

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 ПРИЕМОВ 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 засолённых почв, как известно, — один из главных факторов интенсификации сельского хозяйства. И поэтому не случайно, что ЦК КПСС посвятил развитию мелиорации в нашей стране ряд специальныхplenумов (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 междrenными 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-Сумгaitском массиве, Карабахской, Ширванской, Сальянской степях, в Южной Мугани и других массивах Азербайджана.

Введение

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 трудномелиоруемых 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 трудномелиоруемых 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.Исмайловой 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 карганская, 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, следя 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, коносовая, аллювиальная, долинная, приморская, приболотная, глинисто-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 отлагаются на поверхности делювиальных склонов, особенно в их шлейфовой зоне, тонко отмытый 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-Сумгaitскому 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 При-араксинской 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 засолённостью, 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-Сумгайтский массив) и 60–100% (Кюровдагский 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 объемного веса. Для шлейфовой части равнин значения объемного веса в слое почвы 0–1 м оказывается весьма высокими и варьируют в пределах 1,5–1,6. В более высоко расположенной части массива объемный 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 доходит 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 Кюровдагского, Хараминского, Боздагского и Сиязань-Сумгaitского 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, широкораспространённая солонцеватость и другие качества засолёных 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 внутренконусовые грунтовые воды, имеющие сток от более высокорасположенных 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 межгривных 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 сильно-му 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 засолённости, 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 межгривных 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-Сумгaitском 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, осолонцованны, 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 Муганская 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. Беденов, 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 аренажа 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 дооценный 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.Гекчай 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% ($472 \text{ м}^3/\text{га}$) при норме промывки $8250 \text{ м}^3/\text{га}$ рассолились более чем наполовину (до 1,79% или на 52,6% от исходного запаса солей).

Во втором опыте содержание солей при норме промывной воды $28830 \text{ м}^3/\text{га}$ в метровом слое снизилось с 3,15 до 1,12% или на 64,5%. В третьем опыте после промывки нормой $16000 \text{ м}^3/\text{га}$ удалось опреснить, в основном, пахотный слой почв. Солесодержание в метровом слое уменьшилось на 47,8%. В четвертом и пятом опытах засоления в метровом слое при норме промывки $20000 \text{ м}^3/\text{га}$ снизилось с 3,34 до 1,46%, или на 57,2%, а при норме $23100 \text{ м}^3/\text{га}$ — 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 почвогрунты обладают высоким коэффициентом фильтрации, применялась промывная норма около 80 тыс. $\text{м}^3/\text{га}$, 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 – $12500 \text{ м}^3/\text{га}$ удалось рассолить почвы с содержанием солей 3% до 60% от исходного запаса солей.

В Южной Мугани, где почвы имеют очень низкий коэффициент фильтрации (менее $0,2$ – $0,5 \text{ м}/\text{сутки}$), опытные промывки также не дали желаемых результатов. По данным Н.С.Самохвалова (1940), осуществленная здесь промывка при норме 3400 – $25000 \text{ м}^3/\text{га}$ 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. $m^3/га$, обеспечивающая рассоление 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 междуренном 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 среднезасолённых почв составит примерно 5 лет, а для сильнозасоленных почв и солончаков — 7–9 лет.

Аналогичные результаты получены в опытах, осуществленных на делювиальных равнинах Сиязань-Сумгaitского массива, Юго-Восточной Ширвани и в Карабахской степи (М.Р.Абдуев, 1959, 1968, 1979). Здесь норма промывки 1200 $m^3/га$ 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 рассоляются 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 долголетних 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 солнцеватости, 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, сильно затягиванию срока оздоровления засоленных почв, ненужному расходованию лишней оросительной воды. И главное — все это удороожает 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 легкорасторимых 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-Сумгaitском, Кюровдагском 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 междуренными 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.

Последпромывная 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 канала

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-

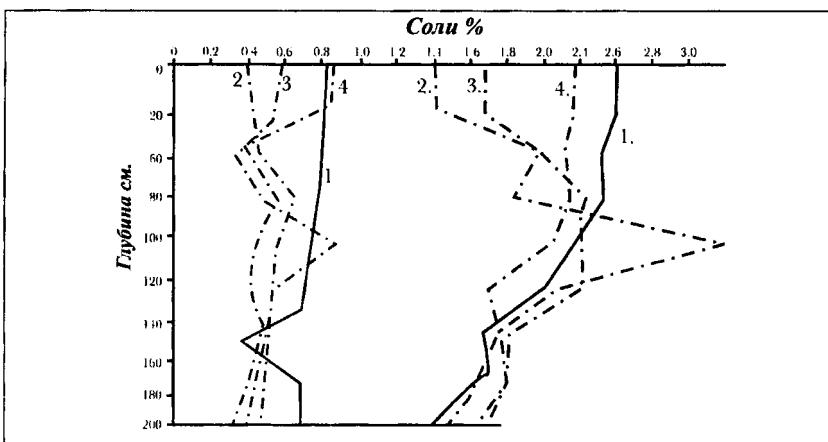


Рис. 1. Характер выщелачивания солей при промывке почв без применения химических мелиорантов: 1 — исходное содержание солей по хлору; 11 — то же по плотному остатку; 2 — содержание солей по хлору после I промывки; 21 — то же по плотному остатку; 3 — содержание солей по хлору после II промывки; 31 — то 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 опре- делено	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 опре- делено	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 (%)

№ 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	0,1
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 влагоемкость почв сравнительно

Глава III

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	Гирроскоп. влага	Водопрониц. мм/мин $\frac{1}{VI}$ час	Половая влажн. VII. 1968	Предельно полас- 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	$\frac{0}{0,1}$	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	$\frac{1}{0,1}$	21,04	30,62
	10–20	2,67	129	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%, колебляясь, 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

Глава III

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

Таблица 5
Состав поглощенных оснований

№ разреза	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 слабоводопроницаемых, уплотненных, солонцеватых, сильно распыленных, глинистых или тонкоилловатых 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. $m^3/га$ в незначительной степени рассасывают 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-Каратеев, 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:

Глава III

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

Повторность вариантов была построена таким образом, чтобы охватить все разнообразие опытного участка. Мелиоранты вносились на поверхность почв. Размеры делянки для каждой поверхности равнялись 150 м^2 . Опыты велись в трехкратной повторности. Для каждого варианта опытов промывная норма воды была принята из расчета $12000 \text{ м}^3/\text{га}$ и подавалась в три приема (по $4000 \text{ м}^3/\text{га}$).

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

Продолжение табл. 6

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
После первой промывки									
После второй 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>0,159</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>0,072</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

Промывка почв водой

Продолжение табл. 6

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
25-50	2,426	2,291		<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	нет	<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>0,09</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		<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		<u>0,034</u> 0,56	<u>0,258</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	нет	<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		<u>0,032</u>	<u>0,618</u>	<u>0,413</u>	<u>0,04</u>	<u>0,013</u>	<u>0,539</u>
				0,56	17,4	8,6	1,98	1,1	23,44
100-125	2,134	2,113		<u>0,029</u>	<u>0,685</u>	<u>0,662</u>	<u>0,038</u>	<u>0,024</u>	<u>0,625</u>
				0,48	19,5	13,79	4,4	1,98	27,19
125-150	2,334	2,253	нет	<u>0,027</u>	<u>0,543</u>	<u>0,929</u>	<u>0,15</u>	<u>0,035</u>	<u>0,569</u>
				0,44	15,3	19,35	7,48	2,86	24,75
150-175	2,248	2,177		<u>0,024</u>	<u>0,522</u>	<u>0,935</u>	<u>0,15</u>	<u>0,035</u>	<u>0,537</u>
				0,4	14,7	19,48	7,48	2,86	24,24
175-200	2,07	2,061		<u>0,024</u>	<u>0,515</u>	<u>0,829</u>	<u>0,137</u>	<u>0,029</u>	<u>0,527</u>
				0,4	14,5	17,27	6,82	2,42	22,93

*Таблица 7**Дифференциация и сопряженность солевых масс при промывке без применения химических мелиорантов ()*

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
<i>Δо промывки</i>											
0-25	<u>0,049</u>	нет	нет	<u>0,695</u>	<u>0,041</u>	нет	<u>0,239</u>	<u>1,928</u>	нет	<u>2,862</u>	нет
	1,519			18,755	1,271		7,409	59,768		88,722	

Продолжение табл. 7

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
25-50	0,052 1,823			0,441 15,435	0,259 9,065	-		0,074 2,59	1,597 55,895		2,423 84,805
50-75	0,048 1,8			0,378 14,175	0,201 7,537	0,309 11,587		1,328 49,8			2,264 84,899
75-100	0,052 1,924			0,235 8,695	0,187 6,919	0,340 12,58		1,088 40,256			1,902 70,374
100-125	0,061 2,165	нет	нет	0,264 9,372	0,275 9,762	0,392 13,916	нет	1,065 37,807			2,052 73,022
125-150	0,061 2,196			0,227 8,172	0,136 4,896	0,455 16,38		0,936 33,696			1,815 65,34
150-175	0,061 2,226			0,198 7,227	0,064 2,336	0,408 14,892		0,890 32,485			1,621 59,266
175-200	0,055 2,035			0,431 15,947	0,142 5,254	0,491 18,167		0,778 28,786			1,892 70,189
После первой промывки											
0-25	0,052 1,767	0,013 0,403	0,076 2,356	нет	нет	0,272 8,432		1,123 3,813	0,004 0,124		0,545 16,895
25-50	0,177 4,095			0,15 5,25	0,091 3,185	0,045 1,575	нет	1,129 39,515			1,532 53,62
50-75	0,094 3,525	нет	нет	0,4 15	нет	нет		нет	нет		0,494 18,525
75-100	0,097 3,589			0,371 13,727	-	-	0,04 1,48	1,544 5,92	57,128		2,212 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			<u>0,402</u> 14,271	<u>0,026</u> 0,923			<u>0,093</u> 3,301	<u>1,435</u> 50,942		<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> нет	<u>1,63</u> 0,072		<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	<u>0,191</u> 6,971			<u>1,521</u> нет		<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>0,238</u> 8,806			<u>1,503</u> нет		<u>2,66</u> 98,42
После второй промывки											
0–25	<u>0,104</u> 3,324			<u>0,282</u> 8,742	<u>0,101</u> 3,131	<u>0,398</u> 12,338			<u>0,632</u> 19,592		<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> нет		<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

Окочумление табл. 7

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
175-200	<u>0,11</u> 4,07	нег		<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											
После третьей промывки											
0-25	<u>0,045</u> 1,395			<u>0,336</u> 10,416	<u>0,094</u> 2,914	нет		<u>0,072</u> 2,232	<u>1,003</u> 34,503		<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		<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	нет	<u>1,257</u> 46,509		<u>1,893</u> 70,041	
100-125	<u>0,039</u> 1,384	нет	нет	<u>0,266</u> 9,443	<u>0,119</u> 4,224	<u>0,56</u> 19,88	нет	<u>1,129</u> 40,079	нет	<u>2,113</u> 70,01	
125-150	0,036			<u>0,472</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.

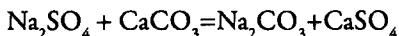
Все эти на первый взгляд противоречивые явления можно, по-видимому, объяснить взаимосвязями перемещенных в почвогрунт отдельных солей. Так, если повышение содержания держания сернокислого натрия в поверхностных горизонтах вызывается сильным выщелачиванием хлористых солей, то резкое уменьшение содержания 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 превышается (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 *m/ga*. 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).

Последипромывное 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 *m/ga*) 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 солесодержания 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 (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.

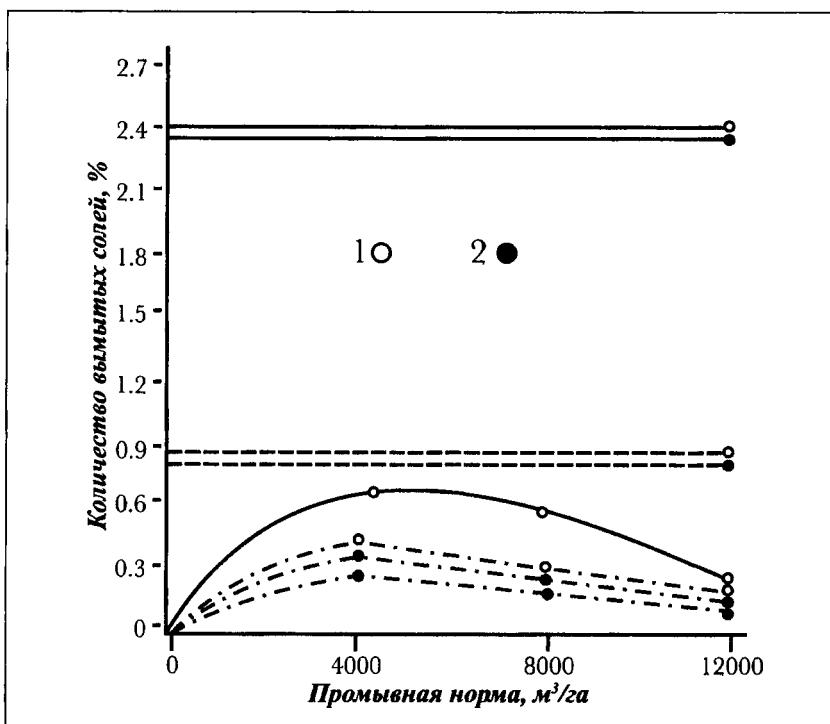


Рис. 3. Интенсивность выщелачивания солей при промывке почв без применения химических мелиорантов: а — исходное содержание плотного остатка; б — исходное содержание хлора; 1 — слой 0–0,5 м; 2 — слой 0–1,0 м

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^{2-} -иона. В верхнем полуметровом слое CO_3^{2-} , 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 м/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 солесодержания 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 солесодержанию 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

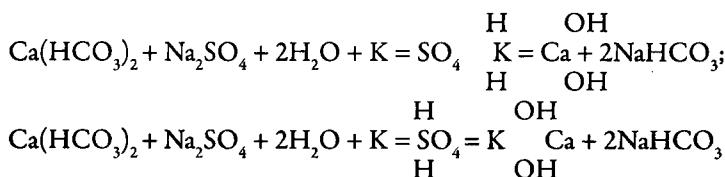
капиллярно-подвешенной влаги, процессом диффузии солей. Как показали результаты проведенных экспериментов (М.Р.Абдуев, 1962), основной причиной, вызывающей уменьшение количества вымытых солей при низких коэффициентах фильтрации, является диффузия солей против движения тока воды. Отсюда следует, что почвы, 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 Nogman и Ferreira 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. Невымываемость гумуса объясняется незначительным допромывным абсолютным значением этого показателя, а невымываемость 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 pH-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 гидролитико-адсорбционным сodoобразованием (Pelouse et Freny, 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)

СМ Лягушка,	T _{МУС} , %	CaCO ₃ , %	CO ₂ , %	T _{МНС} , %	Поглощенные катионы, %		Kоэф. ANC	Числитель 10 мин	Числитель 10 мин	Водопроницаемость, мм / мин
					Ca	Mg				
0-9	1,45 1,55	14,72 14,64	0,332 0,594	10,19 37,93	57,65 57,63	23,53 28,98	18,82 13,39	8,4 8,3	0,041 0,058	17,67 42,48
9-30	1,45 1,57	14,72 15,51	0,332 0,284	20,19 32,65	57,65 38,16	25,53 29,62	18,82 32,22	8,4 8,5	0,055 0,077	20,96 32,54
30-43	0,92 0,97	16,09 16,74	0,566 0,605	21,85 40,26	70,62 50,32	11,99 25,34	17,39 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	70,62 72,28	21,92 22,25	7,39 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	76,17 78,41	21,55 18,25	2,38 3,34	8,3 8,4	0,059 0,069	14,6 41,16
82-100	0,29 0,3	15,86 14,83	1,408 45,74	28,21 79,78	87,27 16,9	9,89 3,32	2,84 8,3	8,3 0,73	0,066 42,82	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 двойникратной 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	0,65 0,73	11,49 14,69	71,96 59,72	7,12 10,26	2,16 1,04	6,02 13,56	15,9 24,86
9–30	0,65 0,6	11,49 11,96	71,76 58,04	7,72 16,8	2,16 2,16	6,02 10,44	15,9 29,4
30–43	0,78 0,12	22,24 9,56	59,8 73,64	8,08 5,62	1,8 0,88	7,3 10,28	17,18 16,68
43–64	0,78 0,13	22,24 9,31	59,8 65,8	9,08 5,92	1,8 1,36	7,3 17,48	17,18 24,76
64–82	0,31 0,44	5,83 5,12	78 73,96	9,12 5,64	1,24 1,52	5,5 13,12	15,86 20,48
82–100	0,18 4,23	1,64 7,89	81,52 69,2	9,36 5,36	2,2 0,44	5,1 12,88	16,66 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 водо-физических свойств почв, приводящему к неблагоприятному почвенно-мелиоративному состоянию земель.

