

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РФ
НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИНСТИТУТ ЗЕМЛЕДЕЛИЯ И ХИМИЗАЦИИ
СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА СФНЦА РАН
ИНСТИТУТ ПОЧВОВЕДЕНИЯ И АГРОХИМИИ СО РАН

**ДЛИТЕЛЬНОСТЬ ДЕЙСТВИЯ
ХИМИЧЕСКОЙ МЕЛИОРАЦИИ НА СВОЙСТВА
СОЛОНЦОВ БАРАБИНСКОЙ РАВНИНЫ**

Монография

Под общей редакцией доктора
сельскохозяйственных наук
профессора Н. В. Семендяевой

Новосибирск 2017

УДК 631.445.53:631.6 (571.14)
ББК 40.3/.4 (2 Рос – 4 Нов)
Д 515

Авторы: *Н. В. Семендяева, Н. В. Елизаров, Л. П. Галеева,
Л. Н. Коробова*

Рецензенты: *Н. Н. Шипилин*, д-р с.-х. наук (НГАУ);
Т. Г. Ломова, канд. с.-х. наук (СибНИИ кормов СФНЦА РАН)

Д 515 Длительность действия химической мелиорации на свойства солонцов Барабинской равнины: монография / Н. В. Семендяева, Н. В. Елизаров, Л. П. Галеева, Л. Н. Коробова; под общ. ред. Н. В. Семендяевой; Новосиб. гос. аграр. ун-т; Сиб. НИИ земледелия и химизации СФНЦА РАН, Ин-т почвоведения и агрохимии СО РАН. – Новосибирск: ИЦ НГАУ «Золотой колос», 2017. – 190 с.

ISBN 978-5-94477-203-9

В монографии представлены результаты многолетних исследований длительного действия одноразового внесения гипса на свойства мало- и многонатриевых гидроморфных солонцов Барабинской равнины. Установлено, что внесение полной нормы гипса, рассчитанной по методу К. К. Гедройца, продолжает действовать в течение 30 и более лет. При этом улучшаются физические, физико-химические и химические свойства солонцов, увеличивается содержание и улучшается качественный состав гумуса, усиливается микробиологическая деятельность. По свойствам и продуктивности длительно мелиорированные солонцы приближаются к черноземно-луговым и лугово-черноземным солонцевато-солончаковым почвам. При поднятии уровня минерализованных грунтовых вод происходит засоление профиля, а при его опускании содержание солей снова снижается.

Книга представляет интерес для почвоведов, агрохимиков, работников сельского хозяйства, а также преподавателей, студентов и аспирантов биологического профиля.

УДК 631.445.53:631.6 (571.14)
ББК 40.3/.4 (2 Рос – 4 Нов)

ISBN 978-5-94477-203-9

© Н. В. Семендяева, Н. В. Елизаров,
Л. П. Галеева, Л. Н. Коробова, 2017
© Новосибирский государственный
аграрный университет, 2017

Солонцы – не зло, их надо изучить
и научиться управлять ими, тогда
они будут работать нам на пользу...

В. В. Докучаев

ВВЕДЕНИЕ

В настоящей работе излагаются результаты изучения длительного действия одноразового внесения гипса в солонцы корковые луговые Барабинской равнины.

В 70–80-е годы прошлого столетия большое внимание уделялось освоению солонцовых почв и вовлечению их в сельскохозяйственный оборот, так как они являлись главным резервом расширения сельскохозяйственных угодий. Общая площадь солонцов в Западной Сибири составляет 8,8 млн га, из них 4,4 млн га приходится на пашню и столько же на сенокосы и пастбища. В Новосибирской области солонцы повсеместно встречаются на территории Барабы и Северной Кулунды. Общая их площадь – 2530,7 тыс га.

В период активного освоения целинных земель исследователями было предложено несколько методик повышения плодородия для разных агромелиоративных группировок солонцов. В том числе учеными Сибирского отделения ВАСХНИЛ (в настоящее время СФНЦА РАН) была разработана перспективная методика освоения солонцов Барабы для сенокосов и пастбищ по типу послойной обработки (Молоканов, 1975; Кулебакин, 1980; Константинов, 2000; Яковлев, 1989; Константинов и др., 2011, и др.). Но самым эффективным, долговременным, так называемым «коренным» приемом улучшения целинных солонцов, особенно корковых и мелких, признана химическая мелиорация. Был заложен ряд опытов в Омской области (Градобоев и др., 1973; Березин, 2005, и др.), Алтайском крае (Трофимов, 2009), Тюменской (Федоткин и др., 1981; Скипин, 2008), Новосибирской

областях (Семендяева, 2002; Семендяева, Добротворская, 2005) и др., свидетельствующих о высокой эффективности данного приема. Однако эти кратковременные 3–4-летние опыты не позволили вскрыть всю глубину мелиоративных процессов химической мелиорации солонцов.

Данные процессы требуют длительного периода наблюдений. Такие опыты были заложены в Новосибирской (Семендяева и др., 2014) и Омской областях (Березин, 2005; Гиндемит, 2012). В Новосибирской области опыты были заложены на мало- и многонатриевых солонцах в 1981 и 1986 гг., исследования которых продолжаются до настоящего времени. Ведутся наблюдения за уровнем и степенью минерализации грунтовых вод, солевым составом почвенного профиля мелиорированных солонцов, изменениями в ППК, физическими свойствами и т. д.

Результаты этих исследований представлены в данной работе, в выполнении которой принимали участие сотрудники Сибирского НИИ земледелия и химизации (Надежда Ивановна Добротворская, Рамиль Фарисович Галеев), Новосибирского государственного аграрного университета (Лариса Николаевна Коробова, Любовь Павловна Галеева, Николай Владимирович Елизаров и др.) В проведении исследований активное участие принимали также студенты агрономического факультета НГАУ. Авторы выражают всем искреннюю благодарность за помощь в выполнении полевых и лабораторных работ.

1. ПРИРОДНЫЕ ФАКТОРЫ ПОЧВООБРАЗОВАНИЯ БАРАБИНСКОЙ РАВНИНЫ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА ФОРМИРОВАНИЕ ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА

Барабинская равнина (Бараба) занимает 65,5% территории Новосибирской области, что составляет 11,7 млн га. Это наиболее пониженная волнистая аккумулятивная равнина в Обь-Иртышском междуречье (рис. 1). На севере она граничит с Васюганским плато, где расположено самое большое в мире болото – Васюганское, на западе – с Прииртышским увалом, протяженность которого свыше 500 км. Он лишь в двух местах прорезается реками Омью и Тарой, по которым проходит основной поверхностный сток с территории Барабы. На востоке Бараба смыкается с Приобским плато, а на юге плавно переходит в Кулундинскую степь.



Рис. 1. Барабинская равнина

В конце мезозоя – начале палеозоя данная территория была покрыта морем, которое медленно отступало и в олигоцене совсем освободило территорию (Рихтер, 1963). Как следствие присутствия моря, в Барабе широко распространены морские отложения, богатые легкорастворимыми со-

лями, обуславливающими засоление грунтовых вод. Морские отложения в последующие периоды подвергались размыванию и переотложению, что привело к формированию довольно сложного микрорельефа поверхности территории и различной степени засоления пород. Кроме того, значительная часть солей на территорию равнины поступила в результате выветривания окружающих горных систем и аккумулировалась в рыхлых континентальных породах (Базилевич, 1965; Сеньков, 2004).

1.1. Геолого-геоморфологическое строение территории

В геоморфологическом отношении Бараба представляет собой замкнутую двухступенчатую котловину с общим уклоном с северо-востока на юго-запад. Геоморфологическое строение Барабы хорошо отражает этапы формирования ее поверхности, которые трактуются многими исследователями с позиций водно-аккумулятивной и водно-эрозионной теории, а также тектонических процессов. Наиболее подробно геоморфологическое строение Барабы в пределах Новосибирской области дано в работах Е. П. Покрасс, Н. И. Базилевич (1954) и И. Н. Углова (1981), которые выделили следующие основные геоморфологические единицы рельефа: Восточно-Барабинская равнина (высота 120–140 м), Причановская депрессия (100–120 м), Прииртышские увалы (120–150 м), Приомская равнина (120–130 м) и Чебаклы-Суминская остаточно-озерная котловина (110–120 м).

На высокой ступени расположены районы Восточно-Барабинской пологоволнистой эрозионно-аккумулятивной низменной равнины и Приобского плато, генетически связанного с долиной р. Оби.

Восточно-Барабинская равнина имеет рельеф, представленный чередованием древних междуречий и лощин

стока, вытянутых с северо-востока на юго-запад. Междуречья плоские, приподнятые над лощинами всего на 5–15 м. Местами на них сформированы расплывчатые гривы шириной 2–3 м и протяженностью до 10 км. Лощины являются руслами древнего стока, которые образованы ледниковыми потоками. Их ширина колеблется от 10 до 30 км. Небольшие впадины на них заняты болотами и озерами. Микрорельеф западинный и мелкобугристый.

На низкой геоморфологической ступени выделяются три района: Причановская эрозионно-аккумулятивная низменная равнина, Омь-Чановская и Прииртышская равнины.

Причановская равнина характеризуется сложным рельефом. Ее особенностью является большое число узких грив шириной от 0,5 до 2 км и длиной от 1 до 20 км. Высота грив 2–5 м, иногда достигает 10 м. Гривы чередуются с лощинообразными межгривными понижениями, в которых залегают озера и болота. Гривы и лощины также ориентированы с северо-востока на юго-запад и являются результатом аккумулятивно-эрозионной деятельности послеледниковых потоков.

Омь-Чановская аккумулятивная равнина охватывает довольно большую территорию между оз. Чаны и р. Омью. Ее рельеф более спокойный, пологоволнистый. Дренажность территории незначительная. Грунтовые воды разной степени минерализации залегают на глубине 4–5 м и оказывают непосредственное влияние на почвообразовательный процесс.

Прииртышская плоская равнина занимает окраинное положение на западе Новосибирской области. На востоке в районе г. Татарска она уступами переходит в Омь-Чановскую равнину. Поверхность этого района однообразная и изредка нарушается слабовыраженными котловинами и блюдцеобразными западинами. Грунтовые воды залегают неглубоко и участвуют в почвообразовании.

По мнению А. П. Сляднева (1970), сложный грядный рельеф Барабинской равнины сформировался в четвертичный период вследствие активного воздействия озерных и речных вод ледникового происхождения.

В Барабе выделяются области прогрессивного рассоления и засоления. Для первых характерны незасоленные или слабозасоленные породы, а для вторых – сильнозасоленные, преимущественно сульфатами, хлоридами и карбонатами (содовое засоление). К областям прогрессивного засоления относятся пониженные элементы рельефа на территориях, примыкающих к Приобскому плато, и в северной части Барабы, прилегающей к Васюганскому плато. Незасоленные и слабозасоленные породы сформировались на положительных элементах рельефа – гривах и водораздельных увалах.

1.2. Почвообразующие породы

Почвообразующими породами для современных почв в северной части Барабы являются среднечетвертичные ледниковые флювиогляциальные, озерные и аллювиальные отложения. К югу они сменяются верхнечетвертичными послеледниковыми отложениями различного гранулометрического состава. В северных районах распространены песчаные, супесчаные и легкосуглинистые почвообразующие породы, а по мере продвижения на юг гранулометрический состав их утяжеляется, встречаются карбонатные суглинки и глины (Непряхин, 1977).

Основной фон покровных отложений Барабинской равнины представлен озерно-аллювиальными отложениями, которые являются почвообразующими породами для полугидроморфных и гидроморфных засоленных почв – лугово-черноземных, черноземно-луговых, солонцов, солончаков и подстилающими – для низинных болот. На фоне описанных почвообразующих пород в Барабе широко рас-

пространены субэральные четвертичные и верхнечетвертичные отложения – лессовидные суглинки, покрывающие слоем 0,2–1,5 м и более гривообразные и увалообразные повышения. По мнению ряда исследователей, эти лессовидные суглинки имеют эоловое происхождение (Волков и др., 1973; Атлас ..., 1997; Атлас ..., 2002).

С севера на юг Барабы тяжелосуглинистые и глинистые озерные и озерно-аллювиальные отложения сменяются среднесуглинистыми, а в Кулунде – супесчаными и песчаными аллювиальными отложениями, служащими подстилающими и почвообразующими породами для черноземов южных и каштановых почв.

В Барабе тяжелые карбонатные суглинки имеют различную степень засоления. Гривы сложены опресненными породами – средними и легкими суглинками, реже – супесями. Межгривные понижения и лощины выполнены засоленными тяжелыми суглинками и глинами. В отдельных случаях в озерных котловинах встречаются третичные засоленные мергелистые пестроцветные и темные пластичные глины.

Гранулометрический и минералогический состав, карбонаты и легкорастворимые соли почвообразующих пород оказывают непосредственное влияние на почвообразовательный процесс и являются определяющими при сельскохозяйственном использовании почв и их эволюции под воздействием антропогенного фактора.

1.3. Климатические условия

Особенности климата территорий, прежде всего, соотношение осадков и тепла, влияют на растительный покров, его продуктивность, направление и интенсивность процессов почвообразования, подвижность, миграцию и аккумуляцию химических элементов в почвах и ландшафтах, сте-

пень и характер минерализации поверхностных, грунтовых и подземных вод.

Современный климат Западной Сибири, в том числе и Барабы, – резко-континентальный с хорошо выраженной широтной зональностью в пределах равнинной части, проявляющейся в цикличности. Гидротермические характеристики и основные показатели климата природных районов Западной Сибири приведены в табл. 1, 2.

Таблица 1

Гидротермическая характеристика некоторых природных районов Западной Сибири (Сляднев, 1974; Сысо, 2007)

Природный район	Природная зона (подзона)	Гидротермическая характеристика климата
Центральная часть Васюганской равнины	Тайга южная	Холодный, избыточно влажный
Юг Васюганской равнины	Подтайга	Холодный, влажный
Север Барабы, Ишимская равнина, Обь-Чулымское плато	Лесостепь северная	Умеренно-холодный, умеренно-влажный
Юг Барабы, Приобское плато, Ишимская равнина	Лесостепь южная	Умеренно-теплый, недостаточно влажный
Кулунда, Ишимская равнина	Степь колючая и типичная	Умеренно-теплый, умеренно засушливый
Юг Кулунды и Ишимской равнины	Степь сухая	Теплый, засушливый

Как видно из табл. 2, большая протяженность и равнинный характер территории Западной Сибири обуславливают хорошо выраженные изменения основных показателей климата с севера на юг: избыточно влажный и холодный климат (гумидный) меняется на теплый и засушливый в сухой степи (аридный). При этом увеличиваются радиационный баланс, температура воздуха и почвы, возрастает испаряемость влаги, а количество осадков и изотермические коэффициенты (ГТК) уменьшаются.

Избыток влаги в тайге и подтайге способствует формированию подзолистых оглеенных, заболоченных и болот-

ных почв, усилению миграции легкорастворимых солей, питательных веществ и продуктов почвообразования и их перераспределению по элементам рельефа. Дефицит влаги в лесостепной и степной зонах вызывает аккумуляцию легкорастворимых солей в профилях почв и в почвообразующих породах. Накопление рыхлых легкорастворимых солей на поверхности засоленных почв (солончаковых и солончаков), а также на дне высохших озер способствует их воздушному переносу на близлежащие автоморфные почвы, вызывает загрязнение ими атмосферы.

Таблица 2

**Показатели климата природных зон равнинных территорий
Западной Сибири (Сысо, 2007)**

Показатели	Тайга южная и под- тайга	Лесостепь		Степь	
		север- ная	южная	колочная и типич- ная	сухая
Радиационный баланс (годовой), ккал/см ³	20–30	30–32	32–36	36–40	40–42
Сумма температур воздуха выше 10°C	1400– 1700	1700– 1800	1800– 2000	2000– 2400	2400– 2600
Сумма температур выше 10°C в слое почвы 0–20 см	1600– 1800	1800– 1900	1900– 2000	2000– 2200	2200– 2400
Испаряемость (годовая), мм	350– 400	400– 450	450– 550	550–600	600– 650
Осадки (годовые), мм	550– 450	450– 400	400– 350	350–300	300– 200
Разность осадков и испа- ряемости (годовая), мм	+ (150– 50)	- (0– 50)	- (50– 200)	- (200– 300)	- (300– 450)
Коэффициент увлажнения	1,4–0,9	0,9–0,6	0,6–0,5	0,6–0,4	0,4–0,2
ГТК по Докучаеву – Иванову	1,4–0,1	1,0–0,8	0,8–0,7	0,7–0,4	0,4–0,2
ГТК по Слядневу – Сенникову	2,0–1,4	1,4–1,1	1,1–0,9	0,9–0,6	0,6–0,4
ГТК по Селянинову	>1,3	1,3–1,1	1,1–0,9	0,9–0,8	0,7–0,4

Примечание. «+» – избыток осадков; «-» – дефицит осадков.

Климат Барабинской равнины резко-континентальный с продолжительной холодной зимой (5–5,5 месяца), жарким и коротким летом (около 3–3,5 месяца) и резкими переходами от зимы к весне и от лета к осени. В зимнее время погода холодная и ясная, ветреная, особенно в январе – феврале. Снег с повышенных элементов рельефа сдувается в понижения – колки, лощины, болота, что способствует развитию процессов осолодения и заболачивания. Обнаженная поверхность почвы сильно промерзает и медленно оттаивает к середине мая. Глубина промерзания и тепловой режим почв зависят от мощности снежного покрова, который неравномерно распределяется по поверхности. В среднем почва промерзает на глубину 150–200 см. На оголенных от снега участках почвы могут промерзать до 300 см. В глубокопромерзающих почвах в зимний период биологические, химические и другие процессы практически прекращаются. Значительная часть зимних и летних осадков мигрирует с поверхностным стоком, что снижает количество влаги в почвенном профиле, уменьшает разрушение и изменение литологического профиля и почвообразующих пород. Зимой бывают оттепели, особенно в ноябре – декабре, которые сопровождаются сильным ветром. Лето теплое. В июле – августе выпадает значительное количество осадков, часто ливневого характера.

Для Барабы, как и для всей Западно-Сибирской равнины, характерна цикличность климата – чередование сухих и влажных периодов, вызванных изменением количества тепла и атмосферных осадков, приводящих к колебаниям уровня и степени минерализации грунтовых вод, засоленности почв, заболачиваемости территории. По мнению А. П. Сляднева (1976), основной причиной цикличности климата Западной Сибири является цикличность геоактивности Солнца. Установлены различные по продолжи-

тельности климатические циклы: 11-летний, 32-летний, вековой (80–90 лет) и многовековой (1800–1900 лет). Они накладываются друг на друга, что приводит к усилению или смазыванию эффекта ритмических колебаний климата. Наиболее часто проявляется 32-летний цикл, с которым связывают самые сильные засухи, высыхание озер и болот, понижение уровня грунтовых вод. Все эти особенности отражаются на современном почвенном климате, снежном и растительном покровах и водно-физических свойствах почв в целом (Сляднев, 1974; Почвенно-климатический ..., 1978).

Описанные климатические условия Барабы и Западно-Сибирской равнины в целом оказывают существенное влияние на современный почвообразовательный процесс, в котором большое значение имеет антропогенный фактор, во многих случаях являющийся определяющим.

1.4. Поверхностные, грунтовые и подземные воды, их динамика и солевой состав

Гидрографические особенности поверхностных, грунтовых и подземных вод Западной Сибири, и Барабы в том числе, их гидрологический режим, степень и химизм минерализации тесно связаны со спецификой рельефа, климата и гидрологическими условиями территории.

В Барабе грунтовые воды в основном залегают неглубоко, что связано с котловинным характером строения территории, слабой дренированностью. Их уровень поддерживается поверхностными водами Васюганского плато.

Большая часть рек Западно-Сибирской равнины относится к бассейну Карского моря. Основная из них – р. Обь с ее многочисленными притоками, главным из которых является Иртыш. К внутреннему бессточному бассейну юга Западной Сибири относятся р. Чулым и Каргат, текущие

с Васюганского плато в бассейн оз. Чаны (Бараба), а также Карасук, Кулунда и др., берущие начало на Приобском плато и теряющиеся в Кулундинской степи. В целом на территории низменности речная сеть развита слабо, что способствует накоплению солей в почвах и почвообразующих породах Барабы. По характеру водного режима реки Новосибирской области относятся к водотокам с весенним половодьем и паводками. Они формируют в речных долинах высокоплодородные аллювиальные почвы за счет ежегодного отложения так называемого наилка, обогащенного органическим веществом и элементами питания растений.

Вода в р. Омь, Чулым, Каргат и др. пресная, так как они питаются за счет поверхностного стока. Грунтовое питание незначительное.

Барабинская равнина изобилует озерами (более 2000). В основном преобладают мелкие (5–50 км²), но есть и крупные – Чаны (общая площадь 2,5 тыс. км²), Убинское (436 км²), Сартлан (310 км²), Урюм (76 км²). Озера в основном реликтового происхождения и представляют собой послеледниковые водоемы и водосборы. Чаши их плоские, а склоны пологие. По минерализации и химизму вод озера разнообразны. Преобладают слабоминерализованные и пресные, но часто встречаются сильноминерализованные (оз. Карачи и др.).

Болота Барабинской равнины – суходольного происхождения, занимают большую территорию и являются важным элементом ее ландшафта. Их распространение связано со слабой дренированностью местности, что способствует застою вод и заболачиванию. Соленые болота окружены лугово-болотными, болотными и солончаковыми почвами с галофитной растительностью, а пресные – осоково-тростниковыми и торфяно-болотными почвами.

В Барабе проложены осушительные каналы общей протяженностью 3080 км. Их строительство было начато в 1885 г. под руководством выдающегося гидротехника-мелиоратора И.И. Жилинского в связи с прокладкой Западно-Сибирской железной дороги (Жежер, 1995).

Грунтовые воды залегают неглубоко, часто минерализованы и принимают активