<u>0.390</u> 11,01	<u>0.638</u> 13,30	<u>0.062</u> 3,08	<u>0.021</u> 1,76	<u>0.458</u> 19,92

Продолжение табл. 42

1	2	3	4	5	6	7	8	9
75–100	2,740	нет	<u>0,021</u> 0,35	<u>0,674</u> 18,12	<u>1,051</u> 21,89	<u>0,282</u> 14,08	<u>0,037</u> 3,08	<u>0,534</u> 23,20
100–125	2,757		<u>0,021</u> 0,35	<u>0,790</u> 22,50	<u>0,921</u> 19,18	<u>0,269</u> 13,42	<u>0,045</u> 3,74	<u>0,572</u> 24,87
125–150	2,865		<u>0,021</u> 0,35	<u>0,825</u> 22,62	<u>1,056</u> 21,99	<u>0,273</u> 13,64	<u>0,037</u> 3,08	<u>0,649</u> 28,24
150–175	2,625		<u>0,021</u> 0,35	<u>0,781</u> 20,75	<u>1,091</u> 22,72	<u>0,242</u> 12,10	<u>0,040</u> 3,30	<u>0,654</u> 28,42
175–200	2,075		<u>0,024</u> 0,40	<u>0,657</u> 18,12	<u>0,632</u> 13,16	<u>0,106</u> 5,28	<u>0,027</u> 2,20	<u>0,557</u> 24,20
После второй промывки								
0–25	0,704	нет	<u>0,034</u> 0,56	<u>0,222</u> 6,10	<u>0,191</u> 3,98	<u>0,025</u> 1,26	<u>0,010</u> 0,80	<u>0,198</u> 8,59
25–50	1,484		<u>0,024</u> 0,40	<u>0,400</u> 11,45	<u>0,210</u> 4,37	<u>0,055</u> 2,76	<u>0,021</u> 1,69	<u>0,271</u> 11,77
50–75	1,442		<u>0,027</u> 0,44	<u>0,612</u> 17,00	<u>0,242</u> 5,04	<u>0,044</u> 2,22	<u>0,010</u> 0,80	<u>0,448</u> 19,46
75–100	2,880		<u>0,019</u> 0,32	<u>0,719</u> 20,10	<u>1,095</u> 22,81	<u>0,266</u> 13,26	<u>0,015</u> 1,25	<u>0,661</u> 28,72
100–125	2,540		<u>0,022</u> 0,36	<u>0,648</u> 17,90	<u>1,009</u> 21,01	<u>0,232</u> 11,57	<u>0,028</u> 2,31	<u>0,584</u> 25,39
125–150	2,130		<u>0,022</u> 0,36	<u>0,550</u> 15,60	<u>0,771</u> 16,06	<u>0,141</u> 7,03	<u>0,018</u> 1,51	<u>0,540</u> 23,48
150–175	1,774		<u>0,022</u> 0,36	<u>0,479</u> 13,40	<u>0,641</u> 13,35	<u>0,084</u> 4,18	<u>0,022</u> 1,78	<u>0,486</u> 21,15
175–200	1,324		<u>0,029</u> 0,48	<u>0,488</u> 13,30	<u>0,342</u> 7,12	<u>0,025</u> 1,25	<u>0,011</u> 0,89	<u>0,431</u> 18,76
После третьей промывки								
0–25	0,840	нет	<u>0,039</u> 0,64	<u>0,050</u> 1,40	<u>0,460</u> 9,58	<u>0,118</u> 5,87	<u>0,017</u> 1,42	<u>0,099</u> 4,33
25–50	0,702		<u>0,051</u> 0,84	<u>0,028</u> 0,80	<u>0,399</u> 8,31	<u>0,023</u> 1,16	<u>0,012</u> 0,98	<u>0,180</u> 7,81
50–75	1,270		<u>0,044</u> 0,72	<u>0,028</u> 0,80	<u>0,782</u> 16,29	<u>0,055</u> 2,76	<u>0,009</u> 0,71	<u>0,330</u> 14,34
75–100	1,336		<u>0,044</u> 0,72	<u>0,046</u> 1,30	<u>0,815</u> 16,98	<u>0,105</u> 5,25	<u>0,012</u> 0,98	<u>0,294</u> 12,77
100–125	1,792		<u>0,039</u> 0,64	<u>0,213</u> 6,00	<u>0,950</u> 19,79	<u>0,105</u> 5,25	<u>0,025</u> 2,05	<u>0,440</u> 19,13

Окончание табл. 42

1	2	3	4	5	6	7	8	9
125–150	1,996	нет	<u>0.037</u> 0,60	<u>0.369</u> 10,40	<u>0.876</u> 18,25	<u>0.086</u> 2,76	<u>0.016</u> 1,33	<u>0.544</u> 23,65
150–175	1,754		<u>0.039</u> 0,64	<u>0.341</u> 9,60	<u>0.765</u> 15,93	<u>0.046</u> 2,31	<u>0.013</u> 1,07	<u>0.524</u> 22,79
175–200	1,660		<u>0.049</u> 0,80	<u>0.323</u> 9,10	<u>0.718</u> 14,96	<u>0.030</u> 1,51	<u>0.016</u> 1,33	<u>0.506</u> 22,02

Большой вынос хлористого натрия произошел в слое 0–1 м, где запасы его уменьшились на 10 т/га, а содержание других солей, в частности сернокислых соединений и $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$, значительно увеличилось (в целом на 72,6 т/га). За исключением Na_2SO_4 и $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$, содержание солей увеличилось также в слое 1–2 м (табл. 43).

Таблица 43

Дифференциация и сопряженность солевых масс при промывке почвы с применением 40 т/га органо-гипсовой смеси (%/т/га)

Глубина, см	$\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$	CaSO_4	Mg SO_4	Na_2SO_4	NaCl	Na_2CO_3	Сумма солей
1	2	3	4	5	6	7	8
До промывки							
0–25	<u>0.033</u> 1,02	<u>0.791</u> 24,52	<u>0.096</u> 2,98	нет	<u>0.134</u> 4,15	<u>0.882</u> 58,34	<u>2.936</u> 91,01
25–50	<u>0.029</u> 0,97	<u>0.511</u> 17,12	<u>0.187</u> 6,27	<u>0.016</u> 0,54	нет	<u>1.684</u> 56,41	<u>2.427</u> 81,31
50–75	<u>0.029</u> 1,09	<u>0.299</u> 11,21	<u>0.123</u> 4,61	<u>0.319</u> 11,96		<u>1.392</u> 52,20	<u>2.162</u> 81,07
75–100	<u>0.049</u> 1,81	0,143 5,29	<u>0.071</u> 2,63	<u>0.447</u> 16,54		<u>1.140</u> 42,18	<u>1.850</u> 68,45
100–125	<u>0.039</u> 1,39	<u>0.224</u> 7,95	<u>0.084</u> 2,98	<u>0.382</u> 13,56		<u>1.175</u> 41,71	<u>1.904</u> 67,59
125–150	<u>0.037</u> 1,33	<u>0.351</u> 12,64	<u>0.123</u> 4,43	<u>0.168</u> 6,05		<u>1.024</u> 36,86	<u>1.703</u> 61,31
150–175	<u>0.052</u> 1,92	<u>0.037</u> 1,37	<u>0.045</u> 1,67	<u>0.581</u> 21,50		<u>1.071</u> 39,63	<u>1.786</u> 66,09

Промывка почв с применением органо-гипсовой смеси

Продолжение табл. 43

1	2	3	4	5	6	7	8
175–200	<u>0.032</u> 1,18	<u>0.332</u> 12,28	<u>0.132</u> 4,88	<u>0.432</u> 15,98	нет	<u>1.060</u> 39,22	<u>1.988</u> 73,54
После первой промывки							
0–25	<u>0.053</u> 1,54	<u>0.838</u> 25,98	<u>0.172</u> 5,33	<u>0.393</u> 12,18	нет	<u>0.746</u> 23,13	<u>2.202</u> 68,26
25–50	<u>0.037</u> 1,24	<u>0.343</u> 11,49	<u>0.145</u> 4,86	<u>0.516</u> 17,29		<u>0.665</u> 22,28	<u>1.706</u> 57,16
50–75	<u>0.037</u> 1,39	<u>0.179</u> 6,71	<u>0.106</u> 3,98	<u>0.633</u> 23,74		<u>0.644</u> 24,15	<u>1.599</u> 59,97
75–100	<u>0.284</u> 10,51	<u>0.934</u> 34,56	<u>0.185</u> 6,85	<u>0.361</u> 13,36		<u>1.060</u> 39,22	<u>2.824</u> 104,50
100–125	<u>0.028</u> 0,99	<u>0.889</u> 31,56	<u>0.224</u> 7,95	<u>0.168</u> 5,96		<u>1.316</u> 46,72	<u>2.625</u> 93,18
125–150	<u>0.028</u> 1,01	<u>0.904</u> 32,54	<u>0.185</u> 6,66	<u>0.399</u> 14,36		<u>1.323</u> 47,63	<u>2.839</u> 102,20
150–175	<u>0.028</u> 1,02	<u>0.799</u> 29,16	<u>0.198</u> 7,23	<u>0.545</u> 19,89		<u>1.214</u> 44,31	<u>2.784</u> 101,61
175–200	<u>0.032</u> 1,18	<u>0.332</u> 12,28	<u>0.132</u> 4,88	<u>0.432</u> 15,98		<u>1.060</u> 39,22	<u>1.988</u> 73,54
После второй промывки							
0–25	<u>0.045</u> 1,40	<u>0.047</u> 1,46	<u>0.048</u> 1,49	<u>0.177</u> 5,49	нет	<u>0.357</u> 11,07	<u>0.674</u> 20,91
25–50	<u>0.032</u> 1,07	<u>0.161</u> 5,39	<u>0.101</u> 3,38	<u>0.023</u> 0,77		<u>0.670</u> 22,45	<u>0.987</u> 33,06
50–75	<u>0.036</u> 1,35	<u>0.121</u> 4,54	<u>0.048</u> 1,80	<u>0.175</u> 6,56		<u>0.995</u> 37,31	<u>1.375</u> 51,56
75–100	<u>0.026</u> 0,96	<u>0.880</u> 32,56	<u>0.075</u> 2,78	<u>0.612</u> 22,64		<u>1.176</u> 43,51	<u>2.769</u> 102,45
100–125	<u>0.029</u> 1,03	<u>0.762</u> 27,05	<u>0.139</u> 4,94	<u>0.532</u> 18,89		<u>1.047</u> 37,17	<u>2.509</u> 89,08
125–150	<u>0.029</u> 1,04	<u>0.434</u> 15,62	<u>0.091</u> 3,28	<u>0.560</u> 20,16		<u>0.913</u> 32,87	<u>2.027</u> 72,97
150–175	<u>0.029</u> 1,06	<u>0.260</u> 9,49	<u>0.107</u> 3,91	<u>0.550</u> 20,08		<u>0.784</u> 28,62	<u>1.730</u> 63,16
175–200	<u>0.039</u> 1,44	<u>0.051</u> 1,92	<u>0.053</u> 1,96	<u>0.388</u> 14,36		<u>0.778</u> 28,79	<u>1.310</u> 48,47

Окончание табл. 43

1	2	3	4	5	6	7	8
После третьей промывки							
0–25	<u>0.051</u> 1,61	<u>0.356</u> 1,04	<u>0.085</u> 2,64	<u>0.208</u> 6,45	нет	<u>0.082</u> 2,54	<u>0.783</u> 14,28
25–50	<u>0.068</u> 2,28	<u>0.021</u> 0,70	<u>0.059</u> 1,98	<u>0.497</u> 16,65		<u>0.046</u> 1,54	<u>0.695</u> 23,15
50–75	<u>0.058</u> 2,18	<u>0.139</u> 5,21	<u>0.042</u> 1,58	<u>0.961</u> 36,04		<u>0.046</u> 1,73	<u>1.246</u> 46,74
75–100	<u>0.058</u> 2,15	<u>0.308</u> 11,40	<u>0.059</u> 2,18	<u>0.814</u> 30,12		<u>0.076</u> 2,81	<u>1.315</u> 48,66
100–125	<u>0.052</u> 1,85	<u>0.313</u> 11,11	<u>0.123</u> 4,37	<u>0.932</u> 33,09		<u>0.350</u> 12,46	<u>1.771</u> 62,88
125–150	<u>0.049</u> 1,76	<u>0.249</u> 8,96	<u>0.80</u> 2,88	<u>0.941</u> 33,88		<u>0.608</u> 21,89	<u>1.927</u> 69,37
150–175	<u>0.052</u> 1,90	<u>0.113</u> 4,13	<u>0.064</u> 2,34	<u>0.936</u> 34,16		<u>0.562</u> 20,51	<u>1.727</u> 63,04
175–200	<u>0.065</u> 2,41	<u>0.048</u> 1,78	<u>0.080</u> 2,96	<u>0.917</u> 33,93		<u>0.532</u> 19,68	<u>1.642</u> 60,76

Вторая промывка продолжала рассоление почвы в верхних горизонтах. В слое 0–1 м соли уменьшились в среднем наполовину. Причем соотношение вымытых компонентов было примерно такое же, как в слое 0–25 см. Следует отметить, что вторая промывка способствовала существенному рассолению почв и в слое 1–2 м, причем по всем солевым компонентам (табл. 42).

В отличие от первой, при второй промывке соли выщелачивались главным образом, за счет сернокислых соединений и двууглекислого кальция. Сумма выщелоченных солей по этим соединениям в слое 0–1 м составила 97,6 т/га, а в слое 1–2 м — 50 т/га.

Третья промывка продолжала рассоление на большой толще почвогрунта (до глубины 175 см, за исключением слоя 0–25 см).

В слое 0–25 см отмечалось некоторое увеличение солей за счет SO_4 и Са. Это, видимо, связано с полным растворением и переходом в водную вытяжку гипса из внесенного мелиоранта. К такому выводу мы пришли, следя за ходом изменения хлор-иона в этом слое и за дифференциацией солевых масс. Как видно из табл. 43, при

общем увеличении содержания SO_4 и Ca хлор подвергся резкому выщелачиванию в характеризуемом слое почв. Довольно сильно повысилось содержание CaSO_4 (с 0,047 до 0,356%) и других сернокислых солей (табл.42). Содержание NaCl в слое 0–1 м уменьшилось почти до порога токсичности (в среднем с 0,80 до 0,06%, или со 114,3 до 8,6 м/га). На 53 т/га NaCl был вымыт и из слоя 1–2 м.

Все это говорит о весьма положительном воздействии внесенного мелиоранта на ускорение рассоления почвы при промывке.

Анализ интенсивности выщелачивания солевых масс показал, что основное количество солей в слое 0–1 м главным образом выщелачивалось при первой промывке (56,7% от суммы выщелоченных солей). Вторая промывка способствовала небольшому выщелачиванию солей (15,9%).

При третьей промывке количество выщелоченных солей несколько увеличивалось и достигло 27,4% от суммы выщелоченных солей (рис. 11 в). На выщелачивание 1т солей из метрового слоя почвы потребовалось 68,2 м³/га воды по плотному остатку и 160,0 м³/га по хлору. 1 м³ выщелачивал из этого слоя почвы 14,7 кг/га солей по плотному остатку и 6,3 кг/га по хлору.

Внесение в почву органо-гипсовой смеси при промывке способствовало значительному улучшению водных свойств почв. Фильтрация воды в слое 0–25 см повысилась с 1,18 до 2,91 см³/мин. Этот показатель почвы для слоя 25–50 см выразился еще сильнее. Здесь фильтрация воды повысилась с 0,92 до 3,03 см³/мин.

Отмечалось явное улучшение **производительности почвы**. Урожай риса, выращенного на этом участке, составил с каждого гектара 21,4 ц зерна, т.е. на 28% больше, чем в условиях промывки только водой. На 95% (или 10,9 ц/га) больше получено зерна озимой пшеницы (22,4 ц/га). Высокий урожай собран также с хлопкового участка. Урожайность хлопчатника составила 19,1 ц/га, т.е. оказалась на 72%, или 7,5 ц/га, больше, чем на контрольном участке (промывка водой).

Таким образом, резюмируя сказанное о промывках почв с применением органо-гипсовой смеси, можно прийти к заключению, что этот способ промывки является одним из весьма эффективных приемов ускорения оздоровления засоленных почв с низкой солеотдачей. Среди испытанных доз наиболее экономически рентабельной оказалась доза 10 т/га органо-гипсовой смеси.

ГЛАВА IX

ПРОМЫВКА ПОЧВ С ПРИМЕНЕНИЕМ ОРГАНО-МИНЕРАЛЬНОГО ПОДКИСЛИТЕЛЯ

Как известно, влияние мелиоранта на изменение свойств почвы зависит от его химического состава, а мелиоративные свойства веществ — от растворимости мелиоранта, кислотности (кислые мелиоранты оказывают значительно большее влияние на мобилизацию труднорастворимых форм кальция почвы) и содержания в них легкорастворимого кальция, т.е. для достижения более высокого мелиоративного эффекта, видимо, следует применять комбинированные химические вещества, состав которых должен определяться свойствами мелиорируемой почвы.

Органо-минеральный подкислитель, речь о котором пойдет дальше, — это отходы производства нефтеперерабатывающих заводов Азербайджана, содержащие в большом количестве сернокислые соли железа, алюминия, меди, магния и органические вещества, что вполне отвечает вышеперечисленным требованиям к мелиорантам. В органо-минеральном подкислителе содержатся следующие химические соединения:

FeSO_4 — 42%	CuSO_4 — 5%
$\text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3$ — 36%	MgSO_4 — 0,3%
$\text{Al}(\text{SO}_4)_3$ — 8%	Органика — 4,1%

Органо-минеральный подкислитель в виде отходов ежедневно выбрасывается в количестве сотен тонн. Учитывая огромное содержание в нем двух- и трехвалентных элементов и органических веществ, а также дешевизну (средства необходимы только на транспортировку и внесение в почву) и полагая, что он может оказаться более сильнодействующим мелиорантом

в рассолонцевании и повышении солесодачи солонцовых засоленных почв, мы считали целесообразным испытать его при мелиорации засоленных почв с низкой солесодачей. Надо сказать, что наши мелкоделяночные опыты с этим мелиорантом, осуществленные ранее на других массивах республики, показали положительное действие его в мелиорации трудномелиорируемых засоленных почв (М.Р.Абдуев, 1966, 1968, 1970). Результаты наших исследований подтвердились опытами М.С.Мамедова (1969) на больших деланках, осуществленными под нашим руководством.

Гидролитически кислые соли Fe и Al, а также кислотные отходы промышленности давно применяются при мелиорации солонцовых засоленных почв, но особенно широко стали использоваться в последние годы. В начале XX в. на Аризонской и Калифорнийской сельскохозяйственных станциях США с целью нейтрализации щелочной реакции и вытеснения из почвенно-поглощающего комплекса обменного натрия, наряду с другими реагентами, использовали сернокислый алюминий, сернокислое железо, алюмокалиевые квасцы $KAl(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$.

В СССР первый полевой эксперимент на солонцах по выяснению роли железного купороса и других мелиорантов провел С.В.Зонн с сотрудниками (1937). Интересные исследования по выявлению эффективности железного купороса при мелиорации солонцов проведены Б.Н.Лактионовым (1961). В последние годы исследования по применению железного купороса в мелиорации щелочных почв содового засоления осуществлялись А.И.Читчаном с сотрудниками (1971). Влияние сернокислого железа на физические свойства каштановых солонцов изучено Н.П.Поповым, Г.И.Неретиным и А.И.Еськовым (1969). Опыты с применением сернокислого железа в вегетационных опытах проводились Л.М.Колесниковым (1972). Отходы лакокрасочного производства, содержащие 53% $FeSO_4$, 0,4% S, 0,2% Mg и 0,05% Ti, использовались в опытах А.И.Оборина, В.З.Таскаевой, В.И.Каменщиковой (1972) при мелиорации целинных луговых среднестолбчатых солонцов Челябинской области.

Большие работы по применению соединений железа при промывках на фоне дренажа проводились в Венгрии (Ш.Арань, 1957; И.Преттенхофер, 1965, 1971; И.Сабольт, 1965; Херке

и Хармати, 1965). В Польше F.Styjewski (1970) изучил действие железистых соединений на долговечность дренажных устройств. В работе Н.М.El.Roiyah и D.L.Rowell (1973) было выяснено влияние гидроокисей железа и алюминия на разбухание и водопроницаемость солонцов. A.V.Blastone (1973) в своих исследованиях попытался раскрыть агрегирующую роль продуктов гидролиза железа.

Интерес к экспериментированию веществ, содержащих сернокислородное железо и другие гидролитически кислые соли в щелочных почвах, возник главным образом потому, что эти соединения, в частности, железо как высоковалентный катион с высоким электрокинетическим потенциалом и как ионный и коллоидный электролит, дегидратируют гидрофильные почвенные коллоиды и тем самым улучшают мелиоративные свойства солонцовых засоленных почв.

Промывка с применением органо-минерального подкислителя, содержащего главным образом железистые и алюминийевые соединения, осуществлялась нами в условиях мелкоделяночных (15м^2), крупноделяночных (600м^2) опытов в Сиязань-Сумгай-ытском массиве и в производственных испытаниях (10 га) в Карабахской степи из расчета 10, 20 и 40 т/га. О результатах мелко- и крупноделяночных исследований достаточные сведения приведены в наших ранних работах (М.Р.Абдуев, 1966, 1968), поэтому о них здесь не будет сказано.

Промывка почв с внесением 10 т/га органо-минерального подкислителя

С применением первой нормы воды в количестве $4000\text{ м}^3/\text{га}$ соли подверглись значительному вымыванию. Сильное вымывание солей произошло главным образом в верхних горизонтах (рис. 12а). В среднем для метрового слоя количество выщелоченных солей по плотному остатку составило в среднем 0,7%. На 0,42% соли были вымыты из второго метрового слоя почвы.

Характерно, что выщелачивание произошло в основном за счет более легкоподвижных компонентов. В этом отношении интересно поведение хлора. Большое количество его было вымыто из верхнего (75 см) слоя, где содержание его уменьшилось

более чем в три раза (в среднем с 0,910 до 0,281%). 0,234% хлора вымылось и из второго метрово-го слоя.

Значительный вынос солей отмечался по Na+K. Величина этих компонентов в верхнем полуметровом слое уменьшилась почти наполовину, а во втором полуметровом слое — на 0,343%. Заметное выщелачивание этих компонентов отмечалось и в слое 1–2 м (табл. 44).

Глубокие изменения обнаружены также по остальным солевым компонентам. Однако здесь изменения произошли в обратном направлении. В этом отношении довольно характерны данные по SO_4 и Ca, содержание которых в слое 0–25 см значительно сократилось, а в глубжележащих

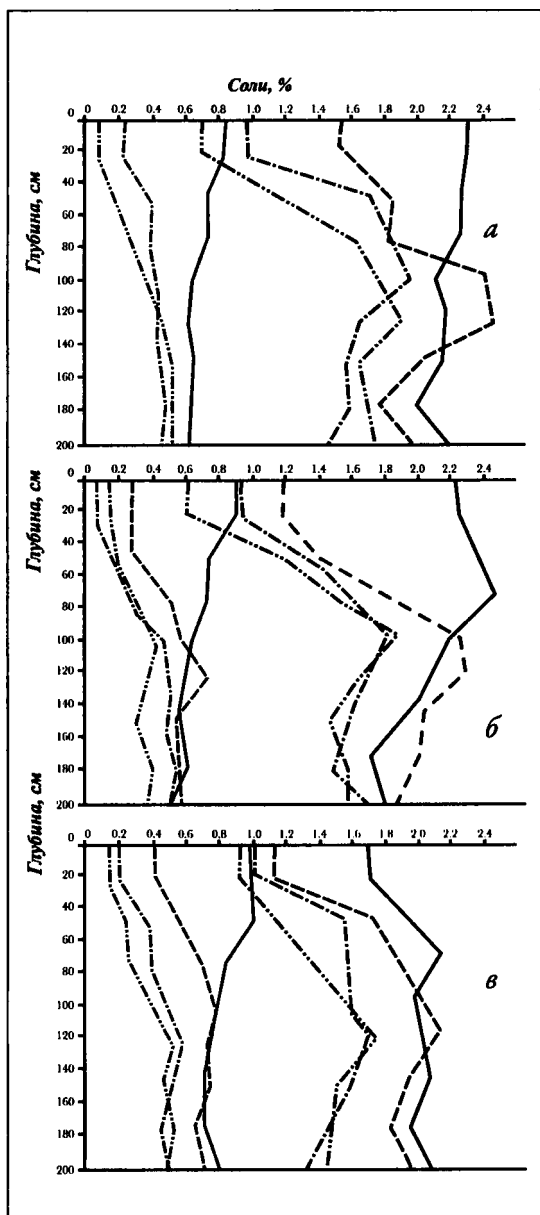


Рис. 12

горизонтах, наоборот, сильно увеличилось. Более чем в два раза повысилось значение HCO_3^- -иона в поверхностном горизонте. Повышение содержания этого компонента наблюдалось также в других горизонтах почв. Ход изменения содержания катиона магния аналогичен ходу изменения кальция (табл. 46). Причина отмеченного явления становится ясной из рассмотрения теоретической предпосылки мелиорации засоленных почв путем применения сернокислого железа.

Таблица 44

Изменение содержания солевых компонентов почв при промывке с применением 10 т/га органо-минерального подкислителя (%/мэкв)

Глубина, см	Плотный остаток	CO ₃	HCO ₃	Cl	SO ₄	Ca	Mg	Na+K
1	2	3	4	5	6	7	8	9
До промывки								
0-25	1,566	нет	<u>0.032</u> 0,52	<u>0.728</u> 20,50	<u>0.150</u> 3,12	<u>0.0032</u> 1,62	<u>0.018</u> 1,51	<u>0.481</u> 21,01
25-50	2,756		<u>0.032</u> 0,52	<u>1.029</u> 29,00	<u>0.640</u> 13,33	<u>0.063</u> 3,13	<u>0.012</u> 0,97	<u>0.891</u> 38,75
50-75	3,328		<u>0.024</u> 0,40	<u>0.973</u> 27,40	<u>1.155</u> 23,22	<u>0.113</u> 5,62	<u>0.018</u> 1,51	<u>1.009</u> 43,89
75-100	3,028		<u>0.027</u> 0,44	<u>0.887</u> 25,00	<u>1.004</u> 20,91	<u>0.091</u> 4,54	<u>0.006</u> 0,54	<u>0.949</u> 41,27
100-125	3,024		<u>0.024</u> 0,40	<u>0.951</u> 26,80	<u>0.967</u> 20,14	<u>0.093</u> 4,64	<u>0.005</u> 0,43	<u>0.972</u> 42,26
125-150	2,702		<u>0.027</u> 0,44	<u>0.895</u> 25,20	<u>0.776</u> 16,16	<u>0.048</u> 2,38	<u>0.014</u> 1,19	<u>0.879</u> 38,24
150-175	2,312		<u>0.037</u> 0,60	<u>0.902</u> 25,40	<u>0.518</u> 10,79	<u>0.026</u> 1,30	<u>0.012</u> 0,97	<u>0.794</u> 34,52
175-200	2,366		<u>0.037</u> 0,60	<u>0.958</u> 27,00	<u>0.638</u> 13,29	<u>0.045</u> 2,27	<u>0.020</u> 1,62	<u>0.851</u> 37,00
После первой промывки								
0-25	0,750	нет	<u>0.070</u> 1,15	<u>0.311</u> 8,75	<u>0.096</u> 2,00	<u>0.013</u> 0,67	<u>0.003</u> 0,27	<u>0.252</u> 10,96
25-50	1,952		<u>0.027</u> 0,45	<u>0.270</u> 7,62	<u>0.935</u> 19,47	<u>0.135</u> 6,75	<u>0.015</u> 1,28	<u>0.449</u> 19,51

Продолжение табл. 44

1	2	3	4	5	6	7	8	9
50-75	2,090	нет	<u>0,021</u> 0,35	<u>0,262</u> 7,37	<u>1,009</u> 21,01	<u>0,116</u> 5,80	<u>0,013</u> 1,08	<u>0,502</u> 21,85
75-100	3,060		<u>0,055</u> 0,90	<u>0,745</u> 21,00	<u>1,074</u> 22,36	<u>0,176</u> 8,77	<u>0,025</u> 2,03	<u>0,769</u> 33,46
100-125	2,330		<u>0,024</u> 0,40	<u>0,741</u> 20,87	<u>0,639</u> 13,30	<u>0,067</u> 3,37	<u>0,018</u> 1,49	<u>0,683</u> 29,71
125-150	2,120		<u>0,067</u> 1,10	<u>0,679</u> 19,12	<u>0,559</u> 11,64	<u>0,065</u> 3,24	<u>0,016</u> 1,35	<u>0,627</u> 27,27
150-175	1,900		<u>0,067</u> 1,10	<u>0,612</u> 17,25	<u>0,535</u> 11,14	<u>0,057</u> 2,83	<u>0,015</u> 1,22	<u>0,585</u> 25,44
175-200	2,372		<u>0,061</u> 1,00	<u>0,737</u> 20,75	<u>0,628</u> 13,07	<u>0,073</u> 3,64	<u>0,020</u> 1,62	<u>0,680</u> 29,56
После второй промывки								
0-25	0,330	<u>0,003</u> 0,10	<u>0,079</u> 1,30	<u>0,075</u> 2,12	<u>0,060</u> 1,25	<u>0,004</u> 0,22	<u>0,001</u> 0,11	<u>0,102</u> 4,44
25-50	0,609	нет	<u>0,055</u> 0,90	<u>0,031</u> 0,87	<u>0,262</u> 5,45	<u>0,089</u> 4,07	<u>0,015</u> 1,22	<u>0,048</u> 2,43
50-75	0,869		<u>0,049</u> 0,80	<u>0,128</u> 3,68	<u>0,425</u> 8,85	<u>0,153</u> 7,66	<u>0,021</u> 1,77	<u>0,090</u> 3,90
75-100	2,450		<u>0,049</u> 0,80	<u>0,595</u> 16,75	<u>0,964</u> 20,07	<u>0,142</u> 7,10	<u>0,019</u> 1,61	<u>0,665</u> 28,91
100-125	1,757		<u>0,030</u> 0,50	<u>0,883</u> 24,87	<u>0,800</u> 16,66	<u>0,125</u> 6,22	<u>0,025</u> 2,05	<u>0,776</u> 33,76
125-150	1,502		<u>0,067</u> 1,10	<u>0,732</u> 20,62	<u>0,387</u> 8,06	<u>0,037</u> 1,83	<u>0,014</u> 1,17	<u>0,607</u> 26,38
150-175	1,757		<u>0,037</u> 0,60	<u>0,546</u> 15,37	<u>0,525</u> 10,93	<u>0,042</u> 2,11	<u>0,013</u> 1,05	<u>0,546</u> 23,74
175-200	1,502	<u>0,067</u> 1,10	<u>0,599</u> 16,89	<u>0,223</u> 4,64	<u>0,014</u> 0,72	<u>0,005</u> 0,39	<u>0,494</u> 21,50	
После третьей промывки								
0-25	0,146	нет	<u>0,040</u> 0,065	<u>0,031</u> 0,87	<u>0,026</u> 0,54	<u>0,018</u> 0,89	<u>0,004</u> 0,33	<u>0,019</u> 0,84
25-50	0,304		<u>0,030</u> 0,50	<u>0,028</u> 0,80	<u>0,153</u> 3,18	<u>0,044</u> 2,13	<u>0,013</u> 1,11	<u>0,028</u> 1,24

Окончание табл. 44

1	2	3	4	5	6	7	8	9
50–75	0,552	нет	<u>0.033</u> 0,55	<u>0.084</u> 2,37	<u>0.252</u> 5,25	<u>0.081</u> 4,07	<u>0.013</u> 1,11	<u>0.069</u> 2,99
75–100	0,661		<u>0.030</u> 0,50	<u>0.128</u> 0,68	<u>0.262</u> 5,45	<u>0.087</u> 4,07	<u>0.013</u> 1,11	<u>0.102</u> 4,45
100–125	1,785		<u>0.024</u> 0,40	<u>0.244</u> 6,87	<u>0.9</u> 19,11	<u>0.089</u> 4,44	<u>0.012</u> 1,00	<u>0.484</u> 21,04
125–150	1,805		<u>0.026</u> 0,42	<u>0.701</u> 19,75	<u>0.425</u> 8,85	<u>0.047</u> 2,33	<u>0.015</u> 1,22	<u>0.586</u> 25,45
150–175	2,125		<u>0.032</u> 0,52	<u>0.701</u> 19,75	<u>0.637</u> 13,26	<u>0.067</u> 3,33	<u>0.018</u> 1,50	<u>0.660</u> 28,70
175–200	2,520		<u>0.027</u> 0,45	<u>0.816</u> 23,00	<u>0.698</u> 14,53	<u>0.084</u> 4,22	<u>0.021</u> 1,72	<u>0.737</u> 32,04

Таблица 45

Дифференциация и сопряженность солевых масс при промывке почв с применением 10 т/га органо-минерального подкислителя (%/т/га)

Глубина, см	$\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$	$\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$	NaHCO_3	CaSO_4	MgSO_4	Na_2SO_4	NaCl	Сумма солей
1	2	3	4	5	6	7	8	9
До промывки								
0–25	<u>0.042</u> 1,30	нет	нет	<u>0.076</u> 2,36	<u>0.073</u> 2,26	<u>0.036</u> 1,12	<u>0.199</u> 37,17	<u>0.426</u> 44,21
25–50	<u>0.012</u> 1,41			<u>0.177</u> 5,93	<u>0.057</u> 1,91	<u>0.792</u> 26,53	<u>0.696</u> 56,82	<u>2.764</u> 92,60
50–75	<u>0.033</u> 1,24			<u>0.355</u> 13,31	<u>0.090</u> 3,38	<u>0.070</u> 40,13	<u>0.602</u> 60,08	<u>3.150</u> 118,14
75–100	<u>0.036</u> 1,33			<u>0.279</u> 10,32	<u>0.032</u> 1,18	<u>0.154</u> 42,70	<u>1.462</u> 54,09	<u>2.963</u> 109,62
100–125	<u>0.032</u> 1,14			<u>0.288</u> 10,22	<u>0.026</u> 0,92	<u>1.567</u> 55,63	<u>1.567</u> 55,63	<u>3.012</u> 106,93
125–150	<u>0.036</u> 1,30			<u>0.132</u> 4,75	<u>0.071</u> 2,56	<u>0.925</u> 33,30	<u>1.135</u> 53,16	<u>2.649</u> 95,37

Промывка почв с применением органо-минерального подкислителя

Продолжение табл. 45

1	2	3	4	5	6	7	8	9	
150–175	<u>0,049</u> 1,79	нет	нет	<u>0,050</u> 1,83	<u>0,058</u> 2,12	<u>0,648</u> 23,65	<u>1,486</u> 54,24	<u>2,291</u> 83,63	
175–200	<u>0,049</u> 1,81			<u>0,113</u> 4,18	<u>0,097</u> 3,59	<u>0,710</u> 26,27	<u>1,579</u> 58,42	<u>2,548</u> 94,27	
После первой промывки									
0–25	<u>0,054</u> 1,67	<u>0,020</u> 0,62	<u>0,020</u> 0,56	нет	нет	<u>0,142</u> 4,40	<u>0,512</u> 15,87	<u>0,746</u> 23,12	
25–50	<u>0,035</u> 1,17	нет	нет	<u>0,428</u> 14,34	<u>0,077</u> 2,58	<u>0,844</u> 28,27	<u>0,446</u> 14,94	<u>1,830</u> 61,30	
50–75	<u>0,028</u> 1,05			<u>0,371</u> 13,91	<u>0,065</u> 2,44	<u>1,028</u> 38,55	<u>0,431</u> 16,16	<u>1,923</u> 72,11	
75–100	<u>0,073</u> 2,70			<u>0,535</u> 19,80	<u>0,022</u> 0,81	<u>0,897</u> 33,19	<u>1,229</u> 45,47	<u>2,756</u> 101,97	
100–125	<u>0,032</u> 1,14			<u>0,202</u> 7,17	<u>0,089</u> 3,16	<u>0,628</u> 22,29	<u>1,221</u> 43,35	<u>2,172</u> 77,11	
125–150	<u>0,089</u> 3,20			<u>0,146</u> 5,26	<u>0,081</u> 2,92	<u>0,579</u> 20,84	<u>1,119</u> 40,28	<u>2,014</u> 72,50	
150–175	<u>0,089</u> 3,25			<u>0,118</u> 4,31	<u>0,073</u> 2,67	<u>0,582</u> 21,24	<u>1,009</u> 0,04	<u>1,862</u> 31,51	
175–200	<u>0,081</u> 0,50			<u>0,180</u> 6,67	<u>0,097</u> 0,36	<u>0,626</u> 2,32	<u>1,214</u> 4,49	<u>2,198</u> 8,14	
После второй промывки									
0–25	<u>0,018</u> 0,56	<u>0,008</u> 0,25	<u>0,082</u> 2,54	нет	нет	<u>0,089</u> 2,76	<u>0,124</u> 3,84	<u>0,326</u> 10,11	
25–50	<u>0,073</u> 2,56	нет	нет	<u>0,216</u> 7,56	<u>0,073</u> 2,56	<u>0,075</u> 2,56	<u>0,080</u> 2,80	<u>0,517</u> 18,09	
50–75	<u>0,065</u> 2,28			<u>0,467</u> 16,35	<u>0,106</u> 3,71	<u>0,016</u> 0,56	<u>0,215</u> 7,53	<u>0,869</u> 30,42	
75–100	<u>0,065</u> 2,41			<u>0,428</u> 15,84	<u>0,097</u> 3,59	<u>0,863</u> 31,93	<u>0,980</u> 36,26	<u>2,433</u> 90,02	
100–125	<u>0,041</u> 1,46			<u>0,389</u> 13,81	<u>0,123</u> 4,37	<u>0,631</u> 22,40	<u>0,455</u> 51,65	<u>2,639</u> 93,69	
125–150	<u>0,057</u> 2,05			<u>0,077</u> 2,77	<u>0,070</u> 2,52	<u>0,409</u> 14,72	<u>1,206</u> 43,42	<u>1,819</u> 65,48	
150–175	<u>0,049</u> 1,79			<u>0,103</u> 3,76	<u>0,063</u> 2,30	<u>0,594</u> 21,68	<u>0,899</u> 32,81	<u>1,708</u> 62,34	
175–200	<u>0,058</u> 2,15			<u>0,029</u> 1,07	нет	нет	<u>0,329</u> 12,17	<u>0,986</u> 36,48	<u>1,402</u> 51,87

Окончание табл. 45

1	2	3	4	5	6	7	8	9
После третьей промывки								
0–25	<u>0,053</u> 1,86	нет	нет	<u>0,016</u> 0,56	<u>0,018</u> 0,63	<u>0,014</u> 0,49	<u>0,049</u> 1,72	<u>0,150</u> 5,25
25–50	<u>0,041</u> 1,44			<u>0,111</u> 3,89	<u>0,067</u> 2,35	<u>0,031</u> 1,09	<u>0,047</u> 1,65	<u>0,297</u> 10,42
50–75	<u>0,045</u> 1,58			<u>0,239</u> 8,37	<u>0,067</u> 2,35	<u>0,044</u> 1,58	<u>0,139</u> 4,87	<u>0,535</u> 18,75
75–100	<u>0,041</u> 1,44			<u>0,243</u> 8,51	<u>0,067</u> 2,35	<u>0,055</u> 1,93	<u>0,215</u> 7,53	<u>0,621</u> 21,74
100–125	<u>0,033</u> 1,17			<u>0,275</u> 9,76	<u>0,060</u> 2,13	<u>0,299</u> 10,61	<u>0,402</u> 14,27	<u>1,074</u> 38,12
125–150	<u>0,034</u> 1,22			<u>0,130</u> 4,68	<u>0,074</u> 2,66	<u>0,407</u> 14,65	<u>1,155</u> 41,58	<u>1,800</u> 64,79
150–175	<u>0,042</u> 1,53			<u>0,190</u> 6,94	<u>0,090</u> 3,29	<u>0,636</u> 23,21	<u>1,155</u> 42,16	<u>2,113</u> 77,13
175–200	<u>0,036</u> 1,33			<u>0,256</u> 9,47	<u>0,104</u> 3,85	<u>0,642</u> 23,75	<u>1,345</u> 49,77	<u>2,383</u> 88,17

Примечание: при второй промывке на глубине 0–25 см и при третьей промывке на глубине 100–125 см образовался Na_2CO_3 .

Таблица 46

Изменение содержания солевых компонентов почвы при промывке с применением 20 т/га органо-минерального подкислителя (%/мэкв)

Глубина, см	Плотный остаток	CO_3	HCO_3	Cl	SO_4	Ca	Mg	Na+K
1	2	3	4	5	6	7	8	9
До промывки								
0–25	1,400	нет	<u>0,032</u> 0,52	<u>0,660</u> 18,60	<u>0,127</u> 2,64	<u>0,017</u> 0,86	<u>0,009</u> 0,76	<u>0,463</u> 20,14
25–50	3,294		<u>0,019</u> 0,32	<u>0,859</u> 24,20	<u>1,148</u> 23,91	<u>0,117</u> 5,83	<u>0,016</u> 1,36	<u>0,950</u> 41,31
50–75	2,178		<u>0,019</u> 0,32	<u>0,824</u> 23,20	<u>0,898</u> 18,70	<u>0,080</u> 4,00	<u>0,016</u> 1,30	<u>0,849</u> 36,93
75–100	2,846		<u>0,019</u> 0,32	<u>0,838</u> 23,60	<u>0,948</u> 19,75	<u>0,093</u> 4,64	<u>0,015</u> 1,19	<u>0,870</u> 37,84

Продолжение табл. 46

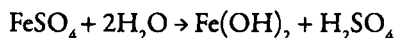
1	2	3	4	5	6	7	8	9
100–125	3,094	нет	<u>0,019</u> 0,32	<u>0,919</u> 25,90	<u>0,971</u> 20,22	<u>0,009</u> 4,86	<u>0,016</u> 1,30	<u>0,926</u> 40,28
125–150	3,330		<u>0,019</u> 0,32	<u>0,937</u> 26,40	<u>1,122</u> 23,37	<u>0,117</u> 5,83	<u>0,021</u> 1,73	<u>0,978</u> 42,53
150–175	3,064		<u>0,019</u> 0,32	<u>1,058</u> 29,80	<u>0,829</u> 17,27	<u>0,091</u> 4,54	<u>0,015</u> 1,19	<u>0,958</u> 41,67
175–200	3,100		<u>0,019</u> 0,32	<u>1,086</u> 30,60	<u>0,873</u> 18,18	<u>0,097</u> 4,86	<u>0,022</u> 1,84	<u>0,975</u> 42,40
После первой промывки								
0–25	0,280	нет	<u>0,064</u> 1,05	<u>0,057</u> 1,62	<u>0,062</u> 1,29	<u>0,003</u> 0,17	<u>0,001</u> 0,11	<u>0,085</u> 3,68
25–50	2,017		<u>0,030</u> 0,50	<u>0,089</u> 2,50	<u>1,165</u> 24,25	<u>0,176</u> 8,77	<u>0,016</u> 1,33	<u>0,394</u> 17,15
50–75	1,822		<u>0,027</u> 0,45	<u>0,395</u> 11,12	<u>0,664</u> 13,12	<u>0,064</u> 3,22	<u>0,011</u> 0,89	<u>0,489</u> 21,28
75–100	2,322		<u>0,024</u> 0,40	<u>0,701</u> 19,75	<u>0,690</u> 14,36	<u>0,098</u> 4,88	<u>0,020</u> 1,67	<u>0,643</u> 27,96
100–125	2,425		<u>0,024</u> 0,40	<u>0,834</u> 23,50	<u>0,562</u> 11,70	<u>0,089</u> 4,44	<u>0,022</u> 1,78	<u>0,676</u> 29,38
125–150	1,880		<u>0,027</u> 0,45	<u>0,701</u> 19,75	<u>0,386</u> 8,03	<u>0,047</u> 2,33	<u>0,013</u> 1,11	<u>0,570</u> 24,79
150–175	2,625		<u>0,021</u> 0,35	<u>0,989</u> 27,87	<u>0,674</u> 14,03	<u>0,144</u> 7,21	<u>0,033</u> 2,78	<u>0,742</u> 32,26
175–200	2,165		<u>0,019</u> 0,32	<u>0,821</u> 23,12	<u>0,395</u> 8,22	<u>0,064</u> 3,22	<u>0,019</u> 1,55	<u>0,618</u> 26,89
После третьей промывки								
0–25	0,300	нет	<u>0,030</u> 0,50	<u>0,062</u> 1,75	<u>0,099</u> 2,06	<u>0,011</u> 0,55	<u>0,003</u> 0,23	<u>0,081</u> 0,52
25–50	0,552	<u>0,003</u> 0,10	<u>0,037</u> 0,50	<u>0,018</u> 0,50	<u>0,222</u> 4,82	<u>0,009</u> 0,44	<u>0,003</u> 0,23	<u>0,118</u> 5,15
50–75	1,027	<u>0,001</u> 0,05	<u>0,032</u> 0,52	<u>0,057</u> 1,52	<u>0,506</u> 10,53	<u>0,002</u> 1,11	<u>0,005</u> 0,44	<u>0,257</u> 11,17

Окончание табл. 46

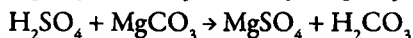
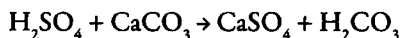
1	2	3	4	5	6	7	8	9
75–100	1,390	<u>0,001</u> 0,05	<u>0,032</u> 0,52	<u>0,080</u> 2,25	<u>0,699</u> 14,55	<u>0,044</u> 2,22	<u>0,009</u> 0,72	<u>0,332</u> 14,43
100–125	1,095	<u>0,003</u> 0,10	<u>0,021</u> 0,35	<u>0,142</u> 4,00	<u>0,440</u> 9,16	<u>0,022</u> 1,11	<u>0,005</u> 0,39	<u>0,278</u> 12,11
125–150	1,227	<u>0,003</u> 0,10	<u>0,027</u> 0,45	<u>0,275</u> 7,75	<u>0,401</u> 8,35	<u>0,024</u> 1,22	<u>0,005</u> 0,44	<u>0,345</u> 14,99
150–175	1,110	<u>0,003</u> 0,10	<u>0,027</u> 0,45	<u>0,330</u> 9,12	<u>0,356</u> 7,41	<u>0,017</u> 0,83	<u>0,005</u> 0,39	<u>0,365</u> 15,86
175–200	1,340	<u>0,003</u> 0,10	<u>0,027</u> 0,45	<u>0,330</u> 9,12	<u>0,380</u> 7,91	<u>0,022</u> 1,11	<u>0,007</u> 0,55	<u>0,366</u> 15,92

Примечание: при первой промывке на глубине 0-25 см образовался NaHCO_3 в количестве 0,065 % (2,02 т/га).

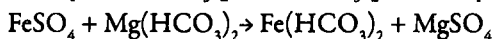
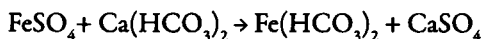
Как известно, действующим началом этого мелиоранта является серная кислота, высвободившаяся при гидролитическом расщеплении солей по следующей схеме:



При этом образованная свободная серная кислота, вступая в реакцию с щелочноземельными карбонатами почвы, образует вторичные соли сернокислого кальция и бикарбонатов:



Железистые соединения органо-минерального подкислителя определенную роль играют и в обменно-химической реакции с карбонатами кальция и магния почвы:



Таким образом, при внесении в почву органо-минерального подкислителя в результате обменно-химических реакций почвенная среда обогащается растворимыми вторичными солями

натрия и частично магния и кальция, которые при воздействии промывной водой подвергаются выщелачиванию.

О всем сказанном необходимое представление дает табл.45, из которой видно, что первая промывка ($4000 \text{ м}^3/\text{га}$) способствовала довольно сильному растворению и вымыванию таких солей, как NaCl . Из метрового слоя только NaCl вымылась 116 м/га . В несколько большем количестве ($1\,33,6 \text{ т/га}$) эта соль вымылась из слоя $1-2 \text{ м}$.

В результате воздействия сернокислого железа в полуметровом верхнем слое почвы после первой промывки накопилось 6 т/га сернокислого кальция и 5 т/га сернокислого натрия. При этом значительное увеличение Na_2SO_4 и полное исчезновение CaSO_4 и MgSO_4 в пахотном слое почвы, по-видимому, связано с происходящей обменной реакцией между катионами этих солей. Некоторое увеличение содержания $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ и NaHCO_3 в этом слое почвы вызвано, на наш взгляд, воздействием органо-минерального подкислителя. Положительное влияние его на содержание CaSO_4 отмечалось почти по всей исследованной толще почвогрунта (табл.46). В глубжележащих горизонтах отмечалось явное выщелачивание MgSO_4 и Na_2SO_4 .

Существенные изменения в отношении рассоления почвы произошли после второй промывки ($4\,000 + 4\,000 \text{ м}^3/\text{га}$), причем не только в поверхностных, но и в глубинных горизонтах почвы (рис. 12а), что указывает на сквозное промачивание почвы промывной водой. В среднем в верхнем метровом слое содержание солей уменьшилось примерно наполовину. Значительным рассолением была охвачена и глубжележащая толща почвы. Из второго метрового слоя по плотному остатку было вымыто $0,21\%$ солей, по SO_4 — $0,11\%$ и по $\text{Na} + \text{K}$ — $0,04\%$.

При второй промывке главная масса солей была удалена из почвы за счет более растворимого хлористого натрия. Содержание его только в верхнем полуметровом слое почвы уменьшилось на $0,377\%$ (с $0,479$ до $0,102\%$), или на 24 т/га . В слое $0,5-1,0 \text{ м}$ количество NaCl сократилось на $0,233\%$.

В верхнем метровом слое несколько уменьшилось содержание сернокислого кальция и повысилось количество сернокислого магния (табл.46). Na_2SO_4 подвергся сильному выщелачиванию.

Достаточно отметить, что его содержание в слое 0,1 м уменьшилось на 0,47 %. Содержание NaHCO_3 в слое 0–25 см увеличилось более чем в четыре раза, а значение других солей бикарбонатов значительно уменьшилось (табл. 46). Примечательно, что при второй промывке в поверхностном горизонте почвы появилось небольшое количество Na_2CO_3 (0,005%).

Заметное рассоление почвы отмечалось во втором метровом слое, где главным образом произошло выщелачивание сернокислых солей, особенно Na_2SO_4 (табл. 46).

Третья промывка продолжала выщелачивание солей в верхних горизонтах почвы (рис. 12 а). При этом метровый слой почвы по плотному остатку опреснился до порога токсичности. Сильное рассоление коснулось таких компонентов, как Cl , $\text{Na} + \text{K}$ и SO_4 . Почва нейтрализовалась также по щелочам (CO_3 и HCO_3).

Второй метровой слой при третьей промывке являлся как бы слоем солевой аккумуляции, где по плотному остатку накопилось 0,176% солей. Однако количество выщелаченных солей из верхних горизонтов в 6–7 раз превышало эту сумму. Отмеченное указывает на то, что третья промывка в сильной степени выщелачивала соли не только из верхнего метрового слоя, но и из всей исследованной двухметровой толщи почвы. Это подтверждается данными и по солевым компонентам и по отдельным солям.

Следует отметить, что при третьей промывке почва полностью освободилась от таких вредных солей, как Na_2CO_3 , NaHCO_3 , а также от $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$. Сильно были выщелочены $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ и MgSO_4 .

Положительное воздействие этого мелиоранта подтверждается также данными по интенсивности выщелачивания солевых масс.

Из представленного графика (рис. 13 а) видно, что интенсивность выщелачивания солевых масс подчинялась прямолинейному характеру изменения. По количеству же хлора для второго полуметрового слоя наблюдалось обратное явление. Интенсивность выщелачивания солей по этому показателю уменьшалась по мере увеличения промывной нормы воды. Это явление, по-видимому, связано с тем, что хлор как более легкоподвижный компонент в основном подвергался выщелачиванию при первой промывке.

Интересно отметить, что во втором метровом слое главная масс солей была вымыта при второй промывке (89% от суммы выщелоченных солей по плотному остатку и 99% по хлору).

На выщелачивание 1 т солей из метрового слоя почвы в этом варианте опыта потребовалось 93,7 м³/га воды по плотному остатку и 166,6 м³/га по хлору, что примерно соответствует результатам промывки с применением 40 т/га гипса или 20 т/га гипса + 40 т/га навоза. 1 м³ воды выщелачивал из метрового слоя почвы 10,7 кг/га солей по плотному остатку и 6,0 т/га по хлору.

Внесенная в почву доза органо-минерального подкислителя положительно воздействовала и на водный режим почвы. В слое 0–25 см фильтрация воды по сравнению с исходными данными увеличилась в три раза (с 1,05 до 3,20 см³/мин). В слое 25–50 см этот показатель почвы увеличился почти в 2,5 раза (с 1,01 до 2,48 см³/мин). Приведенные данные дают

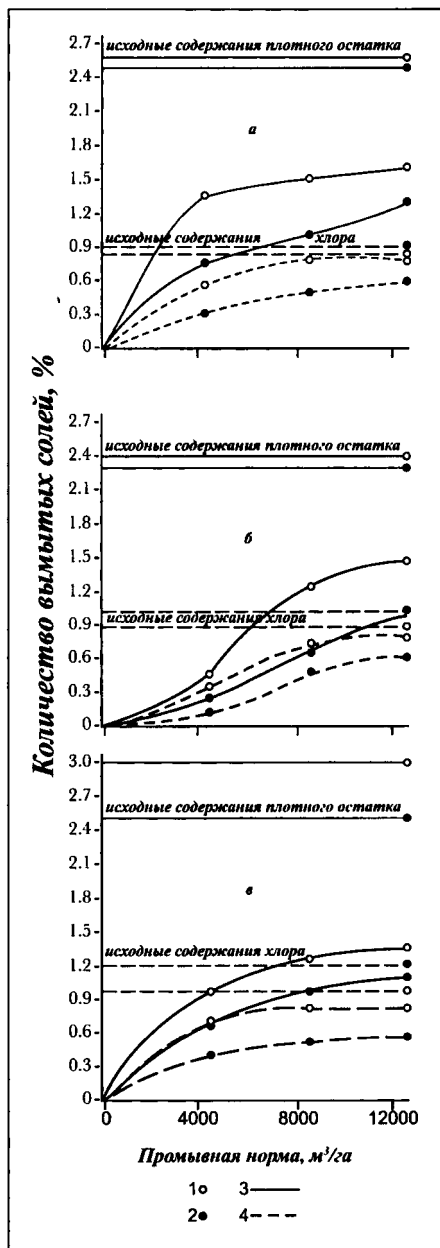


Рис. 13

основание не согласиться с предположениями А.П.Розова (1956), В.И.Чиквишвили (1971) и др. о том, что при промывке солонцов-солончаков применение серно-кислых солей железа и алюминия может оказать неблагоприятное влияние на водопроницаемость и фильтрацию почвы.

Производительность почвы была также высокой. Урожайность зерна риса с каждого гектара составила 20,1 ц, что по сравнению с обычной промывкой (промывка водой) на 21% больше. Резкое повышение урожайности отмечалось по культуре ячменя, выращенного после уборки риса. Урожай зерна достиг 20,4 ц/га, что на 70% больше, чем в варианте промывки только водой. После ячменя почва использовалась под культуру хлопчатника, давшего с каждого гектара 16,7 ц хлопка-сырца при контроле (промывка водой) 11,6 ц или на 51 % больше (рис.13).

Все это убедительно свидетельствует об эффективном воздействии применяемого мелиоранта в дозе 10 т/га на повышение солеотдачи, улучшение водных свойств и повышение производительности почвы.

Промывка почв с внесением 20 т/га органо-минерального подкислителя

По характеру солеотдачи почвы данного варианта существенно отличались от предыдущего. Здесь пахотный слой опреснялся до порога токсичности при первой же промывке. Содержание плодного остатка уменьшилось с 1,40 до 0,28%, а хлора — с 0,66 до 0,06% (более чем в 10 раз). Резкое вымывание отмечалось по SO_4 и другим катионам (табл.46). Однако содержание общей щелочности увеличилось почти в 2 раза. Повышение содержания NaCO_3 отмечалось также в глубжележащих горизонтах. Причину этого явления, как уже было сказано, мы связываем с образованием вторичных солей бикарбонатов при воздействии внесенного мелиоранта.

Первая промывка способствовала рассолению не только пахотного слоя, но и всей исследованной толщи почвогрунта. При этом только из верхнего метрового слоя почвы в среднем было удалено 0,95% солей по плотному остатку, из которых около 0,5% падает на долю хлор-иона, а 0,38% — на долю $\text{Na}+\text{K}$. В содержании сульфат иона значительных изменений не произошло.

С большой интенсивностью вымылись соли в слое 1–2 м, где содержание плотного остатка снизилось на 0,87%, причем в отличие от слоя 0–1 м здесь выщелачивание произошло главным образом за счет SO_4 и $\text{Na}+\text{K}$ (табл.46).

Первая промывка освободила пахотный слой почвы от сернокислых солей кальция и магния. В среднем для верхнего метрового слоя запасы CaSO_4 увеличились на 3,68 т/га, а MgSO_4 наоборот, уменьшилось на 1,16 т/га. Значительное опреснение почвы отмечалось по Na_2SO_4 , запасы которого в метровом слое почвы уменьшились на 31,6 т/га. В большом количестве Na_2SO_4 был вынесен из второго метрового слоя почвы (более чем 90 т/га, со 139,2 до 49,0 т/га). Здесь выщелачивание сернокислых солей отмечалось также по CaSO_4 , а содержание MgSO_4 несколько увеличилось (табл.47).

Таблица 47

Дифференциация и сопряженность солевых масс при промывке почвы с применением 20 т/га органо-минерального подкислителя (%/т/га)

Глубина, см	$\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$	$\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$	CaSO_4	MgSO_4	Na_2SO_4	NaCl	Na_2CO_3	Сумма солей
1	2	3	4	5	6	7	8	9
До промывки								
0–25	<u>0,042</u> 1,30	нет	<u>0,023</u> 0,71	<u>0,045</u> 1,40	<u>0,109</u> 3,38	<u>1,088</u> 33,73	нет	<u>1,307</u> 40,52
25–50	<u>0,025</u> 0,84		<u>0,374</u> 12,53	<u>0,078</u> 2,61	<u>1,123</u> 40,64	<u>1,416</u> 47,44		<u>3,106</u> 104,06
50–75	<u>0,025</u> 0,94		<u>0,251</u> 9,41	<u>0,078</u> 2,93	<u>0,973</u> 36,49	<u>1,358</u> 50,93		<u>2,685</u> 100,70
75–100	<u>0,025</u> 0,93		<u>0,293</u> 10,84	<u>0,070</u> 2,59	<u>1,010</u> 37,37	<u>1,381</u> 51,10		<u>2,779</u> 102,83
100–125	<u>0,025</u> 0,89		<u>0,309</u> 10,97	<u>0,078</u> 2,77	<u>1,021</u> 36,25	<u>1,515</u> 53,78		<u>2,948</u> 104,66
125–150	<u>0,025</u> 0,90		<u>0,374</u> 13,46	<u>0,104</u> 3,74	<u>1,145</u> 41,22	<u>1,544</u> 55,58		<u>3,192</u> 114,90

1	2	3	4	5	6	7	8	9
150-175	<u>0,025</u> 0,91	нет	<u>0,286</u> 10,44	<u>0,071</u> 10,44	<u>0,071</u> 2,59	<u>0,842</u> 30,73	нет	<u>2,967</u> 108,29
175-200	<u>0,025</u> 0,93		<u>0,309</u> 11,43	<u>0,110</u> 4,07	<u>0,837</u> 30,07	<u>1,790</u> 66,23		<u>3,071</u> 113,63
После первой промывки								
0-25	<u>0,017</u> 0,53	<u>0,008</u> 0,25	нет	<u>0,092</u> 2,85	<u>0,092</u> 2,85	<u>0,095</u> 2,95	нет	<u>0,227</u> 8,60
25-50	<u>0,041</u> 1,37	нет	<u>0,562</u> 18,83	<u>0,080</u> 2,68	<u>1,040</u> 34,84	<u>0,094</u> 3,15		<u>1,817</u> 60,87
50-75	<u>0,036</u> 1,35		<u>0,188</u> 7,05	<u>0,053</u> 1,99	<u>0,721</u> 27,04	<u>0,651</u> 24,41		<u>1,649</u> 61,84
75-100	<u>0,032</u> 1,18		<u>0,305</u> 11,29	<u>0,100</u> 3,70	<u>0,583</u> 21,57	<u>1,155</u> 42,74		<u>2,175</u> 80,48
100-125	<u>0,032</u> 1,14		<u>0,275</u> 9,76	<u>0,107</u> 3,80	<u>0,417</u> 14,80	<u>1,375</u> 48,81		<u>2,206</u> 78,31
125-150	<u>0,036</u> 1,30		<u>0,128</u> 4,61	<u>0,067</u> 2,41	<u>0,358</u> 12,89	<u>1,155</u> 41,58		<u>1,744</u> 62,79
150-175	<u>0,028</u> 1,02		<u>0,467</u> 17,05	<u>0,167</u> 6,10	<u>0,312</u> 11,39	<u>1,630</u> 59,50		<u>2,604</u> 95,06
175-200	<u>0,026</u> 0,96		<u>0,197</u> 7,29	<u>0,093</u> 3,44	<u>0,268</u> 9,92	<u>1,353</u> 50,06		<u>1,937</u> 71,67
После третьей промывки								
0-25	<u>0,036</u> 1,12	нет	<u>0,003</u> 0,09	<u>0,014</u> 0,43	<u>0,126</u> 3,91	<u>0,102</u> 3,16	нет	<u>0,281</u> 8,71
25-50	<u>0,036</u> 1,21	<u>0,012</u> 0,40	нет	<u>0,004</u> 0,13	<u>0,323</u> 10,82	<u>0,029</u> 0,97	<u>0,005</u> 0,17	<u>0,409</u> 13,70
50-75	<u>0,042</u> 1,58	нет	<u>0,040</u> 1,50	<u>0,026</u> 0,98	<u>0,674</u> 25,28	<u>0,094</u> 3,53	<u>0,003</u> 0,11	<u>0,879</u> 32,98
75-100	<u>0,042</u> 1,55		<u>0,116</u> 4,29	<u>0,043</u> 1,59	<u>0,861</u> 31,86	<u>0,132</u> 4,88	<u>0,003</u> 0,11	<u>1,197</u> 44,28
100-125	<u>0,028</u> 0,99		<u>0,051</u> 1,81	<u>0,024</u> 0,85	<u>0,568</u> 20,16	<u>0,234</u> 8,31	<u>0,005</u> 0,18	<u>0,910</u> 32,30
125-150	<u>0,036</u> 1,30		<u>0,052</u> 1,87	<u>0,026</u> 0,94	<u>0,507</u> 18,25	<u>0,453</u> 16,31	<u>0,005</u> 0,18	<u>1,079</u> 38,85
150-175	<u>0,036</u> 1,31		<u>0,026</u> 0,95	<u>0,023</u> 0,84	<u>0,472</u> 17,23	<u>0,534</u> 19,49	<u>0,005</u> 0,18	<u>1,096</u> 40,00
175-200	<u>0,036</u> 1,33		<u>0,045</u> 1,67	<u>0,033</u> 1,22	<u>0,476</u> 17,61	<u>0,534</u> 19,76	<u>0,005</u> 0,19	<u>1,129</u> 41,78

Примечание: при первой промывке на глубине 0-25 см образовался NaHCO_3 в количестве 0,065 % (2,02 т/га).

Если повышение при первой промывке общей щелочности в поверхностном горизонте почвы способствовало образованию вторичных солей — $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$ и $\text{Na}(\text{HCO}_3)_3$, то в глуболежащих горизонтах оно привело к увеличению количества $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$. Довольно показательные данные получены по NaCl , содержание которого сократилось по всей исследованной толще почвогрунта. Запасы этой соли в слое 0–1 м уменьшились на 110 т/га, а в слое 1–2 м — на 39 т/га.

Вторая промывка продолжала рассоление почвы, причем рассолением была охвачена вся исследуемая глубина почвы. В верхнем метровом слое процесс рассоления почвы по сравнению со вторым метром протекал с меньшей интенсивностью (рис. 12 б). Более существенное выщелачивание произошло на глубине 75–100 см. Количество выщелоченных солей из верхнего метрового слоя составило в среднем 0,22%, или 31 т/га по плотному остатку и 0,13%, или 19 т/га, по хлору.

Сильное выщелачивание солей произошло из второго метрового слоя почвы. Здесь общее количество вымытых солей составило 1,61% по плотному остатку и 0,97% по хлору, а в среднем для характеризуемого слоя — соответственно: 0,41 и 0,24%. Таким образом, выщелачивание из второго метрового слоя почвы в основном произошло за счет более подвижных компонентов или солей. В результате второй промывки из двухметровой толщи почвогрунта было удалено 118 т/га солей по плотному остатку и 54 т/га по хлору*.

Резкое выщелачивание солей произошло при третьей промывке. Содержание плотного остатка в слое 0–0,5 м уменьшилось более чем наполовину. Соли по плотному остатку удалились на 0,87% из слоя 0,5–1,0 м и на 1,1% из слоя 1–2 м. Содержание общей щелочности уменьшилось ниже порога токсичности по всему профилю почвогрунта. Довольно резко был вынесен хлор. Оставшееся после третьей промывки количество его в верхнем метровом слое в среднем составило 0,055%. В этом же слое наполовину уменьшилось содержание $\text{Na}+\text{K}$ и почти настолько же со-

* Приводятся данные только сокращенных анализов (в девятикратной повторности). Данные полных анализов утеряны.

держание SO_4 . Количество Ca и Mg понизилось до ничтожной величины (табл. 46).

В слое 25–200 см в количестве 0,003–0,005% появился вторичная соль Na_2CO_3 . Из бикарбонатных солей были вымыты из почвы $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$ и NaHCO_3 , однако в слое 25–50 см все же отмечалось накопление $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$, а NaHCO_3 был удален полностью из исследованной толщи почвогрунта. В профиле почвы в небольшом количестве увеличилось содержание $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$.

При третьей промывке в поверхностном горизонте почвы, хотя и незначительно, но появились соли CaSO_4 и MgSO_4 . Заметно увеличилось значение Na_2SO_4 (табл. 47), а в нижележащих горизонтах исследованной толщи почвы CaSO_4 и MgSO_4 были удалены довольно резко.

Если отмеченный характер дифференциации солей для верхних горизонтов можно объяснить сильным воздействием промывной воды при положительном влиянии внесенного мелиоранта, то для глубоких горизонтов он связан с эффективным расходованием двухвалентных катионов сернокислых солей (в результате обменной реакции) на внедрение в почвенно поглощающий комплекс и вытеснение из него поглощенного натрия в почвенный раствор при одновременном значительном вымывании из почвы воднорастворимого натрия. Об этом свидетельствует удаление из исследованной толщи почвогрунта хлористого натрия. В слое 0–1 м из оставшихся 73 т/га NaCl 61 т/га была удалена при третьей промывке. Из второго метрового слоя количество вымытого NaCl составило 136 т/га (табл. 47).

Таким образом, результаты удвоенной дозы органо-минерального подкислителя еще раз подтверждают весьма положительное влияние применяемого мелиоранта на повышение солеотдачи характеризующихся почв. Интересные данные получены по интенсивности выщелачивания солевых масс. Из метровой толщи почвы было вымыто в среднем 1,77% солей или 71,9% их исходному содержанию. Если это количество принять за 100%, то оказывается, что 55,7% этой суммы было удалено при первой, 13,5% — при второй и 30,8% — при третьей промывке. 1 м³ воды способствовал выносу 11,9 кг/га солей. На выщелачивание 1 т солей понадобилось 83,2 м³/га воды, т.е. на 10,5 м³/га меньше, чем при дозе 10

т/га. На рассоление почвы до порога токсичности требуется всего 22–25 тыс. м³/га воды, т.е. в четыре раза меньше, чем при промывке почвы только водой.

Положительное воздействие применяемого мелиоранта на повышение солеотдачи характеризуемых почв проявилось также в улучшении водных свойств почвы. Фильтрация воды увеличилась с 1,06 до 3,51 см³/мин в слое 0–25 см и с 0,70 до 3,64 см³/мин в слое 25–50 см.

Существенно улучшилась также производительность почвы. Урожай зерна риса достиг 22,1 ц/га при 16,6 ц/га в условиях промывки только водой, т.е. увеличился на 33%. Это на 12% больше, чем в предыдущем варианте. Значительный урожай — 21,4 т/га — отмечался также по культуре ячменя, что оказалось на 86% больше по сравнению с контролем. На 70% повысился урожай хлопчатника (18,8 против 11,6 ц/га). Следовательно, появление в небольшом количестве соды при третьей промывке не оказало отрицательного действия на рост, развитие и урожайность выращенных культур. Это объясняется тем, что промытые почвы в первый год использовали под посевы риса. После затопления его почва подверглась дальнейшему рассолению и тем самым удалению из почвы определенного количества солей, в том числе соды. Подобное явление (в условиях промывки натриевых солончаков), т.е. повышение щелочности при промывке, не отразившееся на урожае хлопчатника, наблюдалось в свое время в опытах В.С. Малыгина (1913) на Золотоордынской опытной станции.

Как видим, эффект от внесения органо-минерального подкислителя, содержащего главным образом соли железа и алюминия, по сравнению с промывкой водой огромен и не ниже, чем от внесения гипса или его сочетания с навозом, при которых обнаруживались весьма хорошие результаты.

Промывка почв с внесением

40 т/га органо-минерального подкислителя

Как видно из представленных данных (рис. 12 в и табл.48), первая промывка привела к совершенно различным результатам. По сокращенным данным, определяемым в девяти повторных образцах, верхние горизонты при первой промывке подверглись

резкому рассолению, но в глубинных горизонтах запасы их заметно увеличились (рис.12 в). Однако по данным полных анализов, в почвенной толще произошло обратное явление, т.е. первая промывка не только не рассолила верхние горизонты почвы, а, наоборот, способствовала некоторому вторичному засолению их. А в нижних горизонтах произошло существенное рассоление почвы (табл.48). На первый взгляд это явление кажется противоречивым и недостоверным, однако мы его считаем вполне нормальным. Его легко объяснить, если учесть, что перед промывкой в почву был внесен в большой дозе (40 т/га) органо-минеральный подкислитель, содержащий в большом количестве гидролитически кислые соли Fe и Al, действующим началом которых, как известно, является серная кислота, высвободившаяся при гидролитическом расщеплении солей. В результате обменно-химической реакции серной кислоты с сравнительно труднорастворимыми солями карбонатов и бикарбонатов кальция и магния почвенная среда обогатилась растворимыми вторичными солями сульфатов натрия, магния и кальция.

Вместе с тем наряду с общим повышением содержания солей при первой промывке отмечалось значительное выщелачивание из верхних горизонтов легкорастворимых солей. Как видно из табл. 48, содержание солей по плотному остатку в слое 0–1 м при первой промывке увеличилось в среднем на 0,225%, тогда как содержание только SO_4 -иона увеличилось на 0,738%, т.е. более чем в три раза. Почти в два раза увеличилось содержание Ca (на 0,1%). Однако это полностью покрывается выщелоченным количеством из верхнего метрового слоя Cl-иона. Содержание этого компонента здесь уменьшилось на 0,521%, или почти в 3 раза. На 0,084% уменьшилось содержание Na+K. Таким образом, первая промывка способствовала накоплению более инертных компонентов солей и выщелачиванию легкоподвижных компонентов. В этом отношении весьма показательны данные по дифференциации и сопряженности солевых масс. Как видно из табл. 49, при первой промывке в верхнем метровом слое почвы образовались вторичные соли: Na_2SO_4 — 0,772%, или 105,4 т/га, и Ca SO_4 — 0,338%, или 44 т/га. Однако NaCl подвергся сильно-му вымыванию (на 0,735%, или 109,5 м/га). Это еще раз убеждает

в том, что верхние горизонты характеризуемой почвы, несмотря на образование вторичных солей при первой промывке, подверглись явному выщелачиванию. Причем образование вторичных солей также надо рассматривать как положительный факт. Если одна из этих солей — CaSO_4 , служащая при первой промывке активнорействующим мелиорантом, в последующих промывках будет способствовать усилению процесса обменной реакции в почве и тем самым улучшению водных свойств, чем намного ускорит процесс солеотдачи почвы, то вторая — Na_2SO_4 , удаляемая при дальнейших промывках из верхних горизонтов почвы, будет способствовать предотвращению ее образования впоследствии.

Обращает на себя внимание характер солеотдачи нижних горизонтов почвы при первой промывке.

Таблица 48

Изменение содержания солевых компонентов при промывке почвы с применением 40 т/га органо-минерального подкислителя (%/мэкв)

Глубина, см	Плотный остаток	CO_3	HCO_3	Cl	SO_4	Ca	Mg	Na+K
1	2	3	4	5	6	7	8	9
До промывки								
0–25	1,580	нет	<u>0,049</u> 0,80	<u>0,522</u> 14,70	<u>0,452</u> 9,41	<u>0,084</u> 4,21	<u>0,028</u> 2,27	<u>0,424</u> 18,43
25–50	2,002		<u>0,039</u> 0,64	<u>0,841</u> 23,70	<u>0,403</u> 8,39	<u>0,102</u> 6,08	<u>0,031</u> 2,59	<u>0,576</u> 25,06
50–75	2,312		<u>0,034</u> 0,56	<u>0,973</u> 27,40	<u>0,418</u> 8,71	<u>0,134</u> 6,70	<u>0,039</u> 3,24	<u>0,615</u> 26,73
75–100	2,358		<u>0,037</u> 0,60	<u>0,902</u> 25,40	<u>0,589</u> 12,27	<u>0,167</u> 8,32	<u>0,047</u> 3,88	<u>0,600</u> 26,07
100–125	2,672		<u>0,039</u> 0,64	<u>0,873</u> 24,60	<u>0,761</u> 15,85	<u>0,184</u> 9,18	<u>0,038</u> 3,13	<u>0,662</u> 28,78
125–150	2,340		<u>0,041</u> 0,68	<u>0,802</u> 22,60	<u>0,735</u> 15,31	<u>0,106</u> 5,29	<u>0,035</u> 2,92	<u>0,699</u> 30,38
150–175	2,310		<u>0,039</u> 0,64	<u>0,792</u> 22,30	<u>0,670</u> 13,96	<u>0,125</u> 6,26	<u>0,037</u> 3,03	<u>0,635</u> 27,61
175–200	2,042		<u>0,046</u> 0,76	<u>0,763</u> 21,50	<u>0,493</u> 10,27	<u>0,091</u> 4,54	<u>0,022</u> 1,83	<u>0,602</u> 26,16

Продолжение табл. 48

1	2	3	4	5	6	7	8	9
После первой промывки								
0-25	1,675	нет	<u>0,043</u> 0,70	<u>0,093</u> 2,26	<u>1,014</u> 21,12	<u>0,216</u> 10,78	<u>0,027</u> 2,20	<u>0,263</u> 11,46
25-50	2,270		<u>0,043</u> 0,70	<u>0,222</u> 6,25	<u>1,276</u> 26,73	<u>0,231</u> 11,55	<u>0,032</u> 2,64	<u>0,448</u> 19,49
50-75	2,312		<u>0,040</u> 0,65	<u>0,311</u> 8,75	<u>1,199</u> 24,97	<u>0,236</u> 11,77	<u>0,032</u> 2,64	<u>0,459</u> 19,96
75-100	2,892		<u>0,043</u> 0,70	<u>0,528</u> 14,87	<u>1,326</u> 27,61	<u>0,205</u> 10,23	<u>0,027</u> 2,20	<u>0,707</u> 30,75
100-125	2,018		<u>0,049</u> 0,80	<u>0,670</u> 18,87	<u>0,595</u> 12,39	<u>0,101</u> 5,06	<u>0,024</u> 1,98	<u>0,575</u> 25,02
125-150	1,862		<u>0,046</u> 0,75	<u>0,621</u> 17,50	<u>0,537</u> 11,18	<u>0,075</u> 3,74	<u>0,020</u> 1,65	<u>0,553</u> 24,04
150-175	1,751		<u>0,052</u> 0,86	<u>0,506</u> 14,25	<u>0,595</u> 12,97	<u>0,060</u> 2,97	<u>0,015</u> 1,21	<u>0,536</u> 23,31
175-200	1,978		<u>0,055</u> 0,90	<u>0,577</u> 16,25	<u>0,482</u> 10,04	<u>0,053</u> 2,64	<u>0,016</u> 1,32	<u>0,534</u> 23,23
После второй промывки								
0-25	0,408	нет	<u>0,044</u> 0,72	<u>0,082</u> 2,30	<u>0,135</u> 2,81	<u>0,012</u> 0,62	<u>0,005</u> 0,45	<u>0,109</u> 4,76
25-50	0,976		<u>0,037</u> 0,60	<u>0,121</u> 3,40	<u>0,491</u> 10,22	<u>0,039</u> 1,96	<u>0,010</u> 0,80	<u>0,264</u> 11,46
50-75	1,830		<u>0,029</u> 0,48	<u>0,082</u> 2,30	<u>1,124</u> 23,41	<u>0,155</u> 7,74	<u>0,012</u> 0,98	<u>0,402</u> 17,47
75-100	1,984		<u>0,049</u> 0,80	<u>0,156</u> 4,40	<u>1,122</u> 23,37	<u>0,158</u> 7,88	<u>0,024</u> 1,98	<u>0,431</u> 18,74
100-125	2,114		<u>0,041</u> 0,68	<u>0,280</u> 7,90	<u>1,080</u> 22,50	<u>0,136</u> 6,80	<u>0,025</u> 2,00	<u>0,513</u> 22,32
125-150	1,684		<u>0,032</u> 0,52	<u>0,504</u> 14,20	<u>0,538</u> 11,20	<u>0,084</u> 4,18	<u>0,016</u> 1,34	<u>0,469</u> 20,40
150-175	1,278		<u>0,039</u> 0,64	<u>0,430</u> 12,10	<u>0,332</u> 6,91	<u>0,037</u> 1,87	<u>0,004</u> 0,36	<u>0,401</u> 17,42
175-200	1,648		<u>0,034</u> 0,56	<u>0,618</u> 17,40	<u>0,399</u> 8,31	<u>0,062</u> 3,11	<u>0,016</u> 1,34	<u>0,502</u> 21,82
После третьей промывки								
0-25	0,346	нет	<u>0,076</u> 1,24	<u>0,096</u> 2,70	<u>0,052</u> 1,08	<u>0,009</u> 0,43	<u>0,001</u> 0,11	<u>0,103</u> 4,48

Окончание табл. 48								
1	2	3	4	5	6	7	8	9
25-50	0,438	0,10 0,32	0,127 2,08	0,071 2,00	0,094 1,96	0,006 0,32	0,001 0,11	0,136 5,93
50-75	1,148	нет	0,059 0,96	0,053 1,50	0,641 13,35	0,043 2,16	0,005 0,43	0,304 13,22
75-100	1,176		0,041 0,68	0,280 7,90	0,445 9,27	0,036 1,78	0,006 0,53	0,357 15,54
100-125	1,780		0,034 0,56	0,607 17,10	0,483 10,06	0,089 4,45	0,021 1,69	0,496 21,58
125-150	2,004		0,029 0,48	0,295 8,31	1,020 21,24	0,108 5,39	0,021 1,69	0,517 22,47
150-175	2,072		0,034 0,56	0,323 9,11	1,097 22,85	0,144 7,21	0,026 2,15	0,533 23,16
175-200	2,310		0,039 0,64	0,792 22,30	0,670 13,96	0,125 6,26	0,037 3,03	0,636 27,61

Как в верхнем горизонте, так и здесь главная масса солей вымылась по NaCl (52,4 м/га). Соли CaSO_4 , вымылись на 27,7 т/га и MgSO_4 — на 10,5 т/га, что способствовало частичному образованию в почве Na_2SO_4 (16,6 т/га).

Вторая промывка продолжала активное вымывание солей по всему профилю почвы. При этом довольно сильное рассоление произошло в верхней толще почвы, особенно в ее первом метровом слое (рис. 12 в), где по плотному остатку количество солей уменьшилось в среднем на 0,988%, из которых 0,179% падает на долю хлора, 0,483% — на долю сульфатов и 0,174% — $\text{Na}+\text{K}$. Довольно сильному вымыванию подвергся также Ca (0,132%). Содержание магния уменьшилось более чем наполовину (табл. 48).

Из солевых соединений в основном были выщелочены NaCl (0,30%, или 44 т/га) и CaSO_4 (0,550%, или 67 т/га). На 0,083% (или 11 м/га) уменьшилось количество MgSO_4 . Однако содержание Na_2SO_4 продолжало оставаться высоким (0,710%) в характерном слое почвы. Вместе с тем и эта соль подверглась существенному выщелачиванию (16 т/га). Отмечалось небольшое уменьшение содержания $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$ и незаметное образование $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$ (табл. 49).

Таблица 49

Дифференциация и сопряженность солевых масс при промывке почвы с применением 40 т/га органо-минерального подкислителя (%/т/га)

Глубина, см	Ca (HCO ₃) ₂	Mg (HCO ₃) ₂	NaHCO ₃	CaSO ₄	MgSO ₄	Na ₂ SO ₄	NaCl	Сумма солей
1	2	3	4	5	6	7	8	9
До промывки								
0–25	<u>0,065</u> 2,02	нет	нет	<u>0,232</u> 7,19	<u>0,136</u> 4,22	<u>0,265</u> 8,22	<u>0,860</u> 26,66	<u>1,558</u> 46,31
25–50	<u>0,052</u> 1,74			<u>0,302</u> 10,12	<u>0,155</u> 5,19	<u>0,096</u> 3,22	<u>0,958</u> 32,09	<u>1,563</u> 52,36
50–75	<u>0,044</u> 1,65			<u>0,418</u> 15,68	<u>0,154</u> 5,78	нет	<u>1,564</u> 58,65	<u>2,212</u> 82,96
75–100	<u>0,048</u> 1,78			<u>0,525</u> 19,43	<u>0,233</u> 8,62	<u>0,047</u> 1,74	<u>1,486</u> 64,98	<u>2,339</u> 86,55
100–125	<u>0,052</u> 1,85			<u>0,581</u> 20,63	<u>0,188</u> 6,67	<u>0,297</u> 10,54	<u>1,439</u> 51,09	<u>2,557</u> 90,78
125–150	<u>0,056</u> 2,02			<u>0,313</u> 11,27	<u>0,175</u> 6,30	<u>0,552</u> 19,87	<u>1,322</u> 47,59	<u>2,418</u> 87,05
150–175	<u>0,052</u> 1,90			<u>0,382</u> 13,94	<u>0,181</u> 6,61	<u>0,377</u> 13,76	<u>1,305</u> 47,63	<u>2,297</u> 83,84
175–200	<u>0,061</u> 2,26			<u>0,257</u> 9,51	<u>0,110</u> 4,07	<u>0,331</u> 12,25	<u>1,257</u> 46,51	<u>2,016</u> 74,60
После первой промывки								
0–25	<u>0,057</u> 1,77	нет	нет	<u>0,685</u> 21,24	<u>0,132</u> 4,09	<u>0,628</u> 19,47	<u>0,153</u> 4,74	<u>1,655</u> 51,31
25–50	<u>0,057</u> 1,91			<u>0,738</u> 24,72	<u>0,158</u> 5,29	<u>0,940</u> 31,49	<u>0,366</u> 12,26	<u>2,259</u> 75,68
50–75	<u>0,053</u> 1,99			<u>0,756</u> 26,36	<u>0,158</u> 5,93	<u>0,800</u> 30,00	<u>0,512</u> 19,20	<u>2,279</u> 85,46
75–100	<u>0,057</u> 2,11			<u>0,648</u> 23,98	<u>0,132</u> 4,88	<u>1,128</u> 41,74	<u>0,900</u> 33,30	<u>2,865</u> 106,01
100–125	<u>0,065</u> 2,31			<u>0,300</u> 10,65	<u>0,119</u> 4,23	<u>0,437</u> 15,51	<u>1,104</u> 39,19	<u>2,025</u> 71,89
125–150	<u>0,061</u> 2,20			<u>0,203</u> 7,31	<u>0,099</u> 3,56	<u>0,464</u> 16,70	<u>1,024</u> 36,86	<u>1,851</u> 66,64
150–175	<u>0,069</u> 2,42			<u>0,144</u> 5,04	<u>0,073</u> 2,56	<u>0,643</u> 22,51	<u>0,834</u> 29,19	<u>1,763</u> 61,72

Промывка почв с применением органо-минерального подкислителя

(Окончание табл. 49)

1	2	3	4	5	6	7	8	9
175-200	<u>0,073</u> 2,70	нет	нет	<u>0,118</u> 4,27	<u>0,079</u> 2,92	<u>0,496</u> 18,35	<u>0,951</u> 35,19	<u>1,717</u> 63,53
После второй промывки								
0-25	<u>0,050</u> 1,55	<u>0,007</u> 0,22	нет	нет	<u>0,022</u> 0,68	<u>0,175</u> 5,43	<u>0,135</u> 4,19	<u>0,389</u> 12,07
25-50	<u>0,049</u> 1,64	нет		<u>0,093</u> 3,12	<u>0,048</u> 1,61	<u>0,572</u> 19,16	<u>0,199</u> 6,67	<u>0,961</u> 32,20
50-75	<u>0,039</u> 1,46			<u>0,484</u> 18,53	<u>0,059</u> 2,21	<u>1,077</u> 40,39	<u>0,134</u> 5,03	<u>1,803</u> 67,62
75-100	<u>0,065</u> 2,41			<u>0,481</u> 17,80	<u>0,119</u> 4,40	<u>0,016</u> 37,59	<u>0,257</u> 9,51	<u>1,938</u> 71,71
100-125	<u>0,055</u> 1,95			<u>0,416</u> 14,77	<u>0,124</u> 4,40	<u>1,017</u> 36,10	<u>0,462</u> 16,40	<u>2,074</u> 73,62
125-150	<u>0,042</u> 1,51			<u>0,249</u> 8,96	<u>0,080</u> 2,88	<u>0,440</u> 15,84	<u>0,831</u> 29,92	<u>1,642</u> 59,11
150-175	<u>0,052</u> 1,90			<u>0,084</u> 3,07	<u>0,022</u> 0,80	<u>0,378</u> 13,80	<u>0,708</u> 25,84	<u>1,244</u> 45,41
175-200	<u>0,045</u> 1,67			<u>0,173</u> 6,40	<u>0,080</u> 2,96	<u>0,314</u> 11,62	<u>1,018</u> 37,87	<u>1,630</u> 60,32
После третьей промывки								
0-25	<u>0,035</u> 1,09	<u>0,008</u> 0,25	<u>0,059</u> 1,83	нет	нет	<u>0,077</u> 2,39	<u>0,158</u> 4,90	<u>0,337</u> 10,45
25-50	<u>0,026</u> 0,87	<u>0,008</u> 0,27	<u>0,139</u> 4,66			<u>0,139</u> 4,66	<u>0,117</u> 3,92	<u>0,446</u> 14,94
50-75	<u>0,078</u> 2,93	нет	нет	<u>0,082</u> 3,08	<u>0,026</u> 0,98	<u>0,832</u> 31,20	<u>0,088</u> 3,30	<u>1,106</u> 41,48
75-100	<u>0,055</u> 2,04			<u>0,075</u> 2,78	<u>0,032</u> 1,18	<u>0,542</u> 19,95	<u>0,462</u> 17,09	<u>1,166</u> 43,14
100-125	<u>0,045</u> 1,60			<u>0,265</u> 9,41	<u>0,101</u> 3,59	<u>0,318</u> 41,19	<u>1,000</u> 35,50	<u>1,729</u> 61,28
125-150	<u>0,039</u> 1,40			<u>0,334</u> 12,02	<u>0,101</u> 3,64	<u>1,039</u> 37,40	<u>0,458</u> 16,49	<u>1,971</u> 70,96
150-175	<u>0,045</u> 1,64			<u>0,452</u> 16,50	<u>0,129</u> 4,71	<u>0,998</u> 36,43	<u>0,523</u> 19,46	<u>2,157</u> 78,73
175-200	<u>0,052</u> 1,92			<u>0,382</u> 14,13	<u>0,182</u> 6,73	<u>0,377</u> 13,95	<u>1,305</u> 48,29	<u>2,298</u> 85,03

Примечание: В слое 50-75 см до промывки содержалось 0,032% или 1,2 м/га $MgCl_2$, а после третьей промывки в слое 25-50 см появился Na_2CO_3 в количестве 0,017% (0,57 т/га)

Во втором метровом слое исследованной толщи почвы и при второй промывке отмечалось значительное рассоление.

В результате второй промывки из двухметровой толщи почвогрунта было выщелочено 160 т/га солей, из которых 74,6% т/га составил NaCl , 12 т/га — Na_2SO_4 и 13 т/га — MgSO_4 . Сильному вымыванию подвергся и CaSO_4 (61,2 т/га).

Значительное количество солей вымылось и при третьей промывке. Среднее значение выщелоченных солей из верхнего метрового слоя составило 0,522% от оставшегося после второй нормы воды количества солей (рис. 12 в).

Значение SO_4 резко сократилось не только в верхнем. Но и во втором полуметровом слое почвы. В слое 0–1 м количество этого компонента уменьшилось в среднем более чем наполовину (с 0,721 до 0,308%). По $\text{Na}+\text{K}$ отмечалось обратное явление. Содержание их в полуметровом верхнем слое почвы несколько увеличилось, а в слое 0,5–1,0 м заметно уменьшилось. Довольно сильно были вымыты Ca и Mg . А в отношении HCO_3 наблюдалось сильное подщелачивание верхних горизонтов почвы. В слое 25–30 см отмечалось даже появление небольшого количества CO_3 -иона (табл. 48).

Второй метровый слой почвы, за исключением HCO_3 -иона, по всем показателям водной вытяжки характеризовался накоплением солей (табл. 48).

Как видно из табл. 49, верхний полуметровый слой почвы полностью освободился от сернокислых солей кальция и магния. Количество Na_2SO_4 сократилось почти на 0,3%, или 17,6 т/га. На 0,03% этот слой почвы освободился от NaCl . Заметно снизилось содержание $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$. Однако в характеризуемом слое появились новые соли: Na_2CO_3 (в слое 25–50 см — 0,017%) и NaHCO_3 . Несколько повысилось содержание $\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$. Все это, безусловно, связано с полным отсутствием в данном слое таких нейтрализующих солей, как CaSO_4 и MgSO_4 . Резкий вынос этих солей отмечался также в слое 0,5–1,0 м, где содержание только CaSO_4 уменьшилось в среднем на 0,410%, или 23,4 т/га. После промывки в этом слое почвы осталось всего 0,078% (2,9 т/га) CaSO_4 при 0,472 % (35,1 т/га) в исходной почве. Содержание хлористого натрия сократилось на 5,5 т/га, а Na_2SO_4 — на 26,8 т/га. По остальным соединениям отмечалось небольшое увеличение количества

солей (табл. 49). Все это указывает на неблагоприятное соотношение солевых масс в верхнем метровом слое почвы при третьей промывке. Полное отсутствие в верхнем полуметровом слое CaSO_4 и MgSO_4 и резкое уменьшение содержания этих солей во втором метровом слое почвы, по-видимому, следует объяснить довольно сильным повышением отношения $\text{Na}:\text{Ca}+\text{Mg}$ в этих слоях почв (табл. 48, 49).

В глубже лежащих горизонтах почвы соотношение солевых масс относительно нормализовалось. В слое 1–2 м повышение общего запаса солей протекало главным образом за счет увеличения количества CaSO_4 и MgSO_4 (табл. 49).

Анализ интенсивности выщелачивания солевых масс показал, что для верхнего метрового слоя почвы соли по плотному остатку вымылись соответственно на 52; 18 и 30% (рис. 13 в). На выщелачивание 1 т солей из верхнего метрового слоя понадобилось по плотному остатку $104,3 \text{ м}^3/\text{га}$ и по хлору — $137,9 \text{ м}^3/\text{га}$ воды. 1 м^3 воды выщелачивал из характеризуемого слоя почвы $9,6 \text{ кг}/\text{га}$ солей по плотному остатку и $7,2 \text{ кг}/\text{га}$ по хлору.

Изменение физико-химических свойств почвы. Как уже было отмечено, внесение в почву органо-минерального подкислителя, содержащего главным образом сернокислосое железо, способствует образованию CaSO_4 и MgSO_4 , которые в свою очередь вступают в реакцию с почвой и принимают участие в ее рассолонцевании.

Как видно из табл. 50, промывка почвы с внесением органо-минерального подкислителя в размере $40 \text{ т}/\text{га}$ в слое 0–64 см способствовала полному рассолонцеванию почвы. В верхнем (9 см) слое, поглощенный Na был вымыт полностью. В значительной степени уменьшалось также содержание поглощенного кальция. Все это позволяет допустить возможность фиксации железа в почвах обменно-химическим и коллоидно-химическим путем, о чем свидетельствуют и данные других исследователей.

Так, В.И.Воронин (1972), изучая влияние содержания гумуса, механического и минералогического состава, а также сопутствующих катионов на поглощение Fe, Ca, Mg, K и др., обнаружил, что поглощение Fe сопровождается вытеснением Mg из его обменных позиций и из кристаллической решетки.

Таблица 50

Изменение физико-химических и водных свойств
при промывке почвы с применением 40 т/га
органо-минерального подкислителя (до/после промывки)

Глубина, см	Гумус, %	CaCO_3 по CO_2 , %	Лимс, %	Поглощенные катионы, %				pH, %	HCO_3 , %	Коэф. дисперсности	Водопроницаемость, мм/мин			
				Amount of meq	Ca	Mg	Na				1-10 мин	1-ый час	6-ой час	Среднее за 6 часов
0-9	1,50 1,67	16,54 16,78	0,740 0,164	29,17 52,13	80,87 72,34	12,27 27,66	6,86 0,00	8,1 7,8	0,045 0,060	17,67 11,19	3,1 4,7	0,6500 1,300	0,0333 0,1000	0,1611 0,3250
9-23	1,03 1,15	16,54 17,26	0,740 0,362	29,17 44,37	80,87 65,58	12,27 31,51	6,86 4,91	8,1 7,8	0,083 0,049	20,96 19,16				
23-43	0,71 0,80	15,86 17,08	0,272 0,230	27,60 50,59	62,54 66,50	29,49 28,68	7,99 4,82	7,2 7,9	0,073 0,050	23,64 22,53				
43-64	0,50 0,58	15,86 17,17	0,272 0,384	26,56 50,88	74,93 69,05	16,79 26,08	8,28 4,87	8,00 7,9	0,069 0,052	22,40 24,56				
64-82	0,50 0,50	17,45 17,99	0,337 0,459	26,52 46,90	74,84 59,57	16,89 31,90	8,27 8,53	8,0 7,9	0,063 0,058	14,60 25,90				
82-106	0,50 0,49	17,45 17,92	0,308 0,450	25,31 42,72	68,28 53,89	20,66 31,51	11,06 14,60	8,2 8,2	0,066 0,059	30,30 24,97				
106-117	-	16,54 15,65	0,219 0,748	-	-	-	-	-	-	-				

Matsumoto Satoshi, Wada Hidenori, Takai Iasuo (1972), исследовавшие механизм адсорбции в почве железа, вымываемого из затопленного поверхностного слоя, установили, что Fe^{2+} , вынесенное из верхнего горизонта после одного дня затопления, почти полностью адсорбировалось в почве.

В.Т.Ченг, G.J.Quellette, S.J.Bourget (1972) обнаружили, что в инкубированных образцах тяжелосуглинистой минеральной почвы повышение влажности от воздушно-сухого состояния до 200%-ной полевой влагоемкости обуславливает увеличение обменного железа в 14 раз. Аналогичное явление наблюдалось В.И.Савичем (1970), который заметил, что при увеличении влажности почвы (при прочих равных условиях), в почвенный поглощающий комплекс легче входят многовалентные катионы.

Н.В. Лешуковой и Л.В.Рыжовой (1973), производившими вычисление констант ионного обмена между Na или Mg катиона КУ-2 и катионами различных мелиорантов (Ca или Fe), было установлено, что энергия поглощения катионов зависит от влажности системы. По интенсивности воздействия на ионообменные процессы они расположили исследованные мелиоранты в следующий ряд: CaCl_2 , гипс, фосфагипс, FeSO_4 , дефегат, мел.

Внесение в почву в больших дозах органо-минерального подкислителя способствовало значительному повышению емкости поглощения (табл.50), что, возможно, связано с некоторым увеличением в почве количества органических веществ, содержащихся (4,1%) во внесенном в почву мелиоранте. Этим же, по-видимому, следует объяснить и некоторое увеличение содержания поглощенного Mg, величина поглощения которого во многом зависит от содержания в почве органического вещества, пленки которого, покрывая поверхность глинистых минералов, уменьшают адсорбцию Mg. По pH и HCO_3 отмечалось заметное изменение в сторону нейтрализации почвы (табл. 50).

Изменение агрофизических свойств почв. Внесение в почву при промывке органо-минерального подкислителя способствовало значительному агрегированию (табл. 51) и улучшению дисперсности почвы (табл. 50). Это вызвано тем, что железо как высоковалентный катион с высоким электрокинетическим потенциалом в качестве ионного и коллоидного электролита

дегидратирует гидрофильные почвенные коллоиды и тем самым улучшает агрофизические свойства почвы. Кроме того, улучшение структурности почвы при внесении органо-минерального подкислителя связано с тем, что железистое соединение, как отмечают исследователи, нейтрализуя щелочную реакцию почвы, создает условия для образования активных форм кальция, магния и железа. Эти катионы, седиментируя почвенные коллоиды, способствуют формированию водопрочных микроагрегатов и снижают коэффициент дисперсности почвы.

Таблица 51

Изменение микроагрегатного состава почвы при промывке с применением 40 т/га органо-минерального подкислителя (до/после промывки, % к сухой почве)

Глубина, см	Величина фракции, мм						
	1-0,25	0,25-0,05	0,05-0,01	0,01-0,005	0,005-0,001	<0,001	<0,01
0-9	0,65 2,96	11,796 20,60	71,96 53,64	7,72 13,24	2,16 5,60	6,02 3,96	15,90 22,80
9-23	0,65 0,88	11,49 2,86	71,76 77,96	7,72 8,90	2,16 1,40	6,02 8,00	15,90 18,30
23-43	0,78 0,08	22,24 3,98	59,80 78,68	8,08 7,44	1,80 0,90	7,30 8,92	17,18 17,26
43-64	0,78 0,28	2,86 0,68	59,80 81,52	8,08 6,96	1,80 1,68	7,30 8,88	17,18 17,52
64-82	0,31 0,28	5,83 0,24	78,00 82,04	9,12 7,96	1,24 0,84	5,50 8,64	15,86 17,44
82-106	0,18 0,67	1,64 5,25	81,52 78,72	9,36 5,92	2,20 2,00	5,10 7,44	16,66 15,36

Уменьшение коркообразования, твердости корки, дисперсности а также повышение количества водопрочных агрегатов путем применения сернокислого железа в каштановых солончаках было обнаружено в лабораторных опытах Н.П.Попова, Г.И.Неретина и А.И.Еськова (1969).

Интересная работа по выявлению роли продуктов гидролиза железа в агрегировании почв проведена A.V.Властоге (1973). Сравнивая агрегирующий эффект и прочность агрегирования диспергированных глин в растворах FeCl_3 в различных стадиях его гидролиза, он обнаружил, что наиболее прочные агрегаты получаются тогда, когда глины находятся в контакте с ранними продуктами гидролиза. Это дало ему основание сделать предположение, что в этой стадии положительно заряженные (кенически промежуточные ионы) гидроокиси прилипают к поверхности глин, образуя ядра для последующей концентрации. Глины, смешанные с гелеобразными осадками (конечными стадиями гидролиза), в опытах A.V.Властоге агрегировались непрочно, а объединение этих двух фаз создавало агрегаты особенно устойчивые.

Промывка почвы с внесением органо-минерального подкислителя значительно увеличило фильтрацию воды в почве. В лабораторных условиях фильтрация воды в поверхностном (25 см) слое увеличилась с 1,18 до 2,91 $\text{см}^3/\text{мин}$, а в слое 25–50 см — с 0,92 до 3,00 $\text{см}^3/\text{мин}$. В полевых условиях 10-минутная фильтрация составила 47 мм, что на 16 мм больше, чем в исходной почве. За первый час фильтровалось 78 мм воды, за второй — 14 мм, а в последующие часы количество профильтровавшейся воды снижалось до 6 мм. Установившаяся скорость фильтрации воды составила 0,1000 мм/мин, что в три раза превышает исходную величину, или в 20 раз больше, чем при промывке почвы без применения химических мелиорантов.

Производительность почвы свидетельствует о положительном воздействии внесенного в почву мелиоранта. Урожай риса составил 20,8 ц/га, или на 25% больше, чем при промывке только водой. На 83% (9,6 ц/га) увеличился урожай ячменя при общей урожайности его 21,1 ц/га. Урожай хлопчатника составил 16,9 ц/га, или на 53% выше, чем при промывке почвы только водой.

Таким образом, все сказанное говорит о весьма положительном действии органо-минерального подкислителя при промывке на повышение солеотдачи, улучшение физико-химических, водно-физических свойств и производительности почвы. Однако из испытанных доз этого мелиоранта мы отдаем предпочтение дозе 20 т/га. Эта доза по всем показателям оказалась наилучшей.

Повышение дозы органо-минерального подкислителя до 40 т/га по ряду показателей оказалось менее эффективным, чем 2 предыдущие, что ясно видно из данных (табл. 52). При этом особенно обращают на себя внимание данные по водопроницаемости почвы и урожайности сельскохозяйственных культур, по которым органо-минеральный подкислитель в дозе 20 т/га оказался наиболее эффективным.

Благоприятное воздействие сернокислого железа на качество почв с солонцовыми признаками установлено многими исследователями. В работах И.А.Власюка, Н.П.Матвийко (1972), А.Н.Оборина, В.З.Таскаевой, В.И.Каменьщиковой (1972) подчеркивается положительная роль FeSO_4 на урожайность сахарной свеклы, пшеницы, зеленой массы кукурузы и донника и отмечалось, что этот реагент несколько не уступает действию гипса. По данным А.Постникова и В.Кобзева (1971) влияние железного купороса на увеличение урожайности сена сорго и зерна озимой ржи оказалось значительно выше, чем гипса и хлористого кальция. В исследованиях И.Преттенхофере (1971) урожайность пшеницы, благодаря применению FeSO_4 , увеличилась на 250%.

В литературе отмечается и обратное действие железистых соединений на урожайность растений. А.М.Elgalo (1971) в вегетативном опыте на суглинистой карбонатной и песчанной почвах изучал рост кукурузы при внесении в почву Fe в дозе 5 мг/кг или опрыскивании на фоне полного удобрения и установил, что урожай кукурузы и белковость ее повышаются при применении хелата и особенно при опрыскивании раствором, содержащим 1 000 мг/кг Fe-ЕДДНА. По данным этого автора, FeSO_4 быстро окислялся или выпадал в осадок и действие его оказалось слабее.

В работах Л.М.Колесникова (1972) и Л.И.Васильевой (1972) при окультивировании солонцов Донбасса отмечалось, что FeSO_4 не оказывает существенного влияния на урожай, что по мнению авторов, связано с отрицательным действием его на накопление нитратов и с превращением подвижных форм фосфатов в почве в труднорастворимые.

Некоторые противоречивые результаты обнаружены и в отношении эффективности действия сернокислого железа на водопроницаемость почв.

Таблица 52
Основные показатели результатов промывки почв с применением органо-минерального подкислителя

Варианты промывки с применением органо-минерального подкислителя (ОМП)	Солесодатча почв в слое 0-1 м, плотн.остаток хлора				Водопроница- емость почв. мм/мин I/IV час	Урожайность культур урожай ц/га Прибавка, %		
	Исходное (допромывное) засоление, т/га	Удалено солей	Расход воды на вышеуказывание 1 т солей, м³/га	Вышеуказено солей 1 м³ воды, кг/га		Рис	Ячмень	Хлопчат- ник
ОМП - 10 т/га	315 104	128 72	40,63 68,23	93,7 166,6	10,7 6,0	20,1 21	20,4 70	16,7 51
ОМП - 20 т/га	324 102	143 87	44,13 86,49	83,2 137,9	11,9 7,2	22,1 33	21,4 86	18,8 70
ОМП - 40 т/га	296 123	125 87	42,23 70,73	104,3 214,3	2,6 4,7	20,8 25	21,1 83	16,9 53

Еще в 30-е годы А.П.Розов (1936) указывал, что химическая мелиорация солонца быстро осуществляется при обработке его трехвалентными катионами, вносимыми в почву, например, в форме железного купороса или квасцов. Однако после такой мелиорации в некоторых случаях наблюдались отрицательные явления в виде понижения фильтрации и подавления биологической деятельности почв, что потребовало дальнейшего исследования в этой области. Но даже убедившись на основании имеющихся материалов в громадном эффекте действия солей железа и алюминия на мелиорацию солонцовых засоленных почв, А.П.Розов (1956) все же продолжал опасаться возможного вредного действия коллоидных гидратов на фильтрационные свойства почв. Такие опасения по поводу вредного влияния гидролитически кислых солей Fe и Al высказывает и В.И.Чхиквишвили (1971).

Однако многочисленные опыты как в Советском Союзе, так и за рубежом убедительно доказывают положительный эффект солей Fe и Al в повышении водопроницаемости почв.

В исследованиях Greilich Joachim, Kleinhempel Dieter (1972) показано положительное влияние солей Fe и Al даже на оптическую плотность гумусовых веществ и повышение их микробиологической устойчивости. Н.М.Ел.Раях и D.L.Ел.Rowell (1973), изучая действие гидроокислей железа и алюминия на разбухание Na — монтмориллонита и на водопроницаемость почв, насыщенных Na, установили, что внесение гидроокислей Fe и Al в солонцовую почву несколько увеличивает водопроницаемость почвы за счет оструктуривающего эффекта R_2O_3 .

В вегетационных опытах с применением железного купороса было выявлено, что $FeSO_4$ в размере 50% от расчетной нормы повышает коэффициент фильтрации несколько выше (0,0076 м/сутки), чем дозы 75% (0,0072 м/сутки) или 25% (0,0043 м/сутки). В наших полевых производственных опытах органо-минеральный подкислитель содержащий 78% железитых соединений ($FeSO_4$ и $Fe_2(SO_4)_3$), в дозе 20 т/га больше повысил водопроницаемость почв (0,1102 мм/мин), чем в дозе 10 т/га (0,0664 мм/мин) и 40 т/га (0,1000 мм/мин).

Таким образом, приведенные факты о различных воздействиях сернокислого железа дают нам основание сделать следующий

вывод. Вещества, содержащие соли Fe и Al, при промывке должны вноситься в почвы в такой дозе, которая могла бы оказаться достаточной для нейтрализации щелочности, активизирования кальциевых солей, а также образования из карбонатов вторичных солей, активно действующих в обменно-коллоидных реакциях почв. В дозах, превышающих эту потребность, гидролитически кислые соли Fe и Al действительно могут оказывать неблагоприятное влияние на водопроницаемость и другие мелиоративные свойства почв путем выпадения в осадок и закупоривания почв.

ГЛАВА X

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПОВЫШЕНИЮ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИЕМОВ МЕЛИОРАЦИИ ЗАСОЛЕННЫХ ПОЧВ С НИЗКОЙ СОЛЕОТДАЧЕЙ

Как стало известно, большая часть низменностей Азербайджана занята засоленными почвами, нуждающимися в коренной мелиорации. Это способствовало широкому развитию здесь мелиоративных работ. В настоящее время большая территория мелиоративных массивов республики в достаточной степени обеспечена оросительной водой, коллекторно-дренажной сетью и на значительной площади этих массивов осуществлена промывка почв. Все это резко увеличило площадь орошаемых земель, значительно повысило плодородие почв и урожайность сельскохозяйственных культур.

Однако в республике сохранилось еще много засоленных земель, требующих безотлагательных мер по их скорейшему оздоровлению. Среди них большие площади занимают почвы, трудно поддающиеся мелиорации.

Анализ почвенно-природных условий низменности Азербайджана показал, что трудность мелиорации большинства засоленных почв республики вызвано главным образом довольно сложными почвенно-мелиоративными условиями характеризующего региона. Поэтому при мелиорации засоленных почв в Азербайджане мероприятия по оздоровлению почв и повышению плодородия их должны согласовываться с природными условиями. При этом как основная задача выдвигается необходимость проектирования и осуществления углубленно-разработанных систем мелиоративных мероприятий и дифференцированного подхода к мелиорации отдельных геоморфологических и почвенно-мелиоративных регионов.

Как показало исследование отдельных типов почв, лишь на очень небольшой территории низменностей Азербайджана можно ограничиться применением обычной промывки (только водой) на фоне коллекторно-дренажной сети и добиться нужного эффекта от мелиорации. Такими могут оказаться почвы привершинной зоны и частично зоны выклинивания грунтовых вод речных конусов выноса. Для остальных же территорий низменностей Азербайджана, в частности для засоленных почв делювиально-пролювиальных равнин, шлейфов речных конусов выноса и аллювиальных равнин (участки затухания современной аккумуляции и межгрядных понижений) этих мероприятий будет недостаточно для практического оздоровления земель. Коренная мелиорация засоленных земель этих массивов требует разработки таких систем мелиоративных мероприятий, которые были бы направлены, прежде всего, на резкое улучшение физико-химических и водно-физических свойств почв и способствовали значительному повышению эффективности промывки и ускорению оздоровления и освоения засоленных земель.

Для повышения эффективности промывки трудномелиорированных солончаков многие исследователи рекомендуют утащение коллекторно-дренажной сети (до 200–300, а иногда и до 100 м) и резкое увеличение нормы промывки (до 70–100 тыс. м³/га). Однако, как усматривается из анализа результатов многолетних полевых производственных и экспериментальных опытов, эти мероприятия не оказались кардинальными в повышении эффективности промывки засоленных почв с низкой самоотдачей. Нельзя забывать, что если почвы не фильтруют воду или фильтруют ее довольно слабо, то всякое увеличение нормы промывной воды да и ступение дренажной сети никак не сможет ускорить процесса рассоления почвы. При подачи повышенной нормы промывной воды большая часть ее, не профильтровавшись, испаряется с поверхности. Обилие воды в этом случае не только не обеспечит рассоление почвы, но, наоборот, способствует реставрации засоления, сильному затягиванию срока оздоровления засоленных почв, ненужному расходованию оросительной воды. И главное, все это резко удорожает стоимость мелиоративных работ.

В результате многолетних исследований и обобщения литературных материалов, мы установили, что трудность промывки засоленных почв делювиальных и аллювиальных равнин, а также шлейфов речных конусов выноса связана, с одной стороны, с наличием высокой солонцеватости, а с другой — с тяжелым механическим составом и высокой дисперсностью и незначительной водоотдачей. В силу этого при промывке в почву впитывается лишь незначительная часть поданной воды. Вследствие набухания почв впитывание воды в почву быстро прекращается, что сильно осложняет солеудаление. Обо всем этом свидетельствуют экспериментальные данные производственных опытов. Установлено, что обычная промывка (промывка только водой) засоленных почв с низкой солеотдачей слабо действует на рассоление почв. Выщелачивание солей происходит главным образом в верхнем полуметровом слое почвы. Причем рассоляется лишь около 25% общего содержания солей. Степень выщелачивания вредных солей оказывается еще меньше (около 1% от их суммы), и выщелачивание происходит в основном за счет более растворимых хлористых солей. Вымывание солей отмечается преимущественно при первой промывке. Вторая и третья промывки как по плотному остатку, так и по отдельным солям существенно увеличивают запасы их в поверхностных горизонтах почв. На выщелачивание 1 т солей требуется более 400 м³/га воды, что составляет норму промывки около 120 тыс.м³/га. На впитывание в почву такого количества воды обычно требуется около 8–10 лет, причем производительность таким образом промытых почв все же остается низкой. Урожай гороха кормового (зеленая масса) составляет 35,7 ц/га, ячменя — 5,7, хлопчатника — 3,05 ц/га. И хотя применение удобрения (N₉₀, P₉₀, 10 т/га навоза) резко увеличивает урожай этих культур (горох кормовой — 74,2, ячмень — 11,5, хлопчатник — 7,8 ц/га), абсолютное значение их все же оказывается невысоким.

Таким образом, учитывая неудовлетворительные результаты промывки почв только водой, мы сочли необходимым разработать такие способы промывки, которые были бы направлены на устранение неблагоприятных явлений, резкое ускорение срока и удешевление стоимости мелиорации засоленных почв с низкой солеотдачей.

Многолетние лабораторные и полевые экспериментальные исследования показали, что эффективным способом может быть промывка на фоне применения химических мелиорантов, способствующих путем обменной реакции и коагуляции тонкодисперсных фракции резкому улучшению физико-химических и водно-физических свойств, а следовательно, достаточному повышению солотдачи почв.

В качестве химических мелиорантов при промывке почв нами испытывались: гипс, его сочетание с навозом, отработанная серная кислота, а также комплексный органо-минеральный подкислитель и органо-гипсовая смесь.

В результате экспериментов с разными дозами мелиорантов установлено, что промывки с их применением во многом способствуют улучшению мелиоративных свойств засоленных почв с низкой солотдачей. При этом результаты воздействия каждого мелиоранта и дозы его оказались разными.

Выявлено, что гипсование при промывке оказывает большое влияние на улучшение физико-химических и водно-физических свойств почв. При этом в профиле почвы заметно увеличивается содержание карбонатов и сернокислого кальция. На 5–20% увеличивается содержание поглощенного кальция и до порога токсичности уменьшается содержание поглощенного натрия. Значительно увеличивается количество структурообразующих частиц (фракции более 0,01 мм), а количество физической глины и илистой фракции из микроагрегатного состава, наоборот, заметно уменьшается. Все это в свою очередь способствует резкому сокращению коэффициента дисперсности почвы (в слое 70 см — от 42–62 до 6 — 12%). Резко повышается коэффициент водонепроницаемости почвы (по сравнению с промывкой только водой более чем в 13 раз). Все это создает весьма благоприятные условия для лучшего и быстрого выщелачивания легкорастворимых солей, особенно вредных, довольно небольшим количеством воды. На выщелачивание 1 т солей расходовалось 82–95 м³/га воды.

Воздействие гипсования при промывке отразилось и на производительности почв. С этих участков урожай хлопчатника с гектара составил 20–22 ц, а гороха кормового — 135–143 ц, что в несколько раз превысило урожайные данные при промывке только водой.

Среди испытанных доз гипса (10, 20, 40 т/га) наилучшей оказалась доза 10 т/га. Применение этой дозы при промывке способствовало наибольшему удалению солей из метровой толщи почв при наименьшем расходе промывной воды. По эффективности повышения солеотдачи при промывке почвы остальные дозы гипса можно поставить в следующем убывающем порядке: 10 т/га, 20 т/га, 40 т/га.

Довольно эффективным приемом не только для быстрого удаления солей из почвы с низкой солеотдачей, но и для резкого улучшения физико-химических, агрофизических свойств и наилучшей производительности почвы оказалось совместное применение гипса и навоза при промывке.

На выщелачивание 1 м солей из метрового слоя почвы расходовалось наименьшее количество воды — 45–68 м³/га. В метровом слое почвы рассолились до порога токсичности от вредных солей (NaCl, Na₂SO₄ и др.) при наименьшей норме воды (14–18 тыс. м³/га). Это было достигнуто благодаря резкому улучшению физико-химических и водно-физических свойств почв. Значительно увеличилось число водопрочных агрегатов, чему способствовало резкое увеличение в почвенно-поглощающем комплексе содержания поглощенного кальция и уменьшение поглощенного натрия. В 2–3 раза увеличилась глубина просачивания промывных вод и в 9–30 раз коэффициент водопроницаемости почвы в слое 0–1 м. Урожайность хлопчатника составила 25 ц/га, гороха кормового — 185 ц/га. Более 30 ц/га собрано зерна риса и 24 ц/га ячменя. При этом наилучшие результаты получены при промывке — внесением 10 т/га гипса и 40 т/га навоза.

Промывки с применением серной кислоты по сравнению с предыдущими мелиорантами оказались малоэффективными в отношении выщелачивания засоленных почв с низкой солеотдачей. Характер и интенсивность выщелачивания солевых масс здесь очень близки ходу и интенсивности выщелачивания при промывке только водой. Так, если количество всех выщелоченных солей за период промывки с применением серной кислоты принять за 100%, то обнаруживается, что в слоях 0–0,5 и 0–1 м эта сумма солей была полностью вымыта при первой промывке, а при второй и третьей промывках содержание солей по плотному остатку

в характеризующихся слоях соответственно увеличилось на 37,8–3,1 и на 43,5–9,4%. Следовательно, если 1 м³ воды при первой промывке способствовал вымыванию из полуметрового и метрового верхних слоев почвы соответственно 27,5 и 47,2 кг/га солей, то это же количество воды при третьей промывке восстановило их содержание на 0,86 и 0,95 кг/га. Здесь на выщелачивание 1 т солей потребовалось наибольшее количество воды (98–115 м³/га по плотному остатку и 167–208 м³/га по хлору). Как показали анализы собранных фактических материалов, все это объясняется интенсивным образованием вторичных солей при промывке с внесением серной кислоты. Однако применение серной кислоты при промывке все же положительно воздействовало на улучшение физико-химических и водно-физических свойств почв, которые из слабосолонцовых превратились в нейтральные. Вытесненный поглощенный натрий (от 2 до 9% от суммы) был замещен поглощенными Mg и Ca. В сторону нейтрализации изменилась также рН-среда почвы. Все это способствовало значительному сокращению фактора дисперсности почвы (более чем в 2 раза). В микроагрегатном составе илистая фракция стала меньше примерно в 2–3 раза, содержание же структурообразующих фракций, наоборот, несколько увеличилось. В 2 раза увеличился коэффициент водопроницаемости почвы.

Незначительное воздействие серной кислоты отмечалось также в улучшении производительности почвы. Урожай риса составил 17,0 т 18,7 ц/га, т.е. на 0,4–1,2 ц/га больше, чем при промывке только водой. Примерно такие же результаты получены по ячменю (12,9–15,5 ц/га) и хлопчатнику (13,9–15,8 ц/га).

Таким образом, из сказанного становится ясно, что промывки с применением серной кислоты, особенно в больших дозах (30 т/га), оказались несостоятельными в деле ускоренного оздоровления засоленных почв с низкой солеотдачей. Применение серной кислоты могло бы повысить эффективность промывки трудномелиорируемых засоленных почв, но лишь в виде слабых растворов (0,5–0,8%-ный), которые, повышая фильтрационную способность почвы, обуславливают несколько более быстрое вымывание легкорастворимых солей и не вызывают растворение инертных и новообразования вторичных солей.

Одним из весьма эффективных приемов ускорения оздоровления засоленных почв с низкой солеотдачей оказалась промывка с применением органо-гипсовой смеси, содержащей 75,1% гипса и 20,6% органических веществ. Применение этого приема промывки способствовало не только резкому рассолению почвы в двухметровой толще, но и изменению в благоприятную сторону солевого состава почв, которые из сульфатно-хлоридно-натриевых превратились в сульфатно-натриево-кальциевые. На выщелачивание 1 т солей расходовалось 63–70 м³/га воды. Почвы полностью нейтрализовались по поглощенному натрию и pH. Значительно увеличилось содержание гипса и CaCO₃. Резко улучшились данные по фактору дисперсности почвы. Величина этого показателя уменьшилась более чем в 8–10 раз (от 42–53 до 5–6%) в слое верхнего полуметра и в 2,3 раза в слое второго полуметра (от 31–44 до 12–22%). Довольно резко уменьшилась илистая фракция и увеличилось число водопрочных агрегатов почвы. Более чем в 2,5 раза повысилась водопроницаемость почв. Все это положительно отразилось на повышении производительности почвы. Урожай риса по зерну составил 19,6–21,4 ц/га, что на 3,0–5,0 ц/га больше, чем в варианте промывки только водой. На 8,2–9,0 ц/га увеличился урожай ячменя. Повышение урожайности хлопчатника составило 5,6–8,0 ц/га. Из примененных доз наиболее эффективной оказалась доза 10 т/га органо-гипсовой смеси.

Применение при промывке органо-минерального подкислителя, содержащего главным образом сернокислые соли железа и алюминия, оказалась весьма эффективным в повышении солеотдачи, улучшении физико-химических, водно-физических свойств и производительности засоленных почв с низкой солеотдачей.

При этом, вымыв солей из метрового слоя почвы составил 125–143 т/га по плотному остатку и 72–78 т/га по хлору при исходном запасе их соответственно 296–324 и 102–123 т/га. Наиболее вредный компонент хлор вымылся на 70–86% от исходного запаса его. На выщелачивании 1 т солей по плотному остатку потребовалось 83–104 м³/га воды. Благодаря многовалентности катионов и высоким электрокинетическим потенциалам железа и алюминия, дегидратируя гидрофильные почвенные коллоиды и нейтрализуя щелочную реакцию почвы, создали условия для об-

разования активных форм кальция, магния, железа и тем самым способствовали резкому повышению структурности и уменьшению дисперсности почвы. Довольно сильно понизилась солонцеватость и в 2,4 раза повысилась водопроницаемость почв. Урожайность по рису, ячменю и хлопчатнику достигла соответственно 20,1–22,1; 20,4–21,1 и 16,7–18 ц/га, что по сравнению с контрольным вариантом (промывка только водой) больше на 21–33; 70–80 и 52–70%. Среди испытанных доз наилучшей оказалась доза 20 т/га.

Таким образом, из приведенных данных становится видно, что все испытываемые мелиоранты повышают солеотдачу трудно-мелиорируемых засоленных почв. Однако степень воздействия этих мелиорантов и рентабельность их заметно отличаются друг от друга. Чтобы выявить истинную картину этого различия и рекомендовать для производства наиболее выгодные способы промывки, мы провели математическую обработку полученных данных и подсчетами экономическую эффективность применения каждого мелиоранта.

Результаты этих проработок представлены в табл. 53, в которой прежде всего обращают на себя внимание данные по солеотдаче почвы, рассчитанные по формуле В.Р. Волобуева (1967).

$$n = K \alpha \lg \left(\frac{S_n}{S_0} \right)$$

где n — промывная норма, м³;

S_n — начальное солосодержание в % от плотного остатка в слое 0–1 м;

S_0 — допустимое солосодержание в слое почвы 0–1 м;

α — показатель солеотдачи;

K — коэффициент, равный 10 000.

Как видим, солеотдача почвы при обычной промывке оказалась довольно низкой (α — 30,0). Применение же химических мелиорантов повысило ее в 6–8 раз, а в некоторых случаях — 10–15 раз. Среди примененных мелиорантов наилучшей солеотдачей характеризовались промывки с совместным применением гипса и навоза, при которых значение α — колебалось в пределах 2,0–4,0.

Таблица 53
Экономическая эффективность промывки с применением химических реагентов (руб/га)

Варианты промывки почв	Содержание р. в. по формуле (1957)	Стоимость						Урожай растений						Стоимость продукции			Экон. эффект.		
		проминки почвы	мелиоранта	пору-зочных работ	транспортировки	внесения в почву химм-агрантов	Проч. расходы	Всего затрат	риса	ячменя	хлопчатника	риса	ячменя	хлопчатника	по сумме трех культур	рис	I год	II год	III год
		проминки почвы	мелиоранта	пору-зочных работ	транспортировки	внесения в почву химм-агрантов	Проч. расходы	Всего затрат	риса	ячменя	хлопчатника	риса	ячменя	хлопчатника	по сумме трех культур	рис	I год	II год	III год
Только промывка водой	30,0	1392	-	-	-	-	-	1392	16,6	11,5	11,1	498	63	635	1196	- 894	- 831	- 196	- 196
Промывки с применением 10 т/га	5,2	205	70	2	8	5	1	291	14,6	22,4	19,8	738	91	1138	1967	447	538	1676	1676
Гипса 20 т/га	5,7	202	140	4	16	10	2	374	22,3	20,0	19,6	669	81	1128	1378	295	376	1504	1504
40 т/га	5,7	198	208	8	32	20	4	542	21,4	19,8	17,6	642	80	1013	1835	100	180	1193	1193
Промывки с применением 10+40 т/га	4,0	149	226	10	40	25	5	455	31,0	24,2	23,6	930	98	1352	2380	475	573	1925	1925
гипса+навоза 10+40 т/га	2,0	108	261	11	44	27,5	5,5	457	31,6	24,4	24,5	948	98	1405	2451	491	589	1994	1994
20+40 т/га	3,2	130	296	12	48	30	6	522	33,2	24,9	25,5	996	101	1467	2564	474	575	2042	2042
Промывки с применением 10 т/га	6,3	231	70	6	30	4	2	343	18,7	15,5	15,8	561	63	906	1530	218	282	1188	1188
серной кислоты 20 т/га	4,0	266	140	12	60	8	4	380	17,6	15,0	14,8	528	61	851	1440	148	209	1060	1060
40 т/га	7,5	238	210	18	90	12	6	574	17,0	12,9	13,9	510	52	796	1358	-64	116	912	912
Промывки с применением 10 т/га	3,5	139	-	2	8	5	1	155	19,6	19,7	16,6	588	80	954	1622	433	513	1467	1467
гипсовой смеси 20 т/га	5,2	180	-	4	16	10	2	212	19,8	20,7	17,0	594	84	979	1657	382	466	1445	1445
40 т/га	5,2	163	-	8	32	20	4	227	21,4	20,7	19,1	642	84	1096	1824	415	499	1595	1595
Промывки с применением 10 т/га	5,2	137	-	2	8	5	1	203	20,1	20,4	17,4	603	83	1000	1686	400	483	1483	1483
органического 20 т/га	5,2	173	-	4	16	10	2	205	21,0	21,1	16,9	630	86	970	1686	425	511	1481	1481
подкислителя 40 т/га	5,0	179	-	8	32	20	4	243	22,1	21,4	18,8	663	86	1078	1827	420	506	1584	1584

По показанию α результаты воздействия остальных мелиорантов колебались почти в одинаковых пределах. Некоторые отклонения в лучшую сторону отмечались при внесении 10 т/га органо-гипсовой смеси и в худшую сторону — при внесении серной кислоты.

Низкая солеотдача при промывке почв только водой приводила к значительному затягиванию (на 8–10 лет) опреснения почв и довольно большому расходованию промывных вод (113 тыс. м³/га). А все это к затратам значительных средств (1 392 руб).

Применение химических мелиорантов при промывке хотя и требует некоторых дополнительных расходов, однако в связи с резким улучшением физико-химических и водно-физических свойств, способствующих существенному повышению водопроницаемости почвы, намного сокращается количество воды (6–8 раз), применяемое для промывки, уменьшаются расходы на водохозяйственные работы и общие затраты по сравнению с промывкой только водой оказываются довольно низкими (табл. 53). При этом самые низкие затраты (155–243 руб) потребовались при промывке с применением отходов нефтехимической промышленности (органо-гипсовой смеси и органо-минерального подкислителя), благодаря которым получены большие урожаи риса, ячменя и хлопчатника. Однако наибольший урожай получен в вариантах промывки почв с совместным применением гипса и навоза (табл. 53).

Таким образом, различие результатов послужило основанием для подсчета рентабельности испытанных способов промывки.

Должен заметить, что промывки только водой не рентабельны, не только потому, что на осуществление их вкладываются большие суммы и сроки оздоровления земель очень затягиваются, но и потому, что на окупаемость этих расходов требуется много времени. По самым результативным культурам таким как хлопчатник и рис, на окупаемость мелиоративных работ требуется 2,5–3 года. Если к этому сроку добавить еще и время оздоровления засоленных почв (8 лет), то это превысит 10 лет. При выращивании же ячменя на это требуется около 30 лет.

Довольно низкую рентабельность показали также промывки с применением серной кислоты, особенно в больших дозах

(30 т/га). Здесь по результатам выращивания ячменя мелиоративные расходы окупятся лишь на 12-й год после промывки, а по результатам риса на 2-й год.

Хорошую рентабельность показали промывки с применением гипса, при которых окупаемость мелиоративных расходов падает на первый же год после мелиорации, как в условиях выращивания риса, так и хлопчатника. Причем высокая урожайность этих культур создает благоприятные условия не только для окупаемости мелиоративных работ, но и для получения значительной прибыли (100–447 руб/га по рису и 1 193–1676 руб/га по хлопчатнику) в первый же год освоения. В этом отношении наиболее выгодным оказался вариант промывки с применением меньшей дозы гипса. Выращивание после промывки ячменя как здесь, так и в остальных вариантах оказалось не рентабельным.

В отношении рентабельности осуществленных способов промывки лучшую результативность показали промывки с применением органо-гипсовой смеси и органо-минерального подкислителя. Благодаря этим мелиорантам в первый год после промывки не только окупятся мелиоративные расходы, но и будут получены значительные прибыли. При этом если в 1-й год после мелиорации выращивание риса принесет 382–433 руб чистой прибыли, то в последующие годы за счет выращивания ячменя к этой сумме добавится еще 80–86 руб, а за счет хлопчатника 954–1096 руб с каждого гектара.

По всем показателям самыми результативными оказались промывки с совместным применением гипса и навоза, благодаря которым в первый же год освоения мелиорированных земель за счет выращенного риса полностью окупятся все мелиоративные расходы, а дополнительная прибыль с каждого гектара земель составит 474–491 руб. Выращивание ячменя и хлопчатника в последующие годы освоения увеличат сумму этих прибылей еще на 98–101 (при ячмене) и 11352–1467 руб (при хлопчатнике).

Таким образом, промывки с применением химических мелиорантов в деле ускоренного оздоровления засоленных почв с низкой солеотдачей почти во всех случаях являются рентабельными. Но несмотря на то, что промывки при совместном применении гипса и навоза оказались лучшими, мы отдаем предпочтение

более широкому применению (наряду с этими мелиорантами) органо-гипсовой смеси и органо-минерального подкислителя. Использование их при промывке засоленных почв с низкой солеотдачей не только полезно и весьма выгодно в экономическом отношении, но и очень важно в качестве кардинального решения борьбы с загрязнением биосферы. Как уже было сказано, названные мелиоранты в качестве отходов ежедневно выбрасываются заводами в количестве сотен тонн и тем самым загрязняют почву и воду этих районов, нанося вред по экологии. Утилизация этих отходов — одна из неотложных задач, стоящих перед народным хозяйством.

ЛИТЕРАТУРА

Абдуев М.Р. Из опыта освоения засоленных земель под садово-виноградные насаждения. "Соц. с.х. Азербайджана", 1956, № 10.

Абдуев М.Р. Опытные промывки почв делювиального происхождения в условиях низменностей Азербайджана. "Хлопководство", 1959, № 12.

Абдуев М.Р. Солонцы в Азербайджане и их мелиорация (на азерб. яз.). Баку, Азернешр, 1961.

Абдуев М.Р. Солонцовые почвы делювиального происхождения и условия их мелиорации в Азербайджане. "Изв. АН Азерб. ССР, сер. биол. и мед. наук", 1961, № 8.

Абдуев М.Р. Значение диффузии в миграции солей. "Изв. АН Азерб. ССР, сер. биол. и мед. наук", 1962, № 6.

Абдуев М.Р. Развитие солонцеватости почв при промывках и меры борьбы с ней в условиях подгорных равнин Азербайджана. "Хлопководство", 1964, № 12.

Абдуев М.Р. Передвижение подвешенной влаги при испарении из серо-бурой почвы подгорной равнины Азербайджана. "ДАН Азерб. ССР". т. XX, № 9, 1965.

Абдуев М.Р. Почвы с делювиальной формой засоления и вопросы их мелиорации. Изд. АН Азерб. ССР, Баку, 1968.

Абдуев М.Р. Способы повышения активности промывки тяжеломелиорируемых засоленных почв. Матер. междунар. симпоз. по мелиор. почв содового засоления. Ереван, 1971.

Абдуев М.Р. О мелиорации засоленных почв подгорных равнин. "Гидрот. и мелиор.", № 3, 1970.

Абдуев М.Р., Ахундов А.К., Волобуев В.Р. и др. Опыт научно-производственного изучения мелиорации и освоения тяжелых глинистых почв в Азербайджане и Грузии. Матер. Всесоюз. мелиор. совещ. Баку, 1969.

Абдуев М.Р., Назаров Т.Г. Промывка глинистых солончаков с применением серной кислоты. "Хлопководство", № 9, 1973.

Абрахам Л. Некоторые проблемы использования и улучшения почв с высоким содержанием натрия в Венгрии. Матер. междунар. симпоз. по мелиор. почв содового засоления. Ереван, 1971.

Аверьянов С.Ф. Некоторые вопросы предупреждения засоления орошаемых земель и меры борьбы с ним в Европейской части СССР. М., Изд-во «Колос», 1965

Агаев Б.М. Мелиорация земель с содовым засолением в Карабахской степи. "Хлопководство", № 11, 1960.

Агамиров М.А. Опыт промывки засоленных почв в Геокчайском районе Азербайджанской ССР. "Тр. Почв. ин-та им. В.В.Докучаева", 1954.

Антипов-Каратаев И.Н., Филиппова В.Н. Изменение солонцеватости почв Заволжья под влиянием химической мелиорации и орошения. М., 1936.

Антипов-Каратаев И.Н., Пак К.П., Филиппова В.Н., Самбур Г.И. Мелиорация солонцов в СССР. М., Изд. АН СССР 1953.

Арань Ш. Мелиорация засоленных почв. "Почвоведение", 1957, № 7.

Артюшин А.М., Державин Л.М., Крепак К.А., Пак К.А., Яковлева М.Е. Мелиорация солонцов СССР. Принципы планирования мелиоративных работ. Матер. междунар. симпоз. по мелиор. почв содового засоления. Ереван, 1971.

Артыкбаева Х., Ахмедов К.С. Влияние полиэлектrolитов К-4 и К-6 на промывку такырных почв, "ДАН/Уз. ССР", № 4, 1969.

Астапов С.В. Промывка засоленных земель. М., 1943.

Ахмедов В.А. Изменение физико-химических и водно-физических свойств почв при промывке тяжелоглинистых солончаков в Карабахской степи. Автореф. канд. дисс. Баку, 1972.

Ахундов А.К. Мелиорация и сельскохозяйственное освоение засоленных тяжелых земель в условиях Ширванской степи Азербайджанской ССР. Автореф. дисс. Баку, 1969.

Беседнов Н.А. Промывка и дренаж тяжелых солонцеватосолончаковых почв. "Тр. Почв. ин-та АН СССР", т.52, 1957.

Васильева Л.И., Комеников Л.М. Влияние мелиорирующих веществ на биологическую активность почвы. Харьков, 1972.

Власюк Л., Катеринич Т.Д. Солонцеватые почвы и их использование. "Землеробство", вып. 21, 1970.

Вознесенский А.С. Промывка на монолитах засоленных почв Южной Мугани. ЗакНИИВХ, 1938.

Вознесенский А.С. Влияние физико-химических свойств почвы на эффективность выщелачивания солей. Тбилиси, 1940.

Вознесенский А.С. Лабораторное изучение солеотдачи и водоотдачи засоленных почв. Мос-Зак НИИВХ, 1940.

Волобуев В.Р. Засоление почв в Азербайджане в естественно-историческом и мелиоративном освещении. Баку, 1948.

Волобуев В.Р. Промывка засоленных почв. Баку, 1948.

Волобуев В.Р. О мелиоративных типах земель. "ДАН Азерб. ССР", 1951, № 12.

Волобуев В.Р. О солонцеватости почв Кура-Араксинской низменности. "Тр. Ин-та почвовед. и агрохим. АН Азерб. ССР", т. VI, 1953.

Волобуев В.Р. О промывных нормах при мелиорации засоленных земель. "Гидротехника и мелиорация", 1959, № 12.

Волобуев В.Р. Промывка и дренаж засоленных почв. "Пробл. засол. почв и водн. источн.". М., Изд. АН СССР, 1960.

Волобуев В.Р. Генетические формы засоления почв Кура-Араксинской низменности. Баку, 1965.

Воронин В.И. К вопросу поглощения катионов песчаными и супесчаными почвами. В сб.: "Почвы Европ. части СССР и пути их рациональн. использ.". Воронеж, 1972.

Гедройц К.К. Избранные сочинения, т.3, М., 1955.

Гедройц К.К. Осолодение почв. М., 1926.

Герей Ласло. Динамика железа в солонцах Затиссайского края Венгрии. "Почвоведение", № 2, 1961.

Гильберт М. Термодинамика ионно-обменной реакции между Na и Мп. Влияние величины рН почвы на поглощение Мп. Матер. междунар. симпоз. по мелиор. почв содового засоления. Ереван, 1971.

Гусейнов Д.М. Химическая мелиорация и потребность в удобрении почв района Самур-Дивичинского канала. Баку, Изд. АзФАН СССР, 1941.

Давий К.А. К вопросу об удобрении засоленных почв. "Химия в с.х.", № 1, 1970.

Димо Н.А. Главнейшие типы засоления почв и грунтов на территории России. Ежегодник отд. земельных улучшений, ч.1, 1913.

Долгов С.И., Сухенко В.Ф. Эффективность производственных промывок засоленных земель в Мильской степи Кура-Араксинской низменности. "Гидротехника и мелиорация", 1954, № 8.

Дуров С.А. Синтез в гидрохимии. М., 1961.

Егоров В.В. Некоторые вопросы происхождения содового засоления в субгумидных районах Евразии. Матер. междунар. симпоз. по мелиор. почв содового засоления. Ереван, 1971.

Захаров С.А. Изучение водопроницаемости почв в поле при помощи дождевания. Физика почв СССР. Сельхозгиз, 1936.

Зонн С.В. Роль солей железа, алюминия, кальция в химической мелиорации почв. "Тр. комисс. по ирриг.", вып. 9, М., 1937.

Зонн С.В. О типах рассоления почв при орошении. "Тр. комисс. по ирриг.", вып. 9, М., 1937.

Исрафилов Г.Ю. Режим грунтовых вод Кура-Араксинской низменности. Автореф. дисс. Баку, 1966.

Кадри А.Т. Аллювиальные почвы Ирака. Матер. междунар. симпоз. по мелиор. почв содового засоления. Ереван, 1971.

Канвар Ю.С., Бумбла Д.Р. Физико-химическая характеристика солонцовых почв в штатах Пенджаб и Харьяна и их мелиорация путем применения гипса. Матер. междунар. симпоз. по мелиор. почв содового засоления. Ереван, 1971.

Качинский Н.А. Почвенно-мелиоративный очерк равнины Богаз в Азербайджане. "Уч. зап. МГУ", вып. 17, М., 1937.

Келлерман В.В., Цюрупа И.Г. К вопросу о прочности связи железистых пленок с минералами, встречающимися в почве. "Почвоведение", № 1, 1962.

Кисляков Л.В. Изменение физических, водно-физических и химических свойств черноземных, лугово-степных солонцов под влиянием гипсования. "Тр. Целиногр. с. х. ин-та", 8, № 3, 1973.

Кобзев В.В. Некоторые физико-химические особенности мелиорации содовых солонцов гипсом и отходами промышленности (на примере черноземно-луговых солонцов в Куйбышевской области). В сб.: "Мелиорация солонцов", ч.2. М., 1968.

Ковда В.А. Солончаки и солонцы. Изд-во АН СССР, 1937.

Ковда В.А. К вопросу о движении и накоплении кремнезема в засоленных почвах. "Тр. Почв. ин-та им. В.В. Докучаева", т.22, вып. II, М.-Л. 1940.

Ковда В.А. Вопросы засоления и рассоления почв Каспийской низменности в связи с ее ирригацией. "Почвоведение", 1941, № 5.

Ковда В.А. Происхождение и режим засоленных почв, т. I и II. Изд. АН СССР, 1946, 1947.

Ковда В.А. Основы теории и практики мелиорации и освоения засоленных почв аридной зоны. В сб.: "Пробл. засола почв. и водн. источников". М., Изд. АН СССР, 1960.

Ковда В.А., Самбур Г.Н., Розов Н.Н. Как улучшить и освоить солонцы? Изд. АН СССР, 1950.

Колесников А.М. Сравнительное изучение эффективности мелиорирующих веществ при окультивировании солонцов Донбасса. "Тр. Харьковск. с. х. ин-та", 1972.

Крупский Н.К., Новикова А.В., Пикуза А.М. Изменение активности ионов кальция и натрия в солонцеватых почвах под влиянием мелиорации. Матер. междунар. симпоз. по мелиор. почв содового засоления. Ереван, 1971.

Лактионов Б.И. Мелиорация железным купоросом. "Почвоведение", № 3, 1961.

Легостаев В.М. Промывные поливы засоленных почв. М., 1953.

Лешукова Н.В., Рыжова Л.В. Количественные закономерности обменных реакций между поглощенным натрием или магнием и катионами мелиорантов. "Бюлл. Почв. ин-та ВАСХНИЛ", вып. 6, 1973.

Максимюк Г.П. Изменение химического состава и физико-химических свойств солончаковых солонцов в результате промывок. "Труды Почв. ин-та им. В.В.Докучаева АН СССР", т.54, 1961.

Малыгин В.С. Новый метод удаления солей из солончаков промывкой снизу на поверхность "Бюлл. № 3 ВНИИГиМ", М., 1934.

Мамедов М.С. Почвы делювиально-пролювиального засоления Сиязань-Сумгайытского массива и их опытная промывка. Автореф. дисс. Баку, 1969.

Мамедов Т.А. Эффективность разных способов промывки и фитомелиорации засоленных земель Ширванской степи. Автореф. дисс. Баку, 1970.

Мигуцкий А.С., Зубарева Р. Химическая мелиорация мелких солонцов содового типа лесостепи Омской области. "Науч. тр. Омск, с. х. ин-та", 104, 1973.

Микаилов Н.К. О мелиоративном оздоровлении тяжелоглинистых солончаков подгорной равнины Карабахской степи. Автореф. канд. дисс. Баку, 1972.

Милкович Н., Пламенац Н. Опыт освоения солонцов в Югославии. Матер. междунар. симпоз. по мелиор. почв содового засоления. Ереван, 1971.

Можейко А.М. Солонцовые почвы Украины и их химическая мелиорация. "Тр. Комитета по ирригации", 1936, № 6.

Морозов А.Т., Верениковская И.А. Водные свойства почв и выщелачивание солей (к вопросу о промывках тяжелых солонцеватых почв). "Труды Почв. ин-та им. В.В.Докучаева", т.44, 1954.

Морозов А.Т. Дренаж в орошаемых районах как регулятор водно-солевого режима. В кн.: "Мелиор. почв Кура-Араксинской низменности". М., 1962.

Музычук И.Ф. Скорость вымывания солей в зависимости от фильтрационных свойств почвы. Сб. автореф. ВИУАА за 1932–1934 гг. М., 1936.

Меяну А. Вторичное осолонцевание затопляемых почв поймы р. Дунай. Матер. междунар. симпоз. по мелиор. почв содового засоления. Ереван, 1971.

Нагиев П.Ю. Динамика засоленных земель в подгорной равнине Мильской степи. Автореф. дисс. Баку, 1967.

Нунупаров М.С. Опыт промывки засоленных земель в условиях сочетания мелкого дренажа с глубоким в колхозе им. Низами Сальянского массива. Тр. совещ. по мелиорации. Баку, 1954.

Оборин А.И., Таскаева В.З., Каменщикова В.И. Результаты комплексных исследований по мелиорации солонцов с применением гипса и сернокислого железа. В сб.: "Мелиорация солонцов", ч.2, М., 1972.

Обрежанц Г., Санду Г., Рудзик Н., Саву И., Норгенштерн С., Ковалев Т., Косма Г. Влияние комплексных мелиоративных мероприятий на почвы содового засоления опытного участка в Рушцеу (Румынская равнина). Матер. междунар. симпоз. по мелиор. почв содового засоления. Ереван, 1971.

Опря К.В., Санду Г., Стаменеску Е., Влас И. Вопросы мелиорации содовых почв в Социалистической Республике Румыния. Матер. междунар. симпоз. по мелиор. почв содового засоления. Ереван, 1971.

Павлова В.В. Растворимость химических мелиорантов при взаимодействии с почвой. "Химия в с. х.", 11, № 6, 1973.

Пак К.П. О системе мелиоративной вспашки солонцовых почв. "Тр. лабор. почвовед.", т.II., вып.1, 1954.

Панин П.С. Процессы солеотдачи в промывных толщах почв. Автореф. дисс. Новосибирск, 1967.

Панов Н.П., Неретин Г.И., Еськов А.И. Изменение физических свойств солонцов в зависимости от дозы мелиорирующего вещества. "Докл. Московск. с. х. акад. им. К.А.Тимирязева", вып. 154, 1969.

Пеньков О.Г. Содовые солонцы Кура-Араксинской низменности и принципы агромелиоративных мероприятий при их освоении. Матер. междунар. симпоз. по мелиор. почв содового засоления. Ереван, 1971.

Пенской И.К. Сельскохозяйственное освоение промывных и промытых земель. Сельхозгиз, М., 1955.

Приклонский В.А. Формирование грунтовых вод в засушливых областях на примере Кура-Араксинской низменности. "Изв. АН СССР, сер. геол.", 1946, № 4.

Постников А., Кобзев В. Перспективы мелиорации содовых солонцов в РСФСР. Матер. междунар. симпоз. по мелиор. почв содового засоления. Ереван, 1971.

Преттенхоффер И. Мелиорация содовых солонцов в районе, расположенном к востоку от реки Тиссы. Матер. междунар. симпоз. по мелиор. почв содового засоления. Ереван, 1971.

Приходько Н.В. О возможном значении кальция в повышении солеустойчивости растений. "Физиол. и биохимия культуры раст.", 2, № 6, 1970.

Рабочев И.С. Способы повышения эффективности промывной нормы при освоении засоленных перелогов. "Сов. хлопок", 1940, № 9.

Рабочев И.С. Мелиорация засоленных почв Туркменистана. Ашхабад, 1953.

Райков Л., Кавърджиев Я. и др. Мелиорация на засоление почвы. София, 1966.

Райков Л., Кавърджиев Я. Химическая мелиорация и удобрение луговых содовых солонцов. Матер. междунар. симпоз. по мелиор. почв содового засоления. Ереван, 1971.

Райчаудури С.П. Распространение в Индии почв с высоким содержанием обменного натрия и их мелиорация. Матер. междунар. симпоз. по мелиор. почв содового засоления. Ереван, 1971.

Розов А.П. Мелиоративное почвоведение. М., Сельхозгиз, 1936.

Розов А.П. Мелиоративное почвоведению М., Сельхозгиз, 1956.

Сабољч И., Дараб К., Вараллаи Д. Методы прогнозирования процессов засоления и осоленцевания почв Венгерской равнины. Матер. междунар. симпоз. по мелиор. почв содового засоления. Ереван, 1971.

Саваренский Ф.Н. Кура-Араксинская низменность, ее грунтовые воды и процессы их засоления. "Почвоведение", 1929, № 1–2.

Самбур Г.Н. Солонцы УССР и их улучшение. В кн.: "Мелиорация солонцов в СССР". М., 1953.

Селяков С.Н. Содовое засоление почв и вод Обь-Иртышского междуречья. Матер. междунар. симпоз. по мелиор. почв содового засоления. Ереван, 1971.

Соловцова Г.А. Влияние азотной кислоты на физико-химические свойства целинного солонца. "Химия в с. х.", № 4, 1973.

Соколовский А.Н. Засоленные почвы как солепроявление наземной поверхности. "Почвоведение", 1941, № 7–8.

Теймуров К.Г., Ахундов А.К. О сроках промывки почв, засоленных сульфатно-натриевым составом солей. "ДАН Азерб. ССР", № 10, 1960.

Теймуров К.Г. Промывка сульфатных солончаков с предварительной химизацией. "Хлопководство", № 4, 1964.

Тюлин А.Ф. Роль коллоидных полуторных окислов в поглощательной способности почв. Тр. ВИУА, вып. 2, физико-химия почв". 1933.

Федоров Б.В., Малахов В., Федорова Е. Засоленные земли Ферганы и их мелиорация. М., Ташкент, ОГИЗ, 1934.

Филиповски Г. Результаты исследований возможности мелиорации некоторых засоленных содовых почв Югославии. Матер. междунар. симпоз. по мелиор. почв содового засоления. Ереван, 1971.

Хармати И. основные результаты опытов по мелиорации засоленных солонцов и использование мелиорированных солонцов. Матер. междунар. симпоз. по мелиор. почв содового засоления. Ереван, 1971.

Херке Ш., Хармати И. Мелиорация и использование засоленных почв типа солончаков и солончаковых солонцов в междуречье Дуная и Тиссы. Докл. симпоз. по содов. засол. "Агрохимия и почвоведение", т. 14, Будапешт, 1965.

Чхиквишвили В.И. Методы мелиорации содовых солонцов-солончаков. Матер. междунар. симпоз. по мелиор. почв содового засоления. Ереван, 1971.

Шошин А.А. Оздоровление и промывка засоленных земель дельты Куры и Аракса. "Соц. с. х. Азербайджана", 1954, № 1.

Яницкий П. Комбинированное применение гипса, соломы и минеральных кислот при мелиорации почв содового засоления. Матер. междунар. симпоз. по мелиор. почв содового засоления. Ереван, 1971.

Яровенко А.Ф., Каменщиков Л.М. Характеристика и перспективы использования солонцовых почв Донбасса. "Тр. Харьковского с. х. ин-та, 170, 1972.

Albrecht William A. Nutritional role of calcium in plants. I. Prominent in the non-legume crops, sugar butts. *Plant. a Soil.* 1970, 33, No. 2.

Blackmore A.V. Aggregation of clay by the products of iron (III) hydrolysis. *Austral. J. Soil Res.*, 1973, 11, No. 1.

Cheng B.T., Quellette G.J., Bourget S.I. Interaction of temperature and moisture on iron and manganese availability in soils, *Natur. Can.*, 1972, 99, No.5.

Cottenia A., Kiekens Jr.L. Exchange of Zn, Mn, Cu and Fe in relation to saturation of the soil complex. *Potassium Soil.* Berne, 1972.

Davidson J.K., Quirk J.P. The influence of dissolved gypsum on pasture establishment in irrigated sodic clays. *Austr. J. Agric. Res.*, 1961, 12.

Eaton F.M. Total salt and water quality appraisal. In: *Diagnostic criteria for plants and soils*, Univ. Calif., Div. Agric. Sci., 1966.

Elgala A.M., Hamdi H., Omar M., Nafik I. Iron and phosphorus interaction in calcareous soils. II. Effect of chlorosis development and some nutrient element contents in soil and plant "Маджаллат аль-улуи аль-арази ли-ль джумхурийа аль-арабийа аль-муттахида". *J. Soil Sci., UAR*, 1971, No. 2.

Elgala A.M. Studies on the needs of sandy and calcareous soils to iron supply. *J. Soil Sci., UAR*, 1971, 11, No. 1.

Fathi A., Khalil K.E., Milad Sh. The relationship between soil. Structure factor and both soluble and exchangeable sodium and calcium in the Nile, alluvium of Egypt. *J. Soil Sci., UAR*, 1971, 11, No. 2.

Ferreiro Bladio A., Peinemann Norman. Ensayo de lavado en columnas de quelos salimos. III. Influencia de la napa en ee proceso de recuperacion. *Rev. invest., agrocult.*, 1970, Ser. 3, 7, No. 3.

Filipovski Gj. Svojstva, klasifikacija i melioracija slatina u delti Nila (UAR). *Zemljiste i biljka*, 1968, 17, Nr. 1.

Filipovski Gj. Uslovi geneze i dominantni pocesi u obrazovanfu slatina u delti Nila. *Zemljiste i biljka*, 1968, 17, Nr. 1.

Hilgard E.W. Soils, their formation, properties, composition and relation to climate and plant growth. New York and London, 1906.

Grande R. Las suelos salinos de las marismas del sur Espana. Evolucion de los terrenas salinos de las marismas del Guadaeguivir, *Agrokem es talas*, 1968, 17, Suppl.

Kanwar J.S., Chawla V.K. Comparative study of the effect of gypsum and press mud on physico-chemical properties of saline alkali soils. *J. Soil Sci. Water Conservation*, 1963, 11.

Kelsall D.F., Crockford R.H. A., Davey E.T. Development of a machine for the dissolution of gypsum. J. Agric. Eng. Res.; 1960, 5.

Kissel D.E., Ritchie J.T., Burnett Earl. Chloride movement in undisturbed swelling clay soil. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 1973, 37, No. 1.

K r i s h n a n u r t h y R., Premanathan S. Saline alkali soils adjoining soil coast and their reclamation in the Madras State. Indian J. Agron., 1968, 13, 4.

Kurdi Fuad H., Babcock Kenketh L. Cation uptake from bentonite suspensions by axi sed barley roots. Plant and Soil, 1970, 33, No. 2.

Lavado Raul S. Ensayo de recuperacion a campo en un suelo salino-alcalino del Valle de Viedma "Idia", 1972, No. 292.

Maan Viljavuustekujoiin Keskinii iset vnorosuhteet maala-feiltain. Maataloustiet. Alkakausun, 1970, Vuos, 42, Vihko 1.

Molle K.C. og Jessen T. Fastliggende forzag med gips, kalk og godning pa klacgiord i skjernadalen 1963-1968. Beretning fra statens Forsogsvirksomhed i plantekultur. Tidsskr. planteavl., 1970, Bd. 74, H. 1. s.

Matsumoto Satoshi, Nada Hidenore, Takai Yasuo. Mechanism of subsoil absorbtion of iron eluviated from loaded surface soil II. Development of morphological characteristics of subsurface horizon of paddy soil. Part 3. Abstr. Soil Sci., and plant Nutr., 1972, 18, No. 5

Miljkovic N. Utilization and improvement of saline and alkali soils. Published for the Depart. of Agric. and the National Science Foundation. Washington D.C. by the Nolit Publishing House, Beograd, 1963.

Muljadi D. Structural problems of Indonesian soils. Med. Fal. Landouwetes. Rijksuniv. Gent., 1972, 37, Nr. 3.

Obrajanu Gr., Sandu Gh., Rudzic Natalia, Nastea St., Cosma Gh. Regimul hudrosalin al unor soluri din partea mijlocie a Basinului riului Calmatui. An. Inst. Stud. Si cere. Pedol., 1971, 39.

Olsen R.I., Hensler R.F., Attoe O.I. Effect of manure applicator, acration and soil pH on soil nitrogen transformations and on certain soil test values. Soil Sci. Sec. Amer. Proc., 1970, 34, No.2

Omar M., Hamdi H., Elgala A.M., Naxil J. Iron and phosphorus interaction in calcareous soils. T. Effect on growth, phosphorus, and iron content of plant. "Маджаллат аль-улуат аль-арази ли-ль джумхурийа аль-арабийа аль-муттахида", J. Soil Sci. UAR, 1971, 11, No.2

Oster J.D., Nillardson G.S., Hoffman G.J. Springlingand and ponding techniques for reclaiming saline soils. Traks ASAE, 1972, 15, No.6

Poonia S.R., Bhumbla D.R. Effect of gypsum and calcium carbonate on plant yield and chemical composition and calcium availability in a non-saline sodic soil. *Plant and Soil*, 1973, 38, No.1

Poonia S.R., Bhumbla D.R. Availability of Ca from $\text{Ca}^{45}\text{SO}_4$ in a highly saline sodic soil. *Plant and Soil*. 1973, 38, No. 3

Rabins Froes A. Preliminary study on some saline soils of Peru using a hydrophobic emulsion. *Med. Fac. Land-bounwetesch. Ryksuniv. Gent.*, 1972. T-37, No.3

Rayah H.M.E.El., Rowell D.L. The influence of iron and aluminum hydroxides on the swelling of Na-montmorillonite and the permeability of a Na-soil. *J.Soil Sci.*, 1973, 24, No.1

Roman R. Ensayos sobre estructura y estabilidad estructural. *An edaxol, y agrobiol.*, 1968, 27, Nr. 11-12

Santamaria Raul M. Petnemann Narman. En sayo de lavado en columnas de suelos Sali nos su aplicacion a suelos des valle. *Rev. Invest. Agropecuar.* 1969 ser. 3, 6, Nr.2., Inferior del rio Colorado.

Sigmond A. Hungarian alkali soils and methods of their reclamation. *California*. 1927.

Sigmond A., Akany A., Herke A. The effect of calcium and aluminium salts in alkali soils reclamations. *Proc. and Papers. 1st Intern. Congr. Soil Sci., Comm.*, 11, 1928.

Sigmond A.A. The alkali soils in Hungarian and their reclamation, *Soil Sci.*, 18, No.5, 1924.

Scotter D.R., Loveday J. Physical changes in seedbed material resulting from the application of dissolved gypsum. *Aust. J. Soil Res.*, 4, 1966.

Scotter D.R. Raats P.A.C. Movement of salt and water near crystalline salt in relatively dry soil. *Soil Sci.*, 1970. 109, No.3

Stryjewski F. Npłyn Neglanu wapnia I zniaskon zelaza driania. I trwalase urzadzen drenarskich-wiad melior. *Lakarsk.*, 1970, 13

Szaboics I. The soils of Hortobagy. *Mezogazdasagi Kiado. Budapest*, 1954.

Szaboics I. The effect of water regulations and irrigation on the soil formation processes in the region beyond the Tisza River in the Hungarian Plaia. *Akad. Kiade, Budapest*, 1961.

Szaboics I. Accumulation of water soluble salts in certain soils of Finland. *Agrokemia es Talajtak*, 11, 1962

Szaboics I. The dynamics of sulphur alkali soils. *Atti del V Simp. Intern. Di Agroch; Palermo*, 1964

Tanchandrphongs S.A., Davidson J.M. Bulk density, aggregate stability, and organic matter content as influenced by two uheotland soil management practices. *Proc. Soil Sci. Soc. Amer.*, 1970, 34, No.2

Trivedi A.M., Gandhi A.J., Shah R.K., Vora J.C. Mechanism of formation of sodium carbonate in soils' role of soluble sodium salts and soil complex. *Indian J. Appel. Chem.*, 1968, 31, Nos. 5-6

White L.P., Law R. Channeling of alluvial depression soils in Iraq and Sudan. *J. Soil Sci.* 1969, 20, No. 1

Zein El. Abedine A., Mafouz Abdalla M., Moustafa A.T.A. Nather permeability in relation to soil structure. *Agr. Res*, 1971, 49, No. 2.

Научное издание

Абдуев Мухтар

**ПОЧВЫ С ДЕЛЮВИАЛЬНОЙ ФОРМОЙ ЗАСОЛЕНИЯ
И ВОПРОСЫ ИХ МЕЛИОРАЦИИ**

•

Подписано в печать 27.05.2012. Формат 60×90 ¹/₁₆.
Бумага офсетная. Печать офсетная. Усл. печ. л. 13,5.
Тираж 500 экз. Заказ № 72

Издательство «Академия исследования культуры»
e-mail: post@arculture.ru

Отпечатано с оригинала-макета заказчика
в типографии «Art-xpress»
199155 Санкт-Петербург, ул. Уральская, 17

Абдуев М. Р.

**Ускоренная мелиорация
глинистых солончаков Азербайджана**

В своей работе «Ускоренная мелиорация глинистых солончаков Азербайджана» профессор Мухтар Абдуев описывает решение старой проблемы, которая имеет огромное значение для обеспечения продовольственной безопасности Азербайджана.

Задача состояла в том, чтобы найти наиболее эффективные методы мелиорации засоленных почв, которыми покрыты более 60% низменностей Азербайджанской Республики. Существующие методы мелиорации требовали огромного количества воды для выщелачивания и строительства обширных дренажных систем; достижение продуктивности благодаря применению этого метода могло занять до 10 лет.

Профессор Абдуев, как правило, применял практический научный опытный подход, исследуя различные методы обессоливания и их эффект на почвы и зерновые культуры, выращиваемые на них.

В 1970 г. Академией Наук Азербайджана эта монография была выдвинута на соискание всесоюзной премии имени В. В. Докучаева.

Доктор с.-х. наук, проф. М. Р. Абдуев (1926–1979) завоевал всеобщее признание своими работами по мелиорации. Он был основателем и руководителем первой в стране Лаборатории по рекультивации почвы. В 1970 г. М. Р. Абдуев был награжден медалью СССР «За трудовую доблесть».

ISBN 978-5-94396-106-9

Почвоведение / Регионы / Азербайджан



9 785943 961069