Для рассоления засоленных почв с низкой солеотдачей путем промывки водой в силу набухания почв, связанный 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 требуемую 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 ($10 m^3/га$), N_{90} (аммиачная селитра) и P_{90} (суперфосфат). Но хотя применение удобрений и повысило урожаи испытуемых 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.Гильгардтом 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. Можайко (1936), К. Л. Паком (1964), Г. Н. Самбуrom (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 (A.A.Sigmund, 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.Опра, 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.Сриваствана, Р.П.Сриваствана, 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-Сумгайитском 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^{2-} 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^{2-}	Ca	Mg	$\text{Na}+\text{K}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
До промывки									
0–25	2,046	1,897	нет	0,041 0,68	0,902 —	0,272 5,67	0,108 5,67	0,037 3,02	0,537 23,33
25–50	2,26	2,049		0,039 0,64	1,083 30,5	0,178 3,71	0,108 5,4	0,041 3,35	0,6 26,1
50–75	2,324	2,1		0,037 0,6	1,115 31,4	0,179 3,73	0,119 5,94	0,039 3,24	0,611 26,55
75–100	2,372	2,1		0,037 0,6	1,115 31,4	0,179 3,73	0,119 5,94	0,039 3,24	0,611 26,55
100–125	2,444	2,248		0,039 0,64	1,079 30,4	0,323 6,73	0,132 6,59	0,047 0,89	0,628 27,29
125–150	2,59	2,493		0,041 0,64	1,012 28,5	0,573 11,94	0,188 9,4	0,056 4,64	0,623 27,08
150–175	2,984	2,788		0,039 0,64	1,012 28,5	0,782 16,29	0,84 11,99	0,06 4,97	0,655 28,47
175–200	2,472	2,226		0,041 0,68	0,987 27,8	0,409 8,52	0,143 7,13	0,046 3,78	0,6 26,09

Глава V

Продолжение табл. 10

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
После первой промывки									
0–25	0,825	0,802	нет	0,037 0,6	0,151 4,25	0,343 7,14	0,013 0,67	0,003 0,22	0,255 11,1
25–50	1,672	1,467		0,024 0,4	0,612 17,25	0,3 6,26	0,053 2,66	0,012 1	0,466 20,25
50–75	2,412	1,882		0,019 0,32	1,007 28,37	0,227 4,74	0,093 4,66	0,028 2,33	0,608 26,44
75–100	3,307	3,029		0,016 0,27	1,251 35,25	0,696 14,5	0,253 12,65	0,053 4,33	0,76 33,04
100–125	2,483	2,376		0,018 0,3	1,034 29,12	0,471 9,82	0,133 6,66	0,032 2,66	0,688 29,72
125–150	2,457	2,376		0,018 0,3	1,054 29,12	0,471 9,82	0,133 6,66	0,032 2,66	0,688 29,72
150–175	2,297	2,086		0,019 0,32	0,909 25,62	0,488 8,5	0,098 4,88	0,031 8,56	0,621 27
175–200	2,052	1,6		0,024 0,4	0,816 23	0,349 7,28	0,075 3,77	0,026 2,11	0,57 24,8
После второй промывки									
0–25	0,375	0,373	нет	0,003 0,10	0,052 0,85	0,035 1	0,163 3,39	0,007 0,3	0,003 0,22
25–50	0,842	0,772		0,001 0,05	0,058 0,95	0,133 3,75	0,321 6,68	0,008 0,39	0,004 0,28
50–75	1,347	1,147		0,046 0,75	0,412 11,62	0,282 5,67	0,027 2,33	0,009 0,78	0,371 16,13
75–100	1,912	1,641		0,037 0,6	0,754 21,25	0,255 5,31	0,062 3,11	0,021 1,77	0,512 22,28
100–125	1,765	1,725		0,003 0,55	0,852 24	0,206 4,29	0,055 2,77	0,023 1,89	0,556 24,18
125–150	2,182	2,099		0,037 0,6	0,863 24,87	0,12 8,97	0,03 5,99	0,03 2,45	0,598 26
150–175	2,01	1,838		0,037 0,60	0,750 21,12	0,397 8,26	0,091 4,53	0,024 2	0,539 23,43
175–200	1,317	1,179		0,040 —	0,519 14,62	0,192 14,62	0,033 1,66	0,011 0,89	0,384 16,72

Окончание табл. 10

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

Существенному промывному воздействию подверглись общая щелочность и катион натрия, что, на наш взгляд, можно объяснитьнейтрализующим 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 сопраженность солевых масс при промывке почв с применением 10 т/га гипса (%/т/га)

Лягниха, см		$\text{Ca}(\text{HCO}_3)^2$	$\text{Mg}(\text{HCO}_3)^2$	NaHCO_3	CaSO_4	MgSO_4	Na_2SO_4	MgCl_2	CaCl_2	Na_2CO_3	CaCO_3	MgCO_3	Na_2CO_3	CaCO_3
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12			
До промывки														
0–25	0,055 1,705				0,360 11,160	0,057 1,767			нет	0,097 3,007	1,364 42,284		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		нет		нет	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	2,198 82,422	
100–125	0,052 1,846				0,404 14,342	0,046 1,633				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			нет	0,004 0,146	1,666 60,809		2,790 101,829	
175–200	0,055 2,035				0,439 16,243	0,124 4,558				0,081 2,997	1,526 56,462		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	нет		2,292 10,804	нет	нет		0,008 0,296	0,111 4,107	1,624 60,088	нет
100–125	0,022 0,781			0,842 29,891	0,127 4,508			0,105 3,727	1,933 68,621		2,061 76,257
125–150	0,024 0,864			0,432 15,552	0,16 5,76	0,056 2,016	нет		1,703 61,308		3,029 107,529
150–175	0,026 0,949			0,31 11,315	0,154 5,621	0,098 3,577	нет		1,499 54,713		2,375 85,5
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	<u>0,474</u> 16,590			<u>0,219</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	<u>0,366</u> 13,176	<u>0,147</u> 5,292	<u>0,086</u> 2,880		<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	0,009 0,279	0,008 0,248	0,071 2,201	нет	нет	0,078 2,418	нет	0,026 0,806	нет	0,193 5,952
25–50	0,002 0,315	0,008 0,280	0,088 3,080	нет	нет	0,186 6,510	нет	0,029 1,015	нет	0,322 11,200

Анализы не произведены

75–100	0,049 1,813	0,016 0,592	0,018 0,666	нет	нет	0,450 16,650	нет	0,128 4,736	нет	0,661 24,457
100–125	0,049 1,739		0,059 5,664	0,050 1,775	0,652 23,146			0,489 17,359	нет	1,399 49,663
125–150	0,036 1,296		0,324 11,664	0,099 3,564	0,420 15,120	нет	нет	0,936 33,696	нет	1,815 65,340
150–175	0,036 1,314		нет	0,211 7,701	0,094 3,431	0,243 8,861	нет	0,910 33,215	нет	1,494 54,530
175–200	0,032 1,184			0,123 4,551	0,060 2,220	0,129 4,773	нет	0,877 32,449	нет	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^{2-} -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^{2-} -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^{2-} в поверхностных горизонтах почв.

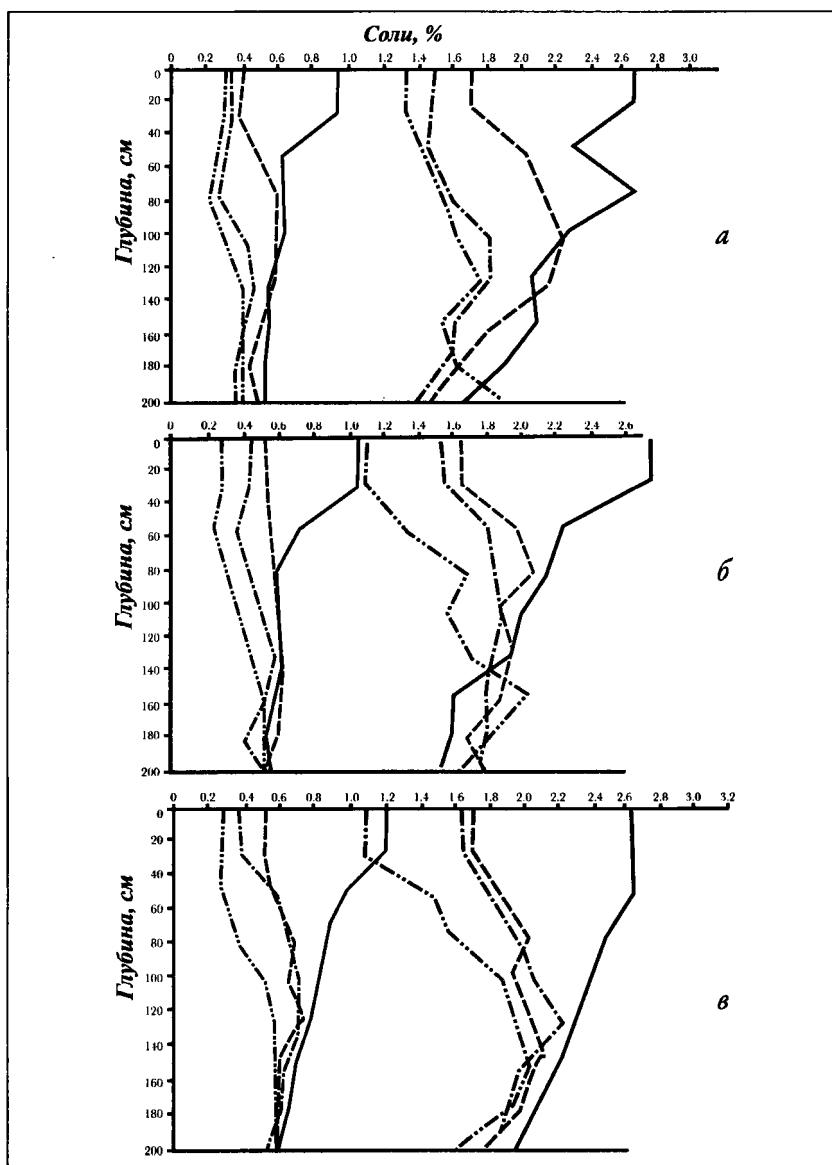
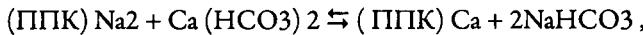
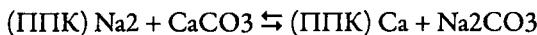


Рис. 4. Характер выщелачивания солей при промывке с внесением:
а — 10 т/га гипса; *б* — 20 т/га гипса; *в* — 40 т/га гипса. Остальные обозначения как на рис. 2

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 характеризуемых 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 m/ga). Количество выщелоченных солей натрия в слое 0,1 м составляет 80 m/ga , а в слое 1–2 м — 56 m/ga .

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 как 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 слаживается, 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

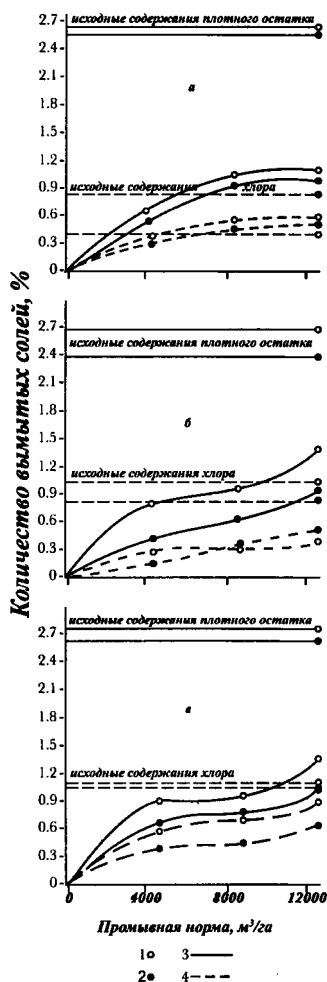


Рис. 5. Интенсивность выщелачивания солей при промывке почв с внесением:
а — 10 т/га гипса; б — 20 т/га гипса; в — 40 т/га гипса;
1 — слой 0–0,5 м; 2 — слой 0,5–1,0 м; 3 — плотный остаток; 4 — хлор.

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 cm^3 в течение 10 мин).

Положительное действие внесенного гипса подтверждалось 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 $\text{m}^3/\text{га}$ незначительно снизила солесодержание в верхнем (125 см) слое почвы. В среднем же для метрового слоя запасы солей уменьшились почти на 58 $\text{m}/\text{га}$ 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 глубжележащих 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
Δ промывки								
0–25	3,332		0,017 0,28	0,629 45,9	0,24 5	0,247 12,31	0,072 5,94	0,757 32,93
			0,022 0,36	0,82 23,1	0,372 7,75	0,13 6,48	0,042 3,46	0,489 21,27
25–50	2,086		0,024 0,4	9,952 24	0,36 7,5	0,13 6,48	0,041 3,35	0,508 22,07
			0,024 0,4	0,859 24,2	0,264 5,5	0,115 5,72	0,025 2,05	0,523 22,32
50–75	2,120		0,024 0,4	0,916 35,8		0,108 5,4	0,035 2,92	0,571 24,84
			0,024 0,4	0,905 25,5	0,276 5,75	0,087 4,32	0,034 2,81	0,564 24,52
нет								

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 сернокислому натрию 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				
До промывки								
0–25	<u>0,023</u> 0,713	<u>0,34</u> 10,54		нет		<u>0,391</u> 12,121	<u>0,282</u> 8,742	<u>1,926</u> 59,706
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			<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

Промывка почв с применением гипса

Продолжение табл. 13

1	2	3	4	5	6	7	8	9
После первой промывки								
0-25	0,036 1,116	0,411 12,741	0,24 7,44	0,787 24,397			1,351 41,881	2,825 87,575
25-50	0,036 1,26	0,499 17,465	0,24 8,4	1,158 40,53			0,766 26,810	2,699 94,465
50-75	0,045 1,697	0,358 13,425	0,143 5,362	1,253 46,987			0,211 7,912	2,010 75,383
75-100	0,061 2,257	0,058 2,146	0,039 1,443	0,978 56,186			0,082 3,034	1,218 46,066
100-125	0,052 1,846	0,111 3,94	0,059 2,094	0,966 34,293			0,064 2,272	1,252 44,445
125-150	0,048 1,728	0,172 6,191	0,172 6,3	0,865 31,14			0,056 2,088	1,146 47,448
150-175	0,065 2,372	0,11 0,401	0,045 0,642	0,62 22,63			0,058 2,117	0,779 29,162
175-200	0,058 2,146	0,047 1,739	0,045 1,665	0,628 23,236			0,094 3,478	0,872 32,264
После второй промывки								
0-25	0,044 1,364	0,039 1,209	0,024 0,744	0,353 10,943			0,033 1,023	0,493 15,283
25-50	0,044 1,54	0,84 2,94	0,033 1,155	0,462 16,17			0,168 5,88	0,791 27,685
50-75	0,04 1,5	0,2 7,5	0,066 2,475	0,382 14,325			0,629 23,587	1,317 49,387
75-100	0,04 1,48	0,041 1,517	0,026 0,962	0,226 8,362			0,679 25,123	1,012 37,444
100-125	0,052 1,846	0,111 3,94	0,059 2,094	0,966 34,293			0,064 2,272	1,252 44,445
125-150	0,048 1,728	0,172 6,192	0,175 6,3	0,865 31,14			0,058 2,088	1,146 47,448
150-175	0,065 2,372	0,11 1,401	0,045 0,642	0,62 22,63			0,058 2,117	0,799 29,162
175-200	0,058 2,146	0,047 1,739	0,045 1,665	0,628 23,236			0,094 3,478	0,872 32,264

Окончание табл. 13

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

Должен заметить, что при внесении гипса из расчета 20 $m^3/га$ скорость фильтрации воды в почве до того увеличивается, что, помимо более легкоподвижных солей, существенно расслаиваются 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 ($4000+4000+4000\ m^3/га$) 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 Ca — 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 солевымывания 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 выщелачивалась 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. $m^3/га$ из метровой толщи почвы было удалено 127 $t/га$ солей по плотному остатку и 65 $t/га$ по хлору. На выщелачивание 1 t солей расходовалось воды по плотному остатку 95,5 (94,5) $m^3/га$, а по хлору — 184,6 $m^3/га$. Все это указывает на то, что при промывке с внесением гипса и с увеличением дозы мелиоранта требуется большой расход воды на выщелачивание 1 t солей, что, по-видимому, объясняется повышением промываемого запаса солей за счет внесенного гипса.

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

Улучшение свойств мелиорированной почвы при внесении гипса в размере 20 $t/га$ подтвердились 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 т/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 $m^3/га$ 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 сульфата-иона при первой промывке увеличилось, особенно в слое 75 см, где величина SO_4^{2-} 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 расходованием 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 рассоление 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 рассоление 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	0,032 0,52	0,983 27,7	0,181 3,77	0,115 5,72	0,042 3,46	0,525 22,81
			0,022 0,36	1,047 29,59	0,339 7,06	0,171 8,53	0,056 4,75	0,544 23,64
			0,022 0,36	1,115 31,4	0,438 9,12	0,247 12,31	0,064 5,29	0,535 23,28
			0,022 0,36	1,171 33	0,519 10,81	0,233 11,12	0,063 5,18	0,641 27,87
			0,022 0,36	1,115 31,4	0,356 7,41	0,184 9,18	0,041 3,35	0,613 26,64
			0,029 0,48	0,037 29,2	0,273 5,69	0,134 6,7	0,042 3,46	0,58 25,21
			0,029 0,48	0,033 29,1	0,672 14,21	0,24 11,99	0,054 4,43	0,629 27,37
			0,032 0,52	0,955 26,9	0,321 6,69	0,113 5,62	0,038 3,13	0,583 25,36
			После первой промывки					
0–25	0,69	нет	0,034 0,56	0,114 3,26	0,292 6,08	0,048 2,14	0,005 0,45	0,167 7,25
			0,032 0,52	0,217 6,1	0,588 12,24	0,053 2,67	0,05 0,45	0,362 15,74
			0,022 0,36	0,671 18,90	0,463 9,64	0,096 4,81	0,013 1,07	0,529 23,02
			0,022 0,36	0,937 26,7	0,448 9,33	0,13 6,5	0,027 2,22	0,652 28,37
			0,019 0,32	1,044 29,4	0,586 12,2	0,148 7,39	0,032 2,67	0,733 31,86
			0,022 0,36	0,887 25	0,517 10,77	0,121 6,05	0,029 2,4	0,637 21,68
			0,022 0,36	0,82 23,1	0,498 10,37	0,112 5,61	0,022 1,78	0,608 26,44
			0,027 0,44	0,770 21,70	0,4 8,33	0,05 2,49	0,007 0,62	0,629 27,36

Промывка почв с применением гипса

Окончание табл. 14

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

Таблица 15

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

Глубина, см	Ca(HCO ₃) ₂	CaSO ₄	MgSO ₄	Na ₂ SO ₄	CaCl ₂	MgCl ₂	NaCl	Сумма солей
1	2	3	4	5	6	7	8	9
До промывки								
0–25	0,042 1,3	0,256 7,936	нет	нет	0,08 2,48	0,164 5,084	1,335 41,385	1,877 58,177
25–50	0,029 1,025	0,480 16,8			0,061 2,135	0,221 7,735	1,383 48,385	2,174 76,09
50–75	0,029 1,087	0,62 23,35			0,157 5,887	0,251 9,412	1,361 51,037	2,418 90,673
75–100	0,029 1,073	0,731 27,047			нет	0,243 8,991	1,630 60,31	2,636 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		<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				<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		<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		<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
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			<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	0,045 1,642	0,567 20,695	0,372 13,578	0,084 3,066	нет	нет	1,422 51,903	2,490 90,884
							1,386 51,282	2,523 93,351
175–200	0,049 1,813	0,594 21,978	0,297 10,989	0,197 7,289				

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 $m/га$. При этом главная масса NaCl (50 $m/га$) была вымыта из второго полуметрового слоя почвы. Небольшое вымывание хлористого натрия (13 $m/га$) отмечалось во втором метровом слое.

Примечательно, что соли сернокислого натрия подверглись существенному вымыванию из второго полуметрового слоя почвы (18,4 $m/га$). В первом же полуметровом слое содержание его несколько (на 12,3 $m/га$) 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 $m/га$ гипса оказала довольно слабое воздействие на опреснение почвенного профиля.

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

Общее количество вымытых солей в варианте промывки с внесением 40 $m/га$ гипса для метрового слоя почвы составило 115 $m/га$ по плотному остатку и 90 $m/га$ по хлору. В 1 m^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 m солей было израсходовано 104,4 $m^3/га$ воды по плотному остатку и 133,3 $m/га$ по хлору.

Гипсование почв из расчета 40 m/ga 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 pH-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 cm^3 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 mm/min , 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)

Layer, cm	T _{Myc}	CaCO ₃ no CO ₂ , %	T _{lime}	Ca ²⁺ / Mg ²⁺	C _{org} , мкг/мл	pH	HCO ₃ ⁻ , %	Кофициент, %	Водопроницаемость, мм / мин			
									1-h час	10 мин	6-n час	за 6 часов
0-10	0,22 1,13	14,96 14,69	0,713 8,951	20,6 82,65	68,48 88,18	21,89 11,77	2,71 0,15	8,4 8,1	0,022 0,017	17,67 9,98	3,1 5,7	0,65 1,0667
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	2,71 4,82	8,4 8,1	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	8,4 8,3	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	8,4 8,3	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	8,4 8,5	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	8,3 8,4	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	0,65 1,66	11,49 12,22	71,96 74,87	7,72 6,68	2,16 1	6,03 3,57	15,9 11,25
10-25	0,65 0,29	11,49 12,69	71,96 75,8	7,72 7,24	2,16 1,32	6,02 5,66	15,9 11,22
25-45	0,78 0,42	22,24 11,74	59,8 73,66	8,08 5,32	1,8 1,6	7,3 7,26	17,68 14,18
45-66	0,78 1,25	22,24 10,37	59,8 71,74	8,08 6,71	1,8 1	7,3 8,93	17,18 16,64
66-84	0,31 0,45	5,83 9,91	78 72,84	9,12 3,72	1,24 1,72	5,5 11,36	15,86 16,8
84-102	0,12 0,26	1,64 2,98	81,52 75,76	9,36 8,64	2,2 1	5,1 11,36	16,66 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 (Л.Власюк, Т.Д.Катаринич, 1970; А.И.Оборин, В.С.Таскаев, В.И.Каменщиков, 1972; А.Ф.Яровенко, Л.М.Каменникова, 1972 и др.) и за рубежом (L.Raikov, Ja. Kaverdiev, 1971; R.I.Olsen, R.J.Hensler, O.I.Attac, 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 $\text{Na} + \text{K}$, 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 $\text{Na} + \text{K}$ соответствовало выщелоченному количеству хлора. Содержание же SO_4^{2-} -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^{2-} -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 водно-растворимого 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^{2-} 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 CO₂, при промывке.

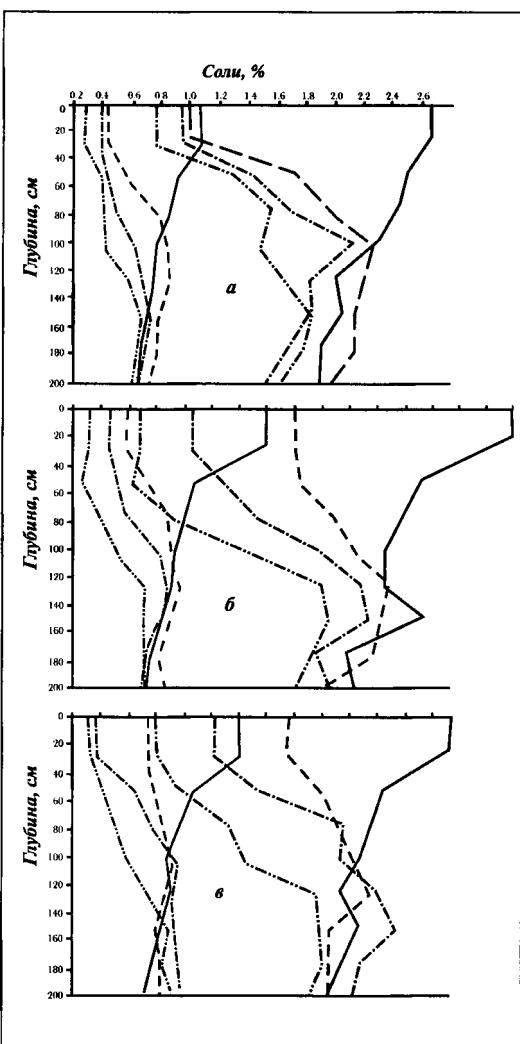


Рис. 6. Характер выщелачивания солей при совместном внесении гипса и навоза: а — 10 т/га гипса + 40 т/га навоза; б — 15 т/га гипса + 40 т/га навоза; в — 20 т/га гипса + 40 т/га навоза. Остальные обозначения как на рис. 2

Таким образом, при первой промывке почвы характеризуемого участка в поверхностных горизонтах превратились из сульфатно-хлоридно-натриевых в хлоридно-сульфатно-кальциевые-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,

Промывка почв при совместном применении гипса и навоза

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

Окончание табл. 19

1	2	3	4	5	6	7	8	9
150–175	2,417	нет	0,03 0,5	0,852 24	0,479 9,97	0,105 5,22	0,028 2,27	0,62 26,98
175–200	2,392		0,03 0,5	0,772 21,75	0,591 12,3	0,12 5,99	0,028 2,33	0,6032 26,83
После третьей промывки								
0–25	0,662	нет	0,05 0,92	0,174 4,9	0,136 0,78	0,016 2,38	0,006 0,49	0,17 7,38
25–50	0,482		0,068 1,12	0,128 3,6	0,105 2,19	0,01 0,49	0,007 0,59	0,134 5,83
50–75	0,666		0,068 0,12	0,117 3,3	0,215 4,48	0,012 0,59	0,003 0,29	0,184 8,02
75–100	0,316		0,044 0,72	0,089 2,5	0,725 15,5	0,083 4,41	0,03 2,45	0,264 11,46
100–125	1,188		0,046 0,76	0,170 4,8	0,582 12,12	0,059 2,94	0,017 1,37	0,307 13,37
125–150	1,144		0,054 0,84	0,195 5,5	0,429 8,94	0,027 1,37	0,006 0,49	0,309 13,42
150–175	1,626		0,073 1,2	0,373 10,5	0,478 9,96	0,031 1,57	0,013 1,08	0,437 19,01
175–200	1,590		0,044 0,72	0,557 15,7	0,41 8,54	0,039 1,96	0,011 0,88	0,509 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	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	0,023 0,713	нет	нет	0,253 7,843	0,084 2,604	0,407 12,607	1,657 51,336	2,423 75,103
25–50	0,025 0,875			0,287 10,045	0,096 3,36	0,296 10,36	2,1 73,5	2,804 98,14

Промывка почв при совместном применении гипса и навоза

Продолжение табл. 20

1	2	3	4	5	6	7	8	9
50–75	0,023 0,862	нет	нет	0,245 9,187	0,108 4,05	0,216 8,1	2,246 84,225	2,838 105,562
75–100	0,025 0,926			0,275 10,064	0,108 3,996	0,455 16,836	2,563 94,833	3,423 126,651
100–125	0,025 0,887			0,214 7,597	0,09 3,195	0,432 15,336	18,26 64,823	2,587 91,838
125–150	0,025 0,9			0,214 7,704	0,114 4,104	0,438 15,768	1,86 66,96	2,651 95,436
150–175	0,029 1,058			0,174 6,351	0,078 2,847	0,556 20,294	1,615 58,947	2,452 89,497
175–200	0,029 1,073			0,174 6,438	0,065 2,405	0,646 23,902	1,457 53,909	2,371 89,727

После первой промывки

0–25	0,049 1,52	нет	нет	0,88 27,28	0,153 4,74	0,344 10,66	0,329 10,2	1,755 54,41
25–50	0,049 1,84			0,156 5,23	0,059 1,98	0,524 17,55	0,424 14,2	1,212 40,6
50–75	0,049 1,84			0,152 5,7	0,05 1,88	0,591 22,16	0,395 14,81	1,237 46,39
75–100	0,049 1,81			0,208 7,7	0,08 2,96	0,302 11,17	0,816 30,19	1,455 53,84
100–125	0,065 2,31			0,134 4,76	0,077 2,73	0,096 3,41	0,855 30,35	1,227 43,56
125–150	0,057 2,05			0,284 10,22	0,14 5,04	0,082 2,95	1,513 54,47	2,076 74,74
150–175	0,041 1,5			0,321 11,72	0,136 4,96	0,212 7,74	1,404 51,21	2,114 77,16
175–200	0,041 1,52			0,373 13,8	0,14 5,18	0,318 11,77	1,308 48,4	2,18 80,66

После третьей промывки

0–25	0,064 1,984	0,01 0,31	нет	нет	0,021 0,691	0,176 5,456	0,287 8,897	0,558 17,298
25–50	0,04 1,4	0,043 1,505	0,003 0,105		нет	0,155 5,425	0,211 7,385	0,452 15,82
50–75	0,048 1,8	0,021 0,787	0,02 0,75			0,318 11,925	0,193 7,237	0,6 22,499
75–100	0,058 2,146	нет	нет	0,251 9,287	0,147 5,433	0,636 23,532	0,146 50,402	0,238 45,806

Окончание табл. 20

1	2	3	4	5	6	7	8	9
100–125	<u>0,061</u> 2,165			<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	нет	нет	<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 плотном 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 $\text{Na}+\text{K}$ — 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 двутуглекислого 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 поглащающего 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 и 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

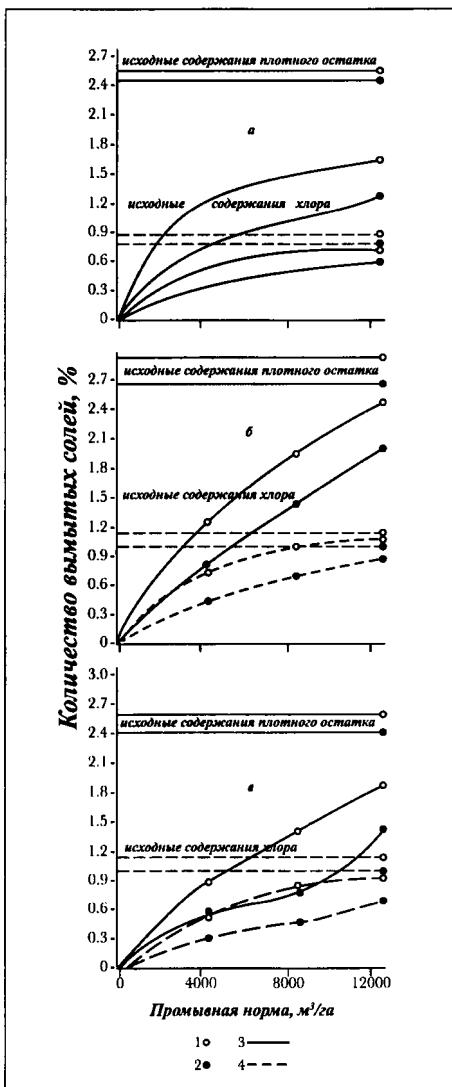


Рис. 7. Интенсивность выщелачивания солей при совместном внесении гипса и навоза: а — 10 т/га гипса+40 т/га навоза; б — 15 т/га гипса+40 т/га навоза; в — 20 т/га гипса+40 т/га навоза. Остальные обозначения как на рис. 5

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 A.Fathi, K.E.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 Ca 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	1,1 0,9	15,8 16	12,9 15,4	11,8 17	23,6 31,4	34,8 19,3
25–50	0,8 0,1	0,2 0,9	3,8 7,3	9,2 16,2	39,7 48,1	46,3 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 ($25,2 \text{ см}^3$ 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 контролльном 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.

Л.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 солеотдачей.

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. 6.6). 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	нет	0,022 0,366	1,732 48,8	0,679 14,14	0,312 15,15	0,081 3,7	0,944 41,05
25–50	2,062		0,024 0,4	1,214 24,2	1,196 4,08	0,082 4,1	0,031 2,59	0,506 21,99
50–75	2,004	нет	0,029 0,48	0,905 25,5	0,316 6,58	0,054 2,7	0,022 1,84	0,644 28,02
75–100	1,93		0,022 0,36	0,66 18,6	0,545 11,35	0,08 4,00	0,017 1,4	0,573 24,41

Промывка почв при совместном применении гипса и навоза

Окончание табл. 22

1	2	3	4	5	6	7	8	9
100–125	2,198	нет	0,034 0,36	0,56 16,8	0,771 16,06	0,08 4	0,014 1,19	0,649 28,23
125–150	2,456		0,029 0,48	0,504 14,2	1,069 22,27	0,097 4,86	0,026 2,16	0,688 29,93
150–175	1,722		0,024 0,4	0,359 10,1	0,761 15,85	0,071 3,56	0,022 1,84	0,482 20,95
175–200	1,44		0,034 0,56	0,312 8,8	0,535 11,14	0,028 1,4	0,09 0,76	0,422 18,34

После первой промывки

0–25	1,16	нет	0,058 0,95	0,04 1,12	0,697 14,51	0,145 7,22	0,012 1,01	0,192 8,35
25–50	1,41		0,061 1	0,346 10,75	0,512 10,66	0,09 4,52	0,017 1,42	0,356 15,47
50–75	1,31		0,052 0,85	0,838 23,62	0,468 9,74	0,157 7,83	0,034 2,83	0,542 23,55
75–100	2,21		0,038 0,95	0,887 25	0,22 4,58	0,097 4,86	0,031 2,56	0,531 23,11
100–125	2,395		0,049 0,8	0,994 28	0,247 5,14	0,111 5,53	0,038 3,11	0,582 25,3
150–175	2,787		0,049 0,8	0,945 26,62	0,627 13,05	0,199 9,92	0,04 3,31	0,626 27,24
175–200	2,287		0,058 0,96	0,763 21,5	0,5 10,41	0,131 6,55	0,03 2,49	0,548 23,32

После третьей промывки

0–25	0,155	нет	0,05 —	0,055 0,9	0,016 0,44	0,032 0,57	0,003 0,17	0,001 0,11	0,041 1,78
25–50	0,297		0,001 0,005	0,041 0,67	0,009 0,25	0,121 2,52	0,006 0,28	0,001 0,11	0,071 3,1
50–75	0,637		0,003 0,1	0,027 0,45	0,031 0,87	0,309 6,43	0,027 1,33	0,003 0,22	0,16 6,9
75–100	0,912		0,03 0,5	0,069 1,94	0,39 8,12	0,013 0,67	0,005 0,39	0,005 8,84	0,203 8,84
100–125	1,315		0,024 0,4	0,197 5,56	0,522 10,87	0,061 3,05	0,007 0,61	0,007 13,17	0,303 13,17
125–150	2,15		0,021 0,35	0,499 14,06	0,896 18,65	0,199 9,93	0,033 2,72	0,469 20,41	0,469 20,41
150–175	2,457		0,018 0,3	0,65 18,31	0,759 15,8	0,186 9,27	0,034 2,83	0,513 22,31	0,513 22,31
175–200	1,895		0,024 0,4	0,643 18,12	0,39 8,12	0,075 3,77	0,02 1,67	0,488 21,2	0,488 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^{2-} 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 в магний, хотя в грунтовых 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 м/га. Из второго горизонта почвы NaCl был вымыт более чем наполовину (25 м/га). В слое 50–75 см количество выщелоченного хлористого натрия составило 4 м/га, а в грунтовых 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 рассоление 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

Промывка почв при совместном применении гипса и навоза

Таблица 23

Дифференциация и сопряженность солевых масс
при промывке с применением 1,5 т/га гипса и 40 т/га навоза

Talyzhna, cm		$\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$	$\text{Mg}(\text{HCO}_3)_2$	NaHCO_3	CaSO_4	MgSO_4	Na_2SO_4	CaCl_2	MgCl_2	NaCl	Na_2CO_3	CaO	C_yema
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
До промывки													
0–25	0,029 1,01			0,961 33,83			0,056 1,96		0,318 11,13	2,401		3,762 191,77	
25–50	0,032 1,12			0,252 8,82	0,022 0,77		нет		0,105 3,67	1,286 45,01		1,697 59,39	
50–75	0,039 1,36			0,151 5,28	0,11 3,85	0,179 6,26				1,482 52,22		1,971 68,98	
75–100	0,029 1,01			0,247 8,64	0,084 2,94	0,448 15,68				0,059 37,06		1,867 65,34	
100–125	0,045 1,57			0,234 8,19	0,071 2,48	0,811 28,38		нет		0,983 34,4		2,144 75,04	
125–150	0,039 1,36			0,298 10,43	0,13 4,55	1,117 39,09				0,831 29,08		2,415 84,42	
150–175	0,032 1,12			0,215 7,52	0,11 3,85	0,77 26,95				0,591 20,68		1,718 60,03	

Продолжение табл. 2.3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
175–200	<u>0,045</u> 1,57	нет	нет	<u>0,057</u> 1,99	<u>0,046</u> 1,61	<u>0,677</u> 23,69	нет	нет	<u>0,515</u> 18,02	нет	<u>1,34</u> 46,80
После первой промывки											
0–25	<u>0,077</u> 2,69			<u>0,426</u> 14,91	<u>0,061</u> 2,13	<u>0,513</u> 17,95			<u>0,065</u> 0,27		<u>1,142</u> 39,97
25–50	<u>0,081</u> 2,83			<u>0,239</u> 8,36	<u>0,085</u> 2,97	<u>0,406</u> 14,21		нет	<u>0,570</u> 19,95		<u>1,381</u> 48,33
50–75	<u>0,069</u> 2,41			<u>0,475</u> 16,62	<u>0,166</u> 5,81	<u>0,004</u> 0,14			<u>1,378</u> 48,23		<u>2,092</u> 73,22
75–100	<u>0,077</u> 2,69	нет		<u>0,266</u> 9,31	<u>0,04</u> 1,4			нет	<u>0,352</u> 3,15	нет	<u>1,825</u> 63,87
100–125	<u>0,065</u> 2,27			<u>0,321</u> 11,23	<u>0,025</u> 0,87				<u>0,128</u> 4,48	<u>1,48</u> 51,8	<u>2,019</u> 70,66
125–150	<u>0,073</u> 2,55			<u>0,323</u> 11,34	<u>0,106</u> 3,71				<u>0,05</u> 1,75	<u>1,448</u> 51,8	<u>2,019</u> 70,66
150–175	<u>0,065</u> 2,27			<u>0,552</u> 19,32	<u>0,199</u> 6,97				<u>0,115</u> 4,02	<u>1,557</u> 54,49	<u>2,488</u> 87,08

Окончание табл. 23

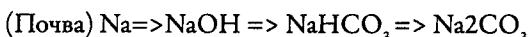
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
175-200	<u>0,077</u> 2,69	нет	нет	<u>0,381</u> 13,33	<u>0,149</u> 5,21	нет	нет	нет	<u>1,258</u> 44,03	нет	<u>2,03</u> 71,05
После третьей промывки											
0-25	<u>0,014</u> 0,49	<u>0,008</u> 0,28	<u>0,052</u> 1,82			<u>0,048</u> 1,68			<u>0,026</u> 0,91	<u>0,003</u> 0,1	<u>0,151</u> 5,28
25-50	<u>0,023</u> 0,8	<u>0,008</u> 0,28	<u>0,024</u> 0,84		нет	<u>0,179</u> 6,26			<u>0,015</u> 0,52	<u>0,003</u> 0,1	<u>0,252</u> 8,8
50-75	<u>0,036</u> 1,26			<u>0,015</u> 0,52	<u>0,013</u> 0,457	<u>0,425</u> 14,87			<u>0,051</u> 1,78	<u>0,005</u> 0,17	<u>0,545</u> 19,05
75-100	<u>0,040</u> 1,4			<u>0,056</u> 1,96	<u>0,497</u> 17,39	Her			<u>0,108</u> 3,78		<u>0,701</u> 24,53
100-125		<u>0,032</u> 1,12		<u>0,18</u> 6,3	<u>0,037</u> 1,29	<u>0,541</u> 18,93			<u>0,325</u> 11,37		<u>1,115</u> 39,01
125-150		<u>0,003</u> 0,98		нет	<u>0,651</u> 22,78	<u>0,163</u> 5,7	<u>0,451</u> 15,78		<u>0,822</u> 28,77		<u>2,115</u> 74,01
150-175		<u>0,024</u> 0,84			<u>0,61</u> 21,35	<u>0,17</u> 5,95	<u>0,284</u> 9,94		<u>1,071</u> 37,48		<u>2,152</u> 75,56
175-200		<u>0,052</u> 1,12			<u>0,229</u> 8,01	<u>0,1</u> 3,5	<u>0,211</u> 7,66		<u>1,060</u> 37,1		<u>1,652</u> 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^{2-} -иона и образование соды в поверхностных горизонтах почвы, которых при первых промывках в почве не было. Это, как известно (К.К.Гедройц, 1955; Л.П.Розов, 1956), является наиболее характерной особенностью натриевых солончаков, в которых при первых промывках концентрация растворенных солей $\text{CaCl}_2 + \text{NaCl}$ оказался 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 намного 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 $14,16\text{ кг}$ по плотному остатку и $8,30\text{ кг}$ по хлору, то при второй и третьей промывках эта величина падала соответственно до $7,54$ и $8,27\text{ кг}$ по плотному остатку и $4,29$ и $2,09\text{ кг}$ по хлору. Для второго полуметрового слоя эти величины соответственно составила: $2,41; 0,54; 13,05\text{ кг/га}$ по плотному остатку и $1,01; 0,49; 5,53\text{ кг/га}$ по хлору. Приведенные данные говорят о том, что если первые промывные нормы способствовали вымыванию солей из поверхностных горизонтов, то последующие нормы подвергли расщелечению 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 см³ (в течение 10 минут) в слое 0–25 см и 10,6 до 28,2 см³ 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 N₉₀P₉₀K₆₀ и урожай зерна риса составил 31,6 ц/га. Урожай ячменя, посаженного 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 м³/га) почвы были рассолены на глубину около метра (рис. 6 в). В результате значение сульфатиона 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,

Промывка почв при совместном применении гипса и навоза

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	Ca(HCO ₃) ₂	Mg(HCO ₃) ₂	NaHCO ₃	CaSO ₄	MgSO ₄	Na ₂ SO ₄	CaCl ₂	MgCl ₂	Na ₂ CO ₃	CaCO ₃	Сумма солей	Δо промывки			После первой промывки		
												1	2	3	1	2	3
0-25	0,029	0,9			0,532		0,055	0,217		1,458		2,291					
25-50	0,029	0,97			0,578	0,023	6,73	6,73		45,2		71,02					
50-75	0,026	0,98			0,501	0,77	нет	0,156	1,429			2,215					
75-100	0,036	1,33	нет	нет	0,377		0,023	0,185	5,23	47,87		74,2					
100-125	0,032	1,14			0,345	нет	0,046	0,143	0,85	1,439		2,174					
125-150	0,32	1,15			1,225	0,369	0,029	0,143	1,7	5,29	53,96	81,53					
150-175	0,026	0,95			1,38	0,244	0,008	0,118	0,008	0,118	1,387	нет	2,039				
175-200	0,029	1,07			4,154	8,91	0,28	4,19	0,28	4,19	49,6	1,9	75,44				
					0,805	0,169	0,019	0,149	0,68	5,36	53,16		67,45				
					29,79	6,25	нет	0,046	0,68	0,053	1,573		2,261				
											1,93	57,41		81,4			
											0,046	1,658		2,034			
											1,7	61,35		110,74			
														2,707			
														100,16			

Окончание табл. 25

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
50-75	<u>0,06</u>				<u>0,532</u>	<u>0,145</u>	<u>0,557</u>			<u>0,841</u>		<u>2,135</u>
	2,25				19,95	5,44	20,89			31,54		80,07
75-100	<u>0,057</u>				<u>0,566</u>	<u>0,211</u>	<u>0,258</u>			<u>1,389</u>		<u>2,481</u>
	2,11				20,94	7,81	9,55			51,39		91,8
100-125	<u>0,057</u>				<u>0,723</u>	<u>0,277</u>	<u>0,19</u>			<u>1,426</u>		<u>2,673</u>
	2,02				25,67	9,83	6,74			50,62		94,88
125-150	<u>0,057</u>				<u>0,685</u>	<u>0,257</u>	<u>0,118</u>			<u>1,557</u>		<u>2,674</u>
	2,05				24,66	9,25	5,605			56,05		96,26
150-175	<u>0,057</u>				<u>0,805</u>	<u>0,271</u>	<u>0,363</u>			<u>1,228</u>		<u>2,724</u>
	2,08				29,38	9,89	13,25			44,82		99,42
175-200	<u>0,057</u>				<u>0,618</u>	<u>0,211</u>	<u>0,324</u>			<u>1,206</u>		<u>2,416</u>
	2,11				22,87	7,81	11,99			44,62		89,4
После третьей промывки												
0-25	<u>0,11</u>				<u>0,041</u>	<u>0,037</u>	<u>0,397</u>			<u>0,023</u>		<u>0,608</u>
	3,41				1,271	1,147	12,307			0,713		<u>18,848</u>
25-50	<u>0,021</u>	<u>0,006</u>			<u>0,138</u>					<u>0,041</u>		<u>0,462</u>
	0,735	0,21			4,83					1,435		16,17
50-75	<u>0,106</u>				<u>0,207</u>	<u>0,064</u>				<u>0,046</u>		<u>1,043</u>
	3,975				7,762	2,4	232,5			1,725		39,112
75-100	<u>0,117</u>				<u>0,059</u>	<u>0,037</u>	<u>0,592</u>			0,117		0,922
	4,329				2,183	1,369	21,904			4,329		34,114
100-125	<u>0,09</u>				<u>0,389</u>	<u>0,155</u>	<u>0,396</u>			<u>0,971</u>		<u>2,001</u>
	3,195				13,809	5,502	14,058			34,47		71,034
125-150	<u>0,061</u>				<u>0,711</u>	<u>0,138</u>	<u>0,318</u>			<u>1,427</u>		<u>2,655</u>
	2,196				25,596	4,968	11,448			51,372		95,58
150-175	<u>0,032</u>				<u>0,432</u>	<u>0,155</u>	<u>0,266</u>			<u>1,445</u>		<u>2,33</u>
	1,168				15,768	5,657	9,709			52,742		85,044
175-200	<u>0,032</u>				<u>0,305</u>	<u>0,129</u>	<u>0,173</u>			<u>1,491</u>		<u>2,13</u>
	1,184				11,285	4,773	6,401			55,167		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 солесодержание 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 сернокислового натрия при третьей промывке значительно увеличивалось, 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 выщелачивал 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 pH-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 pH-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 поглощенных катионов, мэкв	% от суммы			pH	HCO ₃
					Ca	Mg	Na		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0–10	1,16 1,26	15,41 16,44	0,181 0,546	24,25 19,85	57,91 70,62	28,18 27,36	13,91 2,02	8,1 7,7	0,029
10–34	0,7 0,74	15,41 18,53	0,181 0,248	24,45 24,61	57,91 66,64	28,18 31,73	13,91 1,63	8,1 7,7	0,029 0,012

Окончание табл. 26

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
34–60	0,43 0,44	16,54 17,79	0,385 0,471	24,26 27,58	51,56 70	31,35 22,9	16,49 7,1	8,1 7,8	0,024 0,027	
60–86	0,43 0,44	17,67 17,83	0,385 1,005	26,85 27,28	64,05 59,24	26,27 32,26	9,68 8,5	7,9 8,1	0,024 0,029	
86–100	0,4 0,4	17,23 16,87	0,509 0,255	24,44 28,16	72,91 60,23	19,72 31,25	7,37 8,52	8 7,9	0,024 0,024	

Изменение агрофизических свойств почвы. Наиболее характерные данные получены по изменению микроагрегатного 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	
0–10	0,063 3,88	9,54 14,56	71,76 67,08	9,16 8,06	1,48 1,68	7,33 4,74	18,02 14,48	22,81 10,61	3 8,8	0,7833 1,7167	0,0333 0,1560	0,1778 0,4111
10–34	0,63 0,18	9,59 0,38	71,76 74,32	9,16 17,04	1,48 1,92	7,33 6,16	18,02 25,12	26,4 15,99				
34–60	1 0,39	15,3 2,69	66,44 76,08	6,08 11,16	1,68 1,95	7,5 7,73	15,26 20,84	35,51 17,97				
60–86	0,07 0,18	10,99 1,42	12,28 72,50	3,64 17,64	0,84 0,8	12,18 7,76	16,66 25,9	26,12 20,73				
86–100	0 0,64	8,1 18,16	76,04 64,56	3,60 6,16	1,04 2,48	11,22 8	15,86 16,64	36,12 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 Сумгайитским 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 antagonизма 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 ($H_2SO_4 + CaCO_3 \rightleftharpoons CaSO_4 + HCO_3$), 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-Каратеевым (1937) для рассолонцевания солонцов. Однако эксперименты с применением серной кислоты для ускорения промывки засоленных почв начали проводиться лишь в последние годы. Широкие опыты с содовозасолненными 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. Причем рассолением оказался 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.

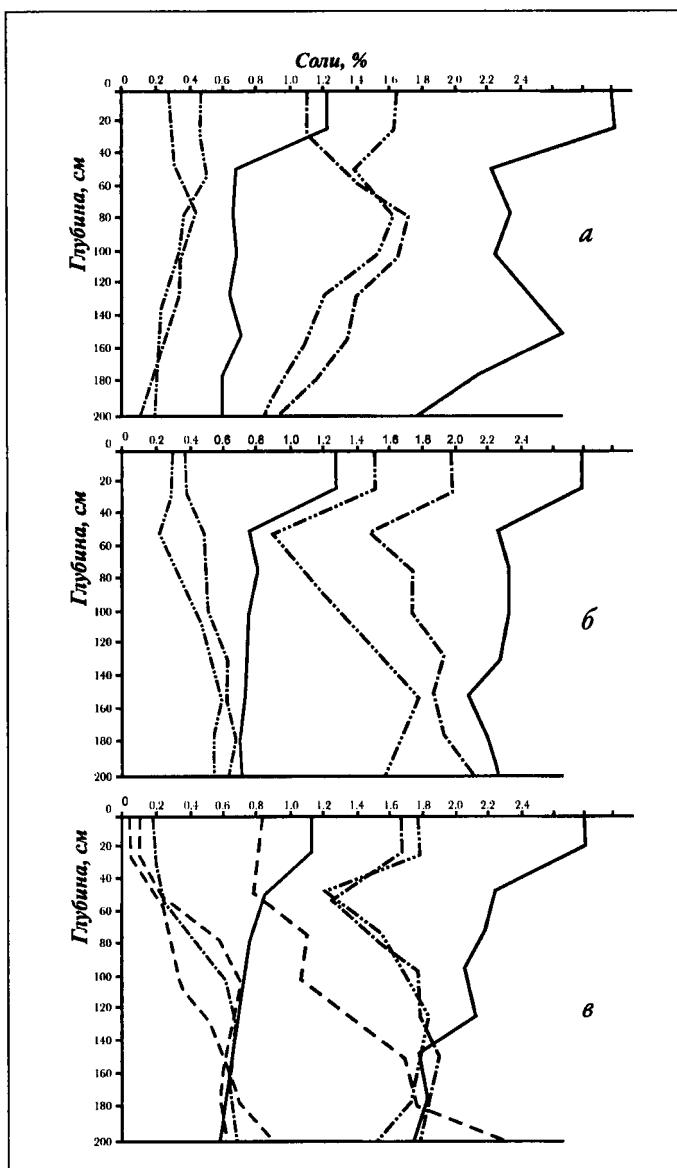


Рис. 8. Характер выщелачивания солей при промывке с применением серной кислоты: а — 10 т/га серной кислоты; б — 20 т/га серной кислоты; в — 30 т/га серной кислоты. Остальные обозначения как на рис. 2

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 рассоление 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	0,034 0,56	1,459 41,1	0,132 2,75	0,041 2,05	0,018 1,51	0,939 40,85
25–50	3,668		0,029 0,48	1,125 31,7	1,193 24,75	0,123 24,85	0,022 6,16	1,128 49,04
50–75	3,502		0,027 0,44	1,061 29,9	1,142 23,79	0,155 5,72	0,025 2,05	1,066 46,36
75–100	3,636		0,027 0,44	1,103 31,1	1,116 23,25	0,141 7,02	0,026 2,16	1,049 45,61
100–125	3,668		0,022 0,36	1,083 30,5	1,119 24,79	0,141 7,02	0,023 1,94	1,078 46,87
125–150	3,576		0,019 0,32	1,058 29,8	1,142 23,79	0,13 6,48	0,023 1,94	1,046 45,49
150–175	3,402		0,022 0,36	4,029 29	1,132 23,58	0,123 6,16	0,021 1,73	1,036 45,06

Промывка почв с применением серной кислоты

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

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 глубжележащих 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	0,045 1,4	нет	нет	0,101 3,13	0,075 2,33	нет	0,389 74,06	нет	2,622 81,29
25–50	0,039 1,31			0,387 12,97	0,11 3,69	1,114 87,32	1,854 62,11		3,504 117,4
50–75	0,036 1,35			0,290 10,88	0,123 4,61	1,16 43,84	1,749 65,59		3,367 126,27
75–100	0,036 1,33			0,448 16,58	0,13 4,81	1,03 38,11	1,819 67,3		3,463 128,13
100–125	0,029 1,03			0,453 16,08	0,116 4,12	1,162 41,25	1,784 63,33		3,544 125,81
125–150	0,025 0,9			0,419 15,08	0,116 4,18	1,114 40,1	1,743 62,75		3,417 123,01
150–175	0,029 1,06			0,394 14,38	0,124 4,53	1,14 41,53	1,696 61,9		3,383 123,48
175–200	0,029 1,07			0,357 13,21	0,116 4,29	1,07 39,59	1,773 65,5		3,345 123,76

Промывка почв с применением серной кислоты

Окончание табл. 29

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
После второй промывки									
0–25	0,052 1,61			0,204 6,32	0,106 3,29	0,528 16,37	0,249 7,72		1,139 35,31
25–50	0,052 1,74			0,295 9,88	0,114 3,82	0,757 25,36	0,336 11,26		1,554 52,06
50–75	0,052 1,95			0,24 9	0,134 5,03	0,682 25,58	0,592 22,2		1,7 63,76
75–100	0,053 1,96			0,326 12,06	0,126 4,66	0,865 32,01	0,445 16,47		1,815 67,16
100–125	0,049 1,74	нет	нет	0,449 15,94	0,14 4,97	1,043 37,03	0,395 14,02	нет	2,076 73,7
125–150	0,053 1,91			0,167 6,01	0,066 2,38	0,908 32,69	0,285 10,26		1,479 53,24
150–175	0,065 2,37			0,058 2,12	0,06 2,19	0,745 27,19	0,27 9,86		1,198 43,73
175–200	0,057 2,11			0,102 3,77	0,033 1,22	0,707 26,16	0,307 11,36		1,211 44,81
После третьей промывки									
0–25	0,028 0,87	нет	нет	0,684 21,2	0,12 3,72	0,3 9,3	0,189 5,86		1,321 40,95
25–50	0,035 1,17	0,017 0,57	0,003 0,1			0,287 9,62	0,094 3,15	нет	0,436 14,61
50–75	0,017 0,64	0,016 0,6	0,015 0,56	нет	нет	0,305 11,44	0,102 3,83	0,007 0,26	0,462 17,33
75–100	0,017 0,63	0,016 0,59	0,028 1,04			0,417 15,43	0,102 3,77	0,007 0,26	0,587 2,17
100–125	0,053 1,88			0,009 0,32	0,02 0,71	0,736 26,13	0,124 4,4	0,005 0,18	0,947 33,62
125–150	0,044 1,58			0,151 5,44	0,06 2,16	0,859 30,92	0,27 9,72		1,384 49,82
150–175	0,04 1,46			0,298 10,88	0,074 2,7	0,881 32,16	0,358 13,07	нет	1,651 60,27
175–200	0,04 1,48	0,005 0,19		нет	0,012 0,44	0,489 18,09	0,431 15,95	0,007 0,26	0,984 36,41

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 $m/га$ $CaSO_4$, 5 $m/га$ $MgSO_4$ и 59 $m/га$ 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 $m/га$ в первом и на 208 $m/га$ во втором метровых слоях почвогрунта. Следовательно, главную массу выщелоченных солей составил хлористый натрий. Кроме того, из двухметровой толщи почвогрунта было вымыто 516 $m/га$ легкорастворимых солей. При этом сравнительно большая сумма солей (281 $m/га$) удалена из второго метрового слоя.

Приведенные цифры свидетельствуют о большой эффективности применения серной кислоты в дозе 10 $m/га$ 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 $m/га$), а содержание хлора — на 0,286% (6 $m/га$). Содержание плотного остатка в глубжележащих 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 повысились.

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^{2-} . Если величина общей щелочности в верхнем (25 см) слое уменьшилась вдвое, то в глубжележащих горизонтах почвы — несущественно. Что же касается CO_3^{2-} , 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 двухуглекислого 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 характеризуемые 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 м³/га воды, а по хлору — 218,2 м³/га. 1 м³ воды выщелачивает из метрового слоя почвы соответственно 10,3 и 4,6 кг/га солей. При этом привлекает внимание характер выщелачивания солей при каждой промывке. Выявлено, например, что если 1 м³ воды из метрового слоя почвы при второй промывке выщелачивает 33,7 кг/га по плотному остатку и 16,2 кг/га по хлору, то при третьей промывке это количество воды способствует накоплению в характеризуемом слое почвы солей: 3,0 кг/га по плотному остатку и 2,1 кг/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 вымываются 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 см³/мин, а в слое 25–50 см — с 0,92 до 1,44 см³/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 ($4000+4000 \text{ м}^3/\text{га}$) 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 ($4000+4000+4000 \text{ м}^3/\text{га}$) продолжала рассоление по всему профилю почвы. При этом особое внимание обращают на себя SO_4 и Ca , количество которых в слое 0–25 см соответственно увеличилось на 0,531 и 0,166%.

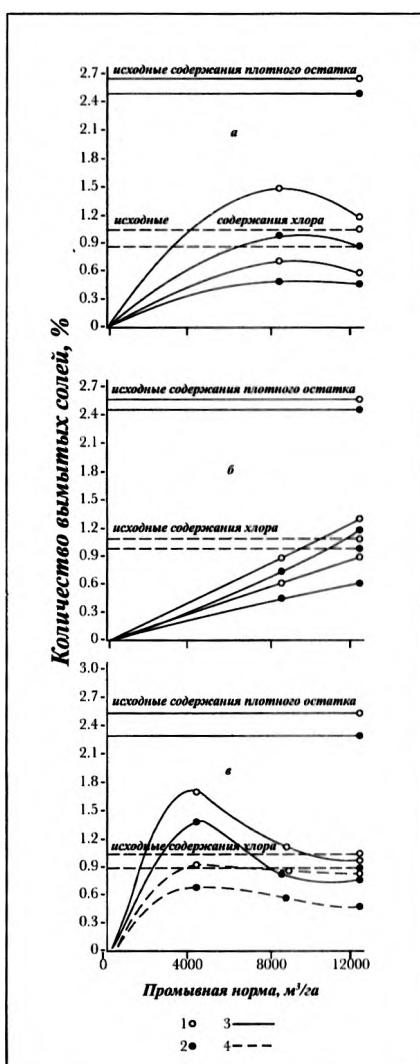


Рис. 9. Интенсивность выщелачивания солей при промывке с применением серной кислоты: а — 10 т/га серной кислоты; б — 20 т/га серной кислоты; в — 30 т/га серной кислоты. Остальные обозначения как на рис. 5

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
<i>До промывки</i>								
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

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

Интенсивность выщелачивания солевых масс показала (рис.9 б), что на удаление 1 т солей из метрового слоя почвы потребовался 71 м³/га воды по плотному остатку и 166,6 м³/га по хлору. При этом 1 м³ воды выщелачивал 14,1 кг/га солей по плотному остатку и 6,0 кг/га по хлору. Надо отметить, что эти соли при каждой промывке вымывались с неодинаковой интенсивностью. Так, если 1 м³ воды при второй промывке вымывал из верхней полуметровой толщи почвы 13,15 кг/га солей по плотному остатку и 9,75 кг/га по хлору, то при третьей промывке эти показатели соответственно составили 8,11 и 2,94 кг/га. Аналогичные данные получены в целом для верхнего метрового слоя почвы.

Значительно лучше оказалось воздействие серной кислоты в дозе 20 т/га по сравнению с дозой 10 т/га на фильтрационные свойства почвы. Фильтрация воды в слое почвы (0–25 см по сравнению с допромывным состоянием) (1,01 см³/мин увеличилась в два раза (2,00 см³/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 см³/мин).

Таким образом, приведенные цифры дают основание говорить о сравнительно лучшем воздействии серной кислоты в дозе 20 т/га. Однако по сумме выщелоченных солей как первую, так и вторую дозу нельзя считать достаточно удовлетворительными. Ибо если серная кислота в дозе 10 т/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 м³ 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 ц/га, что на 1,1 ц/га меньше, чем в варианте с серной кислотой в дозе 10 т/га. На 0,5 ц/га зерна меньше (15,0 ц/га) получено и в урожае ячменя. А урожай хлопчатника оказался самым низким — 15,8 ц/га, т.е. на 3,3 ц/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 расщелачивание 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 аккумуляции (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.Теймуррова (1968) содержание солей при насыщении почвы серной кислотой значительно увеличивалось. Мы склонны объяснить это тем, что в опытах К.Г.Теймуррова 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 выражалось более сильно, чем по хлору, что свидетельствует о вымывании главным образом труднорастворимых солей. В поверхностном горизонте почвы и на этот раз отмечалось небольшое увеличение солесодержания, 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 выщелачивающие солей (рис. 8 в). В пахотном слое на 0,1% снизилось количество SO_4^{2-} -иона. В подпахотном горизонте вынос этого компонента составил более чем 50% от оставшейся после второй промывки величины. Значительное вымывание сульфатиона отмечалось и в последующих горизонтах почвы. В среднем для двухметровой толщи почвы показатель SO_4^{2-} 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 значительном выщелачивание сульфатиона.

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

Таблица 33

**Дифференциация и сопряженность солевых масс
при промывке почв с применением 30 т/га серной кислоты (%/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	Полный состав солевых компонентов отсутствовал							
25–50	0,029 0,97	нет	0,534 17,89	0,177 0,92	нет	0,123 4,12	1,34 44,89	2,143 71,79
50–75	0,032 1,2		0,502 18,83	0,162 6,08		0,046 1,73	1,224 45,90	1,966 73,74
75–100	0,032 1,18		0,575 21,28	0,171 6,33		0,066 2,44	1,293 47,84	2,137 79,07
100–125	0,032 1,14		0,458 16,26	0,155 5,5		нет	1,273 45,19	1,918 68,09
125–150	0,036 1,30		0,322 11,59	0,099 3,56		0,028 1,01	1,281 46,12	1,766 63,58
После второй промывки								
0–25	0,057 1,77	нет	0,813 25,2	0,185 5,74	0,415 12,87	нет	0,212 6,57	1,682 52,15

Окончание табл. 33

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	<u>нет</u>	<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 т)

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 характеризуемых 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 м³/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 м/га отдельно или совместно с 10–15 м/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 pH, исчезновению соды, уменьшению концентрация 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 H₂SO₄) существенно облегчает проведение промывки и мелиорации почв.

И.Бочкин (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 немногим 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. Приведенные 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 изменилось 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 $\text{cm}^3/\text{мин}$, а в подпахотном — от 0,9 до 2,0 $\text{cm}^3/\text{мин}$.

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 большем, 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 солесодержания 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 привлекшая наше внимание и условно названная нами органо-гипсовая смесь. Эта смесь после центрифугирования в виде твердой слабомасляной 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 ($4000 \text{ м}^3/\text{га}$) 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 аккумулированных 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^{2-} -иона. Некоторая дифференциация плотного остатка и солевых компонентов отмечалась в слое 1–2 м.

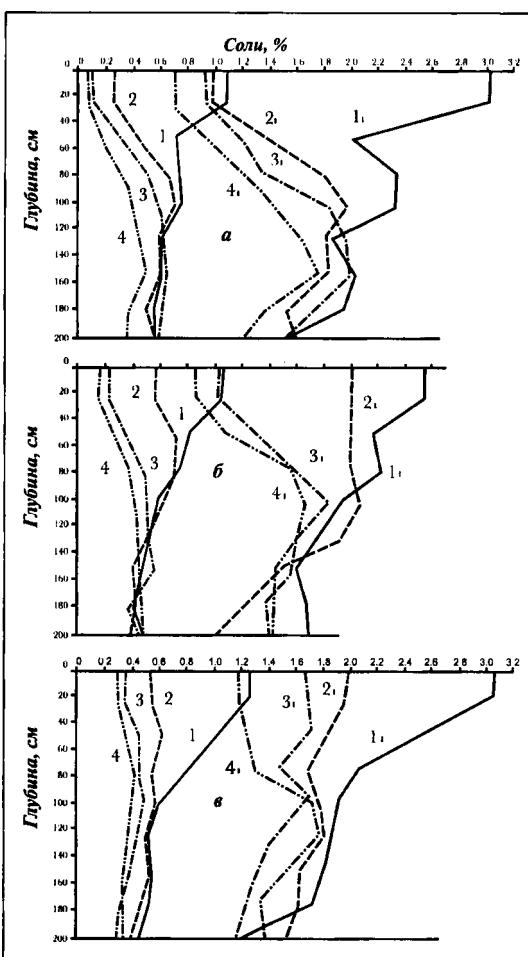


Рис. 10

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

Промывка почв с применением органо-гипсовой смеси

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

Продолжение табл. 36

1	2	3	4	5	6	7	8	9
125–150	2,4	нет	0,021 0,35	0,927 26,12	0,591 12,30	0,095 4,77	0,024 2	0,736 32
150–175	2,79		0,018 0,3	0,847 23,87	0,746 15,53	0,122 6,10	0,026 2,11	0,724 31,49
175–200	2,127		0,027 0,45	0,759 21,37	0,464 9,66	0,055 2,77	0,016 1,34	0,629 27,37

После второй промывки

0–25	0,872	нет	0,033 0,55	0,057 1,62	0,505 10,51	0,067 3,33	0,011 0,89	0,194 8,46
25–50	1,05		0,032 0,55	0,044 1,25	0,638 13,28	0,044 2,22	0,008 0,67	0,28 12,19
50–75	1,267	0,003 0,1	0,037 0,6	0,044 1,25	0,761 15,84	0,036 1,78	0,007 0,55	0,355 15,46
75–100	1,5	0,003 0,1	0,021 0,35	0,151 4,25	0,714 14,86	0,042 2,11	0,009 0,78	0,383 16,67
100–125	2,027	нет	0,03 0,5	0,568 16	0,606 12,62	0,071 3,55	0,013 1,11	0,562 24,46
125–150	2,627		0,024 0,4	0,708 22,75	0,927 19,3	0,169 8,44	0,03 2,44	0,726 31,57
150–175	1,752	0,003 0,1	0,021 0,35	0,473 16,13	0,398 8,29	0,033 1,66	0,012 1	0,511 22,21
175–200	1,755	0,033 0,1	0,027 0,45	0,503 17	0,384 7,99	0,029 1,44	0,011 0,89	0,534 23,21

После третьей промывки

0–25	0,335	нет	0,056 0,92	0,022 0,62	0,148 3,08	0,004 0,22	0,001 0,11	0,099 4,29
25–50	0,952		0,062 1,02	0,024 0,69	0,558 11,62	0,022 1,11	0,007 0,61	0,267 11,61
50–75	1,145		0,061 1	0,049 1,37	0,67 13,95	0,031 1,55	0,006 0,5	0,328 14,27
75–100	1,29		0,061 1	0,075 2,12	0,705 15,30	0,044 2,22	0,007 0,55	0,36 15,65
100–125	2,19		0,042 0,8	0,492 13,87	0,91 18,95	0,133 6,66	0,022 1,83	0,578 25,13
125–150	2,377		0,052 0,85	0,843 23,75	0,604 12,57	0,15 4,99	0,024 2,5	0,694 30,18

Окончание табл. 36

1	2	3	4	5	6	7	8	9
150–175	1,91	нет	0,052 0,85	0,772 21,75	0,393 8,18	0,047 2,34	0,019 1,54	0,619 26,9
175–200	2,3		0,049 0,8	0,781 22	0,658 13,7	0,103 5,12	0,024 1,98	0,676 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^{2-} 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^{2-} . 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 ($\text{Cl}, \text{Na} + \text{K}$). Полностью был вынесен CO_3^{2-} , 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

Промывка почв с применением органо-гипсовой смеси

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>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>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		<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	нет	<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>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	0,065 2,31	0,398 14,13	0,110 3,91	0,792 28,36	0,811 28,79	нет	2,183 77,50
125–150	0,069 2,48	0,282 10,15	0,120 4,32	0,457 16,45	1,389 50,00		2,317 83,40
150–175	0,069 2,52	0,101 3,69	0,092 3,36	0,365 13,32	1,272 46,43	нет	1,899 69,32
175–200	0,065 2,41	0,293 10,84	0,119 4,40	0,525 19,43	1,286 47,58		2,288 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 характеризуемого 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 $63,2 \text{ м}^3/\text{га}$ воды, а по хлору — $148,1 \text{ м}^3/\text{га}$, что близко к промывке с совместным применением 10 т/га гипса и 40 т/га навоза. 1 м^3 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 $\text{м}^3/\text{мин}$ в слое 0–25 см и с 1,01 до 2,00 $\text{м}^3/\text{мин}$ 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

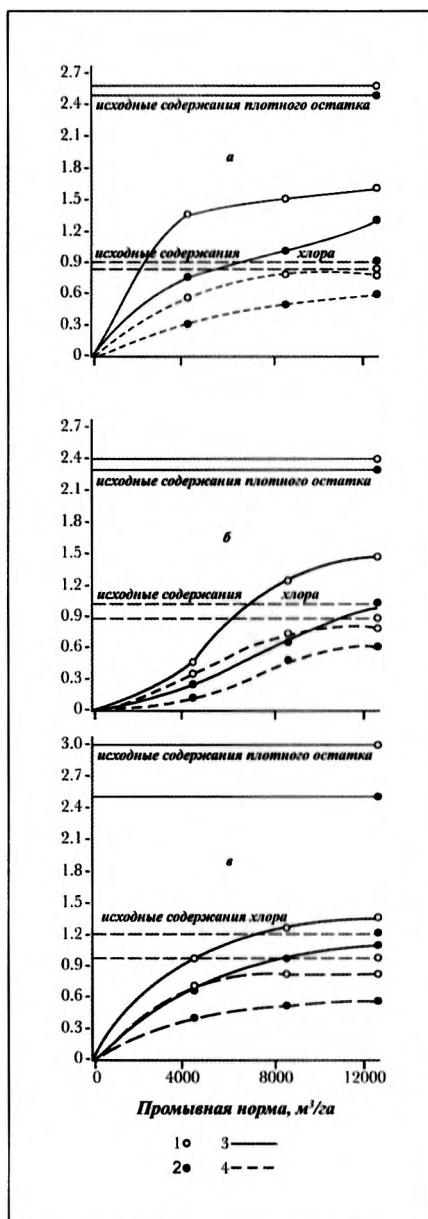


Рис. 11

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
До промывки								
0–25	4,622	нет	0,026 0,42	1,997 56,25	0,301 6,27	0,267 13,32	0,082 6,77	0,985 42,85
25–50	2,090		0,022 0,37	0,861 24,25	0,411 8,56	0,118 5,88	0,031 2,56	0,562 24,74
5–75	2,072		0,024 0,40	0,652 18,37	0,534 11,12	0,098 4,88	0,027 2,22	0,524 22,79
75–100	1,855		0,027 0,45	0,532 15,00	0,483 10,06	0,067 3,33	0,015 1,22	0,482 20,96
100–125	1,637		0,033 0,55	0,515 14,50	0,354 7,37	0,036 1,78	0,008 0,66	0,459 19,98
125–150	1,625		0,033 0,55	0,532 15,00	0,481 10,01	0,049 2,44	0,003 1,11	0,506 22,01
150–175	1,795		0,033 0,55	0,504 14,19	0,629 13,09	0,073 3,66	0,018 1,50	0,521 22,67
175–200	1,687		0,043 0,70	0,472 13,31	0,498 10,37	0,042 2,11	0,011 0,94	0,490 21,33
После третьей промывки								
0–25	0,854	нет	0,046 0,76	0,252 7,10	0,260 5,42	0,018 0,68	0,012 0,98	0,263 11,42
25–50	0,730	-	0,044 0,72	0,096 2,70	0,343 7,14	0,047 2,35	0,018 1,47	0,155 6,74
50–75	0,727	-	0,049 0,80	0,086 2,41	0,354 7,37	0,073 3,66	0,015 1,22	0,131 5,70
75–100	1,148	-	0,056 0,92	0,060 1,70	0,639 13,31	0,039 1,96	0,017 1,37	0,290 12,60
100–125	1,832	-	0,044 0,72	0,085 2,40	1,144 23,83	0,139 6,96	0,061 5,00	0,345 14,99
125–150	1,624	-	0,049 0,80	0,064 1,80	1,009 21,02	1,104 5,19	0,030 2,45	0,367 15,98

Окончание табл. 38

1	2	3	4	5	6	7	8	9
150–175	1,364	-	0,044 0,72	0,099 2,80	0,773 16,10	0,102 5,10	0,027 2,25	0,282 12,27
175–200	0,996	-	0,049 0,80	0,103 2,90	0,530 11,04	0,063 3,14	0,033 2,74	0,204 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 намного увеличилось (табл. 39).

При оценке результатов промывки по интенсивности выщелачивания солевых масс выяснилось, 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	$\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$							Сумма солей
	1	2	3	4	5	6	7	
До промывки								
0–25	0,034 1,05	0,426 13,20		нет	нет	0,368 11,40	0,321 9,95	2,506 77,68
25–50	0,029 0,97	0,374 12,53	0,152 5,09	0,034 1,14				1,415 47,40
50–75	0,032 1,20	0,305 11,44	0,133 4,99	0,314 11,78				1,074 40,28
75–100	0,036 1,33	0,196 7,25	0,074 2,74	0,423 15,65				0,877 32,45
100–125	0,044 1,56	0,084 1,42	0,040 1,42	0,389 13,81	нет	нет	0,830 29,47	1,387 47,68
125–150	0,044 1,58	0,128 4,61	0,066 2,38	0,498 17,93			0,877 31,57	1,613 58,07
150–175	0,044 1,61	0,211 7,70	0,087 3,18	0,602 21,97			0,830 30,30	1,774 64,76
175–200	0,056 2,07	0,096 3,55	0,056 2,07	0,569 21,05			0,778 28,79	1,495 57,53
После третьей промывки								
0–25	0,061 1,89	0,008 0,25	0,059 1,83	0,306 9,49	нет	нет	0,415 12,07	0,849 26,33
25–50	0,056 1,88	0,111 0,72	0,089 2,98	0,287 9,62			0,158 5,29	0,701 23,49
50–75	0,065 2,44	0,195 7,31	0,073 2,74	0,234 8,78			0,141 5,29	0,708 26,56
75–100	0,072 2,66	0,071 2,63	0,082 3,03	0,774 28,64			0,099 3,66	0,098 40,62
100–125	0,058 2,06	0,425 15,09	0,300 10,65	0,894 31,74			0,140 4,97	1,817 64,51

Промывка почв с применением органо-гипсовой смеси

Окончание табл. 39

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

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 рН. Значительно уменьшилось содержание общей щелочности почвы как здесь, так и в глубжележащих 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	>0,001
0–10	0,48 0,27	5,06 17,97	74,28 59,64	0,88 16,48	2,04 2,60	17,26 3,04	20,18 22,12
10–25	0,48 0,70	5,06 10,18	74,28 57,20	0,88 25,12	2,04 4,52	17,26 2,25	20,18 31,92
25–50	0,30 0,88	7,54 8,96	74,54 57,76	7,32 26,72	1,32 3,16	8,98 2,52	17,62 32,40
50–80	0,30 1,12	7,54 10,08	74,54 56,12	7,32 25,84	1,32 2,08	8,98 4,76	17,62 32,68
80–110	0,31 0,61	4,47 10,23	73,68 73,88	5,72 3,56	0,84 7,96	14,98 13,76	21,54 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 SO₄²⁻ 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 SO₄²⁻-иона в глубжележащих 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 Ca-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)

Talyzhnaya, cm	% TМУС	% от суммы Положительные катионы		HCO ₃ %	Коэф- фициент аэроспер- сности, %	Водопроницаемость, мм/мин		Сред- нее за 6 часов						
		C _{ММа}	C _{Ніс}			Z _{Ca}	Z _{Mg}							
0-10	1,03	11,09	0,228	20,72	77,41	11,97	10,62	7,8	0,022	53,34	3,0	0,7833	0,0333	0,1778
	1,15	16,60	0,391	19,67	75,19	24,40	0,41	7,0	0,019	8,37	4,6	1,2500	0,0833	0,3000
10-25	0,87	11,09	0,228	20,72	77,41	11,97	10,62	7,8	0,022	61,73				
	0,92	16,37	1,157	19,41	73,93	20,71	5,36	7,00	0,022	5,87				
25-50	0,80	16,97	0,281	20,49	16,18	23,18	14,64	7,9	0,029	42,52				
	0,85	16,68	0,384	15,99	55,28	37,21	7,51	7,7	0,024	6,71				
50-80	0,34	14,45	0,853	29,85	82,68	12,63	4,69	8,1	0,029	31,27				
	0,36	16,83	1,944	28,67	79,49	17,72	2,79	8,0	0,019	12,65				
80-110	0,036	17,90	1,005	28,18	83,14	11,89	4,97	8,0	0,029	44,43				
	0,36	16,37	1,508	31,14	77,65	19,78	2,57	8,0	0,024	22,73				

в поверхностном, так и в глубоких горизонтах почв. Явное расщеление почвы отмечалось по $\text{Na}+\text{K}$. Все это отразилось на со-пряженности 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 (со-ответственно на 0,047 и 0,076%).

Таблица 42

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

Глубина, см	Плотный остаток	CO_3	HCO_3	Cl	SO_4	Ca	Mg	$\text{Na}+\text{K}$
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

Промывка почв с применением органо-гипсовой смеси

Продолжение табл. 42

1	2	3	4	5	6	7	8	9
75–100	2,740	нет	0,021 0,35	0,674 18,12	1,051 21,89	0,282 14,08	0,037 3,08	0,534 23,20
100–125	2,757		0,021 0,35	0,790 22,50	0,921 19,18	0,269 13,42	0,045 3,74	0,572 24,87
125–150	2,865		0,021 0,35	0,825 22,62	1,056 21,99	0,273 13,64	0,037 3,08	0,649 28,24
150–175	2,625		0,021 0,35	0,781 20,75	1,091 22,72	0,242 12,10	0,040 3,30	0,654 28,42
175–200	2,075		0,024 0,40	0,657 18,12	0,632 13,16	0,106 5,28	0,027 2,20	0,557 24,20

После второй промывки

0–25	0,704	нет	0,034 0,56	0,222 6,10	0,191 3,98	0,025 1,26	0,010 0,80	0,198 8,59
25–50	1,484		0,024 0,40	0,400 11,45	0,210 4,37	0,055 2,76	0,021 1,69	0,271 11,77
50–75	1,442		0,027 0,44	0,612 17,00	0,242 5,04	0,044 2,22	0,010 0,80	0,448 19,46
75–100	2,880		0,019 0,32	0,719 20,10	1,095 22,81	0,266 13,26	0,015 1,25	0,661 28,72
100–125	2,540		0,022 0,36	0,648 17,90	1,009 21,01	0,232 11,57	0,028 2,31	0,584 25,39
125–150	2,130		0,022 0,36	0,550 15,60	0,771 16,06	0,141 7,03	0,018 1,51	0,540 23,48
150–175	1,774		0,022 0,36	0,479 13,40	0,641 13,35	0,084 4,18	0,022 1,78	0,486 21,15
175–200	1,324		0,029 0,48	0,488 13,30	0,342 7,12	0,025 1,25	0,011 0,89	0,431 18,76

После третьей промывки

0–25	0,840	нет	0,039 0,64	0,050 1,40	0,460 9,58	0,118 5,87	0,017 1,42	0,099 4,33
25–50	0,702		0,051 0,84	0,028 0,80	0,399 8,31	0,023 1,16	0,012 0,98	0,180 7,81
50–75	1,270		0,044 0,72	0,028 0,80	0,782 16,29	0,055 2,76	0,009 0,71	0,330 14,34
75–100	1,336		0,044 0,72	0,046 1,30	0,815 16,98	0,105 5,25	0,012 0,98	0,294 12,77
100–125	1,792		0,039 0,64	0,213 6,00	0,950 19,79	0,105 5,25	0,025 2,05	0,440 19,13

Окончание табл. 42

1	2	3	4	5	6	7	8	9
125–150	1,996	нет	0,037 0,60	0,369 10,40	0,876 18,25	0,086 2,76	0,016 1,33	0,544 23,65
150–175	1,754		0,039 0,64	0,341 9,60	0,765 15,93	0,046 2,31	0,013 1,07	0,524 22,79
175–200	1,660		0,049 0,80	0,323 9,10	0,718 14,96	0,030 1,51	0,016 1,33	0,506 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	0,033 1,02	0,791 24,52	0,096 2,98	нет	0,134 4,15	0,882 58,34	2,936 91,01
25–50	0,029 0,97	0,511 17,12	0,187 6,27		нет	1,684 56,41	2,427 81,31
50–75	0,029 1,09	0,299 11,21	0,123 4,61	0,319 11,96		1,392 52,20	2,162 81,07
75–100	0,049 1,81	0,143 5,29	0,071 2,63	0,447 16,54	нет	1,140 42,18	1,850 68,45
100–125	0,039 1,39	0,224 7,95	0,084 2,98	0,382 13,56		1,175 41,71	1,904 67,59
125–150	0,037 1,33	0,351 12,64	0,123 4,43	0,168 6,05		1,024 36,86	1,703 61,31
150–175	0,052 1,92	0,037 1,37	0,045 1,67	0,581 21,50		1,071 39,63	1,786 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 Ca . 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^{2-} 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 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 1 т 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 контролльном 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 солеотдачи солонцовых засоленных почв, мы считали целесообразным испытать его при мелиорации засоленных почв с низкой солеотдачей. 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 делянках, 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.Читчяном 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.Сабольч, 1965; Херке

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

Интерес к экспериментированию веществ, содержащих сернокислое 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 подкислиителя, содержащего главным образом железистые и алюминиевые соединения, осуществлялась нами в условиях мелкоделяночных (15м^2), крупноделяночных (600м^2) опытов в Сиязань-Сумгайытском 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 из второго метрового 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^{2-} и Ca , содержание которых в слое 0–25 см значительно сократилось, а в глубже лежащих

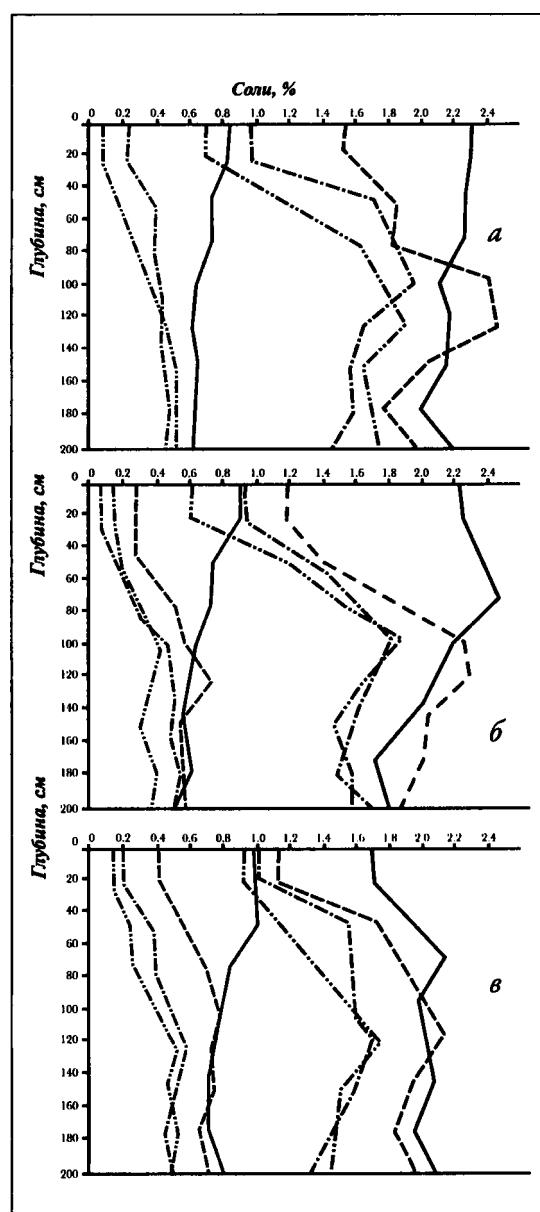


Рис. 12

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	0,032 0,52	0,728 20,50	0,150 3,12	0,0032 1,62	0,018 1,51	0,481 21,01
25–50	2,756		0,032 0,52	1,029 29,00	0,640 13,33	0,063 3,13	0,012 0,97	0,891 38,75
50–75	3,328		0,024 0,40	0,973 27,40	1,155 23,22	0,113 5,62	0,018 1,51	1,009 43,89
75–100	3,028		0,027 0,44	0,887 25,00	1,004 20,91	0,091 4,54	0,006 0,54	0,949 41,27
100–125	3,024		0,024 0,40	0,951 26,80	0,967 20,14	0,093 4,64	0,005 0,43	0,972 42,26
125–150	2,702		0,027 0,44	0,895 25,20	0,776 16,16	0,048 2,38	0,014 1,19	0,879 38,24
150–175	2,312		0,037 0,60	0,902 25,40	0,518 10,79	0,026 1,30	0,012 0,97	0,794 34,52
175–200	2,366		0,037 0,60	0,958 27,00	0,638 13,29	0,045 2,27	0,020 1,62	0,851 37,00
После первой промывки								
0–25	0,750	нет	0,070 1,15	0,311 8,75	0,096 2,00	0,013 0,67	0,003 0,27	0,252 10,96
25–50	1,952		0,027 0,45	0,270 7,62	0,935 19,47	0,135 6,75	0,015 1,28	0,449 19,51

Промывка почв с применением органо-минерального подкислителя

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	нет	<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		<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	0,033 0,55	0,084 2,37	0,252 5,25	0,081 4,07	0,013 1,11	0,069 2,99
75–100	0,661		0,030 0,50	0,128 0,68	0,262 5,45	0,087 4,07	0,013 1,11	0,102 4,45
100–125	1,785		0,024 0,40	0,244 6,87	0,9 19,11	0,089 4,44	0,012 1,00	0,484 21,04
125–150	1,805		0,026 0,42	0,701 19,75	0,425 8,85	0,047 2,33	0,015 1,22	0,586 25,45
150–175	2,125		0,032 0,52	0,701 19,75	0,637 13,26	0,067 3,33	0,018 1,50	0,660 28,70
175–200	2,520		0,027 0,45	0,816 23,00	0,698 14,53	0,084 4,22	0,021 1,72	0,737 32,04

Таблица 45

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

Глубина, см	Ca (HCO ₃) ₂	Mg (HCO ₃) ₂	Na HCO ₃	CaSO ₄	MgSO ₄	Na ₂ SO ₄	NaCl	Сумма солей
								1
До промывки								
0–25	0,042 1,30	нет	нет	0,076 2,36	0,073 2,26	0,036 1,12	0,199 37,17	0,426 44,21
25–50	0,012 1,41			0,177 5,93	0,057 1,91	0,792 26,53	0,696 56,82	2,764 92,60
50–75	0,033 1,24			0,355 13,31	0,090 3,38	0,070 40,13	0,602 60,08	3,150 118,14
75–100	0,036 1,33			0,279 10,32	0,032 1,18	0,154 42,70	1,462 54,09	2,963 109,62
100–125	0,032 1,14			0,288 10,22	0,026 0,92	1,567 55,63	1,567 55,63	3,012 106,93
125–150	0,036 1,30			0,132 4,75	0,071 2,56	0,925 33,30	1,135 53,16	2,649 95,37

Промывка почв с применением органо-минерального подкислителя

Продолжение табл. 45

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

Окончание табл. 45

1	2	3	4	5	6	7	8	9
После третьей промывки								
0–25	0,053 1,86	нет	нет	0,016 0,56	0,018 0,63	0,014 0,49	0,049 1,72	0,150 5,25
25–50	0,041 1,44			0,111 3,89	0,067 2,35	0,031 1,09	0,047 1,65	0,297 10,42
50–75	0,045 1,58			0,239 8,37	0,067 2,35	0,044 1,58	0,139 4,87	0,535 18,75
75–100	0,041 1,44			0,243 8,51	0,067 2,35	0,055 1,93	0,215 7,53	0,621 21,74
100–125	0,033 1,17			0,275 9,76	0,060 2,13	0,299 10,61	0,402 14,27	1,074 38,12
125–150	0,034 1,22			0,130 4,68	0,074 2,66	0,407 14,65	1,155 41,58	1,800 64,79
150–175	0,042 1,53			0,190 6,94	0,090 3,29	0,636 23,21	1,155 42,16	2,113 77,13
175–200	0,036 1,33			0,256 9,47	0,104 3,85	0,642 23,75	1,345 49,77	2,383 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	0,032 0,52	0,660 18,60	0,127 2,64	0,017 0,86	0,009 0,76	0,463 20,14
25–50	3,294		0,019 0,32	0,859 24,20	1,148 23,91	0,117 5,83	0,016 1,36	0,950 41,31
50–75	2,178		0,019 0,32	0,824 23,20	0,898 18,70	0,080 4,00	0,016 1,30	0,849 36,93
75–100	2,846		0,019 0,32	0,838 23,60	0,948 19,75	0,093 4,64	0,015 1,19	0,870 37,84

Промывка почв с применением органо-минерального подкислителя

Продолжение табл. 46

1	2	3	4	5	6	7	8	9
100–125	3,094	нет	0,019 0,32	0,919 25,90	0,971 20,22	0,009 4,86	0,016 1,30	0,926 40,28
125–150	3,330		0,019 0,32	0,937 26,40	1,122 23,37	0,117 5,83	0,021 1,73	0,978 42,53
150–175	3,064		0,019 0,32	1,058 29,80	0,829 17,27	0,091 4,54	0,015 1,19	0,958 41,67
175–200	3,100		0,019 0,32	1,086 30,60	0,873 18,18	0,097 4,86	0,022 1,84	0,975 42,40

После первой промывки

0–25	0,280	нет	0,064 1,05	0,057 1,62	0,062 1,29	0,003 0,17	0,001 0,11	0,085 3,68
25–50	2,017		0,030 0,50	0,089 2,50	1,165 24,25	0,176 8,77	0,016 1,33	0,394 17,15
50–75	1,822		0,027 0,45	0,395 11,12	0,664 13,12	0,064 3,22	0,011 0,89	0,489 21,28
75–100	2,322		0,024 0,40	0,701 19,75	0,690 14,36	0,098 4,88	0,020 1,67	0,643 27,96
100–125	2,425		0,024 0,40	0,834 23,50	0,562 11,70	0,089 4,44	0,022 1,78	0,676 29,38
125–150	1,880		0,027 0,45	0,701 19,75	0,386 8,03	0,047 2,33	0,013 1,11	0,570 24,79
150–175	2,625		0,021 0,35	0,989 27,87	0,674 14,03	0,144 7,21	0,033 2,78	0,742 32,26
175–200	2,165		0,019 0,32	0,821 23,12	0,395 8,22	0,064 3,22	0,019 1,55	0,618 26,89

После третьей промывки

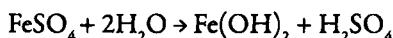
0–25	0,300	нет	0,030 0,50	0,062 1,75	0,099 2,06	0,011 0,55	0,003 0,23	0,081 0,52
25–50	0,552	0,003 0,10	0,037 0,50	0,018 0,50	0,222 4,82	0,009 0,44	0,003 0,23	0,118 5,15
50–75	1,027	0,001 0,05	0,032 0,52	0,057 1,52	0,506 10,53	0,002 1,11	0,005 0,44	0,257 11,17

Окончание табл. 46

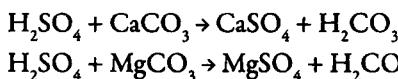
1	2	3	4	5	6	7	8	9
75–100	1,390	0,001 0,05	0,032 0,52	0,080 2,25	0,699 14,55	0,044 2,22	0,009 0,72	0,332 14,43
100–125	1,095	0,003 0,10	0,021 0,35	0,142 4,00	0,440 9,16	0,022 1,11	0,005 0,39	0,278 12,11
125–150	1,227	0,003 0,10	0,027 0,45	0,275 7,75	0,401 8,35	0,024 1,22	0,005 0,44	0,345 14,99
150–175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

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

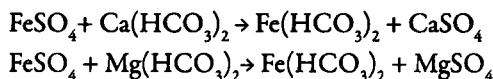
Как известно, действующим началом этого мелиоранта является серная кислота, высвободившаяся при гидролитическом расщеплении солей по следующей схеме:



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 $116 \text{ м}/\text{га}$. В несколько большем количестве ($133,6 \text{ т}/\text{га}$) эта соль вымылась из слоя $1-2 \text{ м}$.

В результате воздействия сернокислого железа в полуметровом верхнем слое почвы после первой промывки накопилось $6 \text{ т}/\text{га}$ сернокислого кальция и $5 \text{ т}/\text{га}$ 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 ($4000 + 4000 \text{ м}^3/\text{га}$), 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 $24 \text{ т}/\text{га}$. 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 масса 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 на-воза. 1 м³ воды выщедавивал 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

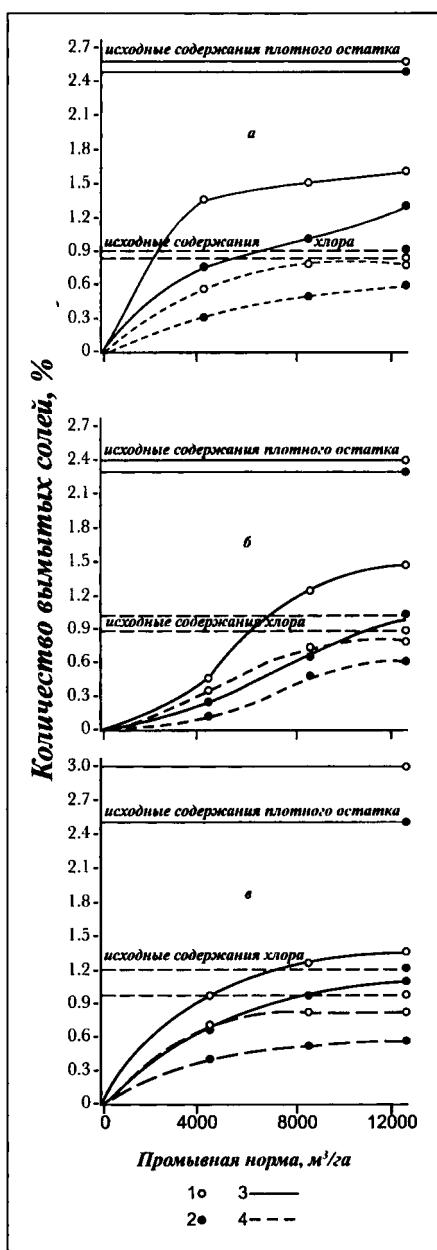


Рис. 13

основание не согласиться с предположениями А.П.Розова (1956), В.И.Чхиквишвили (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 плодового 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^{2-} 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 Na^+ - 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^{2-} 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	0,042 1,30	нет	0,023 0,71	0,045 1,40	0,109 3,38	1,088 33,73	нет	1,307 40,52
25–50	0,025 0,84		0,374 12,53	0,078 2,61	1,123 40,64	1,416 47,44		3,106 104,06
50–75	0,025 0,94		0,251 9,41	0,078 2,93	0,973 36,49	1,358 50,93		2,685 100,70
75–100	0,025 0,93		0,293 10,84	0,070 2,59	1,010 37,37	1,381 51,10		2,779 102,83
100–125	0,025 0,89		0,309 10,97	0,078 2,77	1,021 36,25	1,515 53,78		2,948 104,66
125–150	0,025 0,90		0,374 13,46	0,104 3,74	1,145 41,22	1,544 55,58		3,192 114,90

Глава IX

Окончание табл. 47

1	2	3	4	5	6	7	8	9
150–175	0,025 0,91	нет	0,286 10,44	0,071 10,44	0,071 2,59	0,842 30,73	нет	2,967 108,29
175–200	0,025 0,93		0,309 11,43	0,110 4,07	0,837 30,07	1,790 66,23		3,071 113,63
После первой промывки								
0–25	0,017 0,53	0,008 0,25	нет	0,092 2,85	0,092 2,85	0,095 2,95	нет	0,227 8,60
25–50	0,041 1,37	нет	0,562 18,83	0,080 2,68	1,040 34,84	0,094 3,15		1,817 60,87
50–75	0,036 1,35		0,188 7,05	0,053 1,99	0,721 27,04	0,651 24,41		1,649 61,84
75–100	0,032 1,18		0,305 11,29	0,100 3,70	0,583 21,57	1,155 42,74		2,175 80,48
100–125	0,032 1,14		0,275 9,76	0,107 3,80	0,417 14,80	1,375 48,81		2,206 78,31
125–150	0,036 1,30		0,128 4,61	0,067 2,41	0,358 12,89	1,155 41,58		1,744 62,79
150–175	0,028 1,02		0,467 17,05	0,167 6,10	0,312 11,39	1,630 59,50		2,604 95,06
175–200	0,026 0,96		0,197 7,29	0,093 3,44	0,268 9,92	1,353 50,06		1,937 71,67
После третьей промывки								
0–25	0,036 1,12	нет	0,003 0,09	0,014 0,43	0,126 3,91	0,102 3,16	нет	0,281 8,71
25–50	0,036 1,21	0,012 0,40	нет	0,004 0,13	0,323 10,82	0,029 0,97	0,005 0,17	0,409 13,70
50–75	0,042 1,58	нет	0,040 1,50	0,026 0,98	0,674 25,28	0,094 3,53	0,003 0,11	0,879 32,98
75–100	0,042 1,55		0,116 4,29	0,043 1,59	0,861 31,86	0,132 4,88	0,003 0,11	1,197 44,28
100–125	0,028 0,99		0,051 1,81	0,024 0,85	0,568 20,16	0,234 8,31	0,005 0,18	0,910 32,30
125–150	0,036 1,30		0,052 1,87	0,026 0,94	0,507 18,25	0,453 16,31	0,005 0,18	1,079 38,85
150–175	0,036 1,31		0,026 0,95	0,023 0,84	0,472 17,23	0,534 19,49	0,005 0,18	1,096 40,00
175–200	0,036 1,33		0,045 1,67	0,033 1,22	0,476 17,61	0,534 19,76	0,005 0,19	1,129 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 — $Mg(HCO_3)_2$ и $Na(HCO_3)_3$, то в глубжележащих горизонтах оно привело к увеличению количества $Ca(HCO_3)_2$. 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. 12.6). 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 очвогрунта. 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 $Na+K$ и почти настолько же со-

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

держание SO_4^{2-} . Количество Ca и Mg понизилось до ничтожной величины (табл. 46).

В слое 25–200 см в количестве 0,003–0,005% появилась 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 характеризуемых 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 m^3 воды способствовал выносу 11,9 кг/га солей. На выщелачивание 1 т солей понадобилось 83,2 m^3 /га воды, т.е на 10,5 m^3 /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 оказалось 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^{2-} -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 активнодействующим 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 (%/мэkv)

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

Глава IX

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

Промывка почв с применением органо-минерального подкислителя

Окончание табл. 48								
1	2	3	4	5	6	7	8	9
25–50	0,438	нет	0,10 0,32	0,127 2,08	0,071 2,00	0,094 1,96	0,006 0,32	0,001 0,11
50–75	1,148		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 характеризуемом 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
До промывки								
0–25	0,065 2,02	нет	нет	0,232 7,19	0,136 4,22	0,265 8,22	0,860 26,66	1,558 46,31
25–50	0,052 1,74			0,302 10,12	0,155 5,19	0,096 3,22	0,958 32,09	1,563 52,36
50–75	0,044 1,65			0,418 15,68	0,154 5,78	нет	1,564 58,65	2,212 82,96
75–100	0,048 1,78			0,525 19,43	0,233 8,62	0,047 1,74	1,486 64,98	2,339 86,55
100–125	0,052 1,85			0,581 20,63	0,188 6,67	0,297 10,54	1,439 51,09	2,557 90,78
125–150	0,056 2,02			0,313 11,27	0,175 6,30	0,552 19,87	1,322 47,59	2,418 87,05
150–175	0,052 1,90			0,382 13,94	0,181 6,61	0,377 13,76	1,305 47,63	2,297 83,84
175–200	0,061 2,26			0,257 9,51	0,110 4,07	0,331 12,25	1,257 46,51	2,016 74,60
После первой промывки								
0–25	0,057 1,77	нет	нет	0,685 21,24	0,132 4,09	0,628 19,47	0,153 4,74	1,655 51,31
25–50	0,057 1,91			0,738 24,72	0,158 5,29	0,940 31,49	0,366 12,26	2,259 75,68
50–75	0,053 1,99			0,756 26,36	0,158 5,93	0,800 30,00	0,512 19,20	2,279 85,46
75–100	0,057 2,11			0,648 23,98	0,132 4,88	1,128 41,74	0,900 33,30	2,865 106,01
100–125	0,065 2,31			0,300 10,65	0,119 4,23	0,437 15,51	1,104 39,19	2,025 71,89
125–150	0,061 2,20			0,203 7,31	0,099 3,56	0,464 16,70	1,024 36,86	1,851 66,64
150–175	0,069 2,42			0,144 5,04	0,073 2,56	0,643 22,51	0,834 29,19	1,763 61,72

Промывка почв с применением органо-минерального подкислителя

(Окончание табл. 49)

1	2	3	4	5	6	7	8	9
175–200	0,073 2,70	нет	нет	0,118 4,27	0,079 2,92	0,496 18,35	0,951 35,19	1,717 63,53

После второй промывки

0–25	0,050 1,55	0,007 0,22	нет	нет	0,022 0,68	0,175 5,43	0,135 4,19	0,389 12,07
25–50	0,049 1,64			0,093 3,12	0,048 1,61	0,572 19,16	0,199 6,67	0,961 32,20
50–75	0,039 1,46			0,484 18,53	0,059 2,21	1,077 40,39	0,134 5,03	1,803 67,62
75–100	0,065 2,41			0,481 17,80	0,119 4,40	0,016 37,59	0,257 9,51	1,938 71,71
100–125	0,055 1,95			0,416 14,77	0,124 4,40	1,017 36,10	0,462 16,40	2,074 73,62
125–150	0,042 1,51			0,249 8,96	0,080 2,88	0,440 15,84	0,831 29,92	1,642 59,11
150–175	0,052 1,90			0,084 3,07	0,022 0,80	0,378 13,80	0,708 25,84	1,244 45,41
175–200	0,045 1,67			0,173 6,40	0,080 2,96	0,314 11,62	1,018 37,87	1,630 60,32

После третьей промывки

0–25	0,035 1,09	0,008 0,25	0,059 1,83	нет	нет	0,077 2,39	0,158 4,90	0,337 10,45
25–50	0,026 0,87	0,008 0,27	0,139 4,66			0,139 4,66	0,117 3,92	0,446 14,94
50–75	0,078 2,93					0,082 3,08	0,026 0,98	0,088 31,20
75–100	0,055 2,04					0,075 2,78	0,032 1,18	0,462 19,95
100–125	0,045 1,60					0,265 9,41	0,101 3,59	1,166 41,48
125–150	0,039 1,40					0,334 12,02	0,101 3,64	1,722 35,50
150–175	0,045 1,64					0,452 16,50	0,129 4,71	61,28
175–200	0,052 1,92					0,382 14,13	0,182 6,73	1,971 48,29
								2,298 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^{2-} -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 0,0472% (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 глубжележащих 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 $\text{m}^3/\text{га}$ и по хлору — 137,9 $\text{m}^3/\text{га}$ воды. 1 m^3 воды выщелачивал из характеризуемого слоя почвы 9,6 кг/га солей по плотному остатку и 7,2 кг/га по хлору.

Изменение физико-химических свойств почвы. Как уже было отмечено, внесение в почву органо-минерального подкислителя, содержащего главным образом сернокислос 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 т/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 г/га
органико-минерального подкислителя (до/после промывки)

Layer, cm	LTMyc, %	CaCO ₃ no CO ₂ , %	Tinc, %	Amount of meq	Поглощенные катионы, %		Водопроницаемость, мм/мин		CpAHee 6-on'yaac	CpAHee za 6 yaacoB
					Ca	Mg	NH ₄ ⁺	HCO ₃ ⁻	Ko3f.Ancnepehcoctv	
0-9	1,50	16,54	0,740	29,17	80,87	12,27	6,86	8,1	0,045	17,67
	1,67	16,78	0,164	52,13	72,34	27,66	0,00	7,8	0,060	11,19
9-23	1,03	16,54	0,740	29,17	80,87	12,27	6,86	8,1	0,083	20,96
	1,15	17,26	0,362	44,37	65,58	31,51	4,91	7,8	0,049	19,16
23-43	0,71	15,86	0,272	27,60	62,54	22,49	7,29	7,2	0,072	23,64
	0,80	17,08	0,230	50,59	66,50	28,68	4,82	7,9	0,050	22,53
43-64	0,50	15,86	0,272	26,56	74,93	16,79	8,28	8,00	0,069	22,40
	0,58	17,17	0,384	50,88	69,05	26,08	4,87	7,9	0,052	24,56
64-82	0,50	17,45	0,337	26,59	74,84	16,89	8,27	8,0	0,063	14,60
	0,50	17,99	0,459	46,90	59,57	31,90	8,53	7,9	0,058	25,90
82-106	0,50	17,45	0,308	25,31	68,28	20,66	11,06	8,2	0,066	30,30
	0,49	17,92	0,450	42,72	53,89	31,51	14,60	8,2	0,059	24,97
106-117	-	16,54	0,219	-	-	-	-	-	-	-
		15,65	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.

B.T.Cheng, 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 А.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, мсл.

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 электрохимическим 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	> 0,1
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.Blastmore (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 (кенетически промежуточные ионы) гидроокиси прилипают к поверхности глин, образуя ядра для последующей концентрации. Глины, смешанные с гелеобразными осадками (конечными стадиями гидролиза), в опытах A.V.Blastmore 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 $\text{cm}^3/\text{мин}$, а в слое 25–50 см — с 0,92 до 3,00 $\text{cm}^3/\text{мин}$. 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, водо-физических свойств и производительности почвы. Однако из испытанных доз этого мелиоранта мы отдааем 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 действие 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.Каменщиковской (1972) подчеркивается положительная роль FeSO_4 на урожайность сахарной свеклы, пшеницы, зеленой массы кукурузы и донника и отмечалось, что этот реагент нисколько 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.Elgalо (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 окультуривании 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.

Промывка почв с применением органо-минерального подкислителя

Таблица 52

Основные показатели результатов промывки почв с применением органо-минерального подкислителя

Солеотдача почв в слое 0-1 м, плотн.остаток хлора		Урожайность культур Урожай п/га Прибавка, %	Хлопчат- ник
Варианты промывки с примесью оргano-ми- нерального подкислителя (ОМП)	Масса соли (автомобильное) засоление, т/га		
Удалено солей	1 т солей, м ³ /га	Быстроотдающиеся почвы. Водопроница- емость почвы. мм/мин I/IV час	Рис Ячмень
Солеотдача почв в слое 0-1 м, плотн.остаток хлора	1 т солей, м ³ /га	Быстроотдающиеся почвы. Водопроница- емость почвы. мм/мин I/IV час	Хлопчат- ник

Еще в 30-е годы Л.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 наблюдалось 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, Л.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.Чхиквишили (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, Kleinheempel Dieter (1972) показано положительное влияние солей Fe и Al даже на оптическую плотность гумусовых веществ и повышение их микробиологической устойчивости. H.M.El.Rayah и D.L.El.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 (0,1000мм/мин).

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

Промывка почв с применением органо-минерального подкислителя

вывод. Вещества, содержащие соли Fe и Al, при промывке должны вноситься в почвы в такой дозе, которая могла бы оказаться достаточной для нейтрализации щелочности, активизации 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 СОЛЕОДАЧЕЙ

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 характеризуемого 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 при вершинной зоне 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 межгривных 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 учащение коллекторно-дренажной сети (до 200–300, а иногда и до 100 м) и резкое увеличение нормы промывки (до 70–100 тыс.м³га). 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 салоотдачей. Нельзя забывать, что если почвы не фильтруют воду или фильтруют ее довольно слабо, то всякое увеличение нормы промывной воды да и сгущение 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 обеспечивает 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 долголетних исследований и обобщения литературных материалов, мы установили, что трудность промывки засоленных почв делювиальных и аллювиальных равнин, а также шлейфов речных конусов 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 1т 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 фракций резкому улучшению физико-химических и водно-физических свойств, а следовательно, достаточному повышению солеотдачи 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 солеотдачей. 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 водонапроницаемости 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 1т 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: 10т/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 1м 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 , Na_2SO_4 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 0–1м. 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 характеризуемых 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 pH-среда почвы. Все это способствовало значительному сокращению фактора дисперсности почвы (более чем в 2 раза). В микропрегратном составе илистая фракция стала меньше примерно в 2–3 раза, содержание же структурообразующих фракций, наоборот, несколько увеличилось. В 2 раза увеличился коэффициент водо-проницаемости 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 солового 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 рН. 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 подкислиителя, содержащего главным образом сернокислые соли железа и алюминия, оказалось весьма эффективным в повышении солеотдачи, улучшении физико-химических, водо-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 1т солей по плотному остатку потребовалось 83–104 м³/га воды. Благодаря многовалентности катионов и высоким электрохимическим потенциалам железо и алюминий, 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 испытуемые 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, расчитанные по формуле В.Р. Волобуева (1967).

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

где n — промывная норма, м^3 ;

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

S_0 — допустимое солесодержание 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 национа, при которых значение α — колебалось в пределах 2,0–4,0.

Глава X

Таблица 53

Варианты промывки почв	Стоимость	Урожай растений	Стоимость продукции	Экон. эффект		
				I roa	II roa	III roa
Только промывка водой	30,0	1392	-	-	-	-
Промывка с применением 10 т/га	5,2	205	70	2	8	5
Гипса	5,7	202	140	4	16	10
40 т/га	5,7	198	208	8	32	20
Промывка с применением 10+40 т/га	4,0	149	226	10	40	25
гипса+навоза	2,0	108	261	11	44	27,5
20+40 т/га	3,2	130	296	12	48	30
Промывка с применением 10 т/га	6,3	231	70	6	30	4
серной кислоты	4,0	266	140	12	60	8
40 т/га	7,5	238	210	18	90	12
Промывка с применением органо-гипсовой смеси	3,5	139	-	2	8	5
40 т/га	5,2	180	-	4	16	10
Промывки с применен. органоминерального	5,2	137	-	2	8	5
подкислителя	5,0	179	-	8	32	20

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 водо-проницаемости 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 окупаются 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 подкислиителя. Благодаря этим мелиорантам в первый год после промывки не только окупаются мелиоративные расходы, но и будут получены значительные прибыли. При этом если в 1ый 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 окупаются 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-ви ноградные 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. Солонцовьые 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-буровой почвы подгорной равнины Азербайджана. "ДАН Азерб. ССР", т.ХХ, № 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 солового 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. Всесоюзн. 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-Каратая И.Н., Филиппова В.Н. Изменение солонцеватости почв Заволжья под влиянием химической мелиорации и орошения. М., 1936.

Антипов-Каратая 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 полизлектролитов 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 солонцевато-солончаковых почв. "Тр. Почв. ин-та АН СССР", т.52, 1957.

Васильева Л.И., Комеников Л.М. Влияние мелиорирующих веществ на биологическую активность солнца. 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 Mp. Влияние величины pH почвы на поглощение Mp. 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 помо-щи дождевания. Физика почв СССР. Сельхозгиз, 1936.
- Зонн С.В. Роль солей железа, алюминия, кальция в химической ме-лиорации 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 низмен-ности. Автореф. дисс. Баку, 1966.
- Кадри Л.Т. Аллювиальные почвы Ирака. Матер. междунар. симпоз. по мелиор. почв содового засоления. Ереван, 1971.
- Канвар Ю.С., Бумбла Д.Р. Физико-химическая характеристика со-лонцовых 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 желези-стых пленок с минералами, встречающимися в почве. "Почвоведение", № 1, 1962.
- Кисляков Л.В. Изменение физических, водоно-физических и хими-ческих свойств черноземных, лугово-степных солонцов под влиянием гипсования. "Тр. Целиногр. с. х. ин-та", 8, № 3, 1973.
- Кобзев В.В. Некоторые физико-химические особенности мелиора-ции содовых солонцов гипсом и отходами промышленности (на при-мере 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 засолен-ных 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 низ-менности 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.

Литература

Ковда В.А. Основы теории и практики мелиорации и освоения засоленных почв аридной зоны. В сб.: "Пробл. засол. 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 Л.М. Сравнительное изучение эффективности мелиорирующих веществ при окультуривании 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-проловиального 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., Пламенач 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). "Груды 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.

Мсянну 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 Рущецу (Румынская равнина). Матер. междунар. симпоз. по мелиор. почв содового засоления. Ереван, 1971.

Опрая 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.

Литература

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.

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

Приходько Н.В. О возможном значении кальция в повышении со-леустойчивости 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 почви. 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 Л.П. Мелиоративное почвоведение. М., Сельхозгиз, 1936.

Розов Л.П. Мелиоративное почвоведение М., Сельхозгиз, 1956.

Сабольч И., Дараб К., Варалля 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.

Теймурев К.Г., Ахундов А.К. О сроках промывки почв, засоленных сульфатно-натриевым составом солей. "ДАН Азерб. ССР", № 10, 1960.

Теймурев К.Г. Промывка сульфатных солончаков с предварительной химизацией. "Хлопководство", № 4, 1964.

Тюлин А.Ф. Роль коллоидных полуторных окислов в поглотительной 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. "Агрехимия 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., Каменщикова Л.М. Характеристика и перспективы использования солончаковых почв Донбасса. "Пр. Харьковского с. х. ин-та", 170, 1972.

- Albrecht William A. Nutritional role of calcium in plants. I. Prominent in the non-legume crops, sugar beets. 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-улут аль-арази ли-ль джумхурия аль-арабийя аль-муттакида", 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 salinos. III. Influencia de la napa en el proceso de recuperacion. Rev. invest., agrocult., 1970, Ser. 3, 7, No. 3.
- Filipovski Gj. Svojstva, klassifikacija i melioracija slatina u delti Nila (UAR). Zemljiste i biljka. 1968, 17, Nr. 1.
- Filipovski Gj. Uslovi geneze i dominantni procesi u obrazovanju 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. Los suelos salinos de las marismas del sur Espana. Evolucion de los terrenos salinos de las marismas del Guadaquivir, 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. Sos. Amer. Proc.* 1973, 37, No. 1.

K r i s h m 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 Kenneth L. Cation uptake from bentonite suspensions by axi sed barley roots. *Plant and Soil*, 1970, 33, No. 2.

Lavado Raul S. *Ensayo de recu peracion a campo en un suelo salino-alealino del Valle de Viedma "Idia"*, 1972, No. 292.

Maan Viljavuustekujojin Keskinii iset vnorosuhteet maala-feiltain. Maataloustiet. Alkakausn, 1970, Vuos, 42, Vihko 1.

Molle K.C. og Jessen T. Fastliggende forzog med gips, kalk og godning pa klacgiord i skjernadalen 1963–1968. Beretning fra statens Forsogsvirk-somhed i plantekultur. *Tidsskr. planteavl.*, 1970, Bd. 74, H. 1. s.

Matsumoto Satoshi, Nada Hidenore, Takai Yasuo. Mechanism of subsoil absorption 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. Landou-wetesch. Rijksuniv. Gent.*, 1972, 37, Nr. 3.

Obrajau 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-улут 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 Frores A. Preliminary study on some saline soils of Peru using a hydrophobic emulsion. Med. Fac. Land-bouwuniversiteit. 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

Santamaría Raul M. Petnemann Narman. En sayo de lavado en columnas de suelos Sali nos su aplicación a suelos des valle. Rev. Invest. Agropecuar. 1969 ser. 3, 6, Nr.2., Inferior del río 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. Nplyn Neglanu wapnia I zniaczkon zelaza driatania. 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

Литература

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 $\frac{1}{16}$.
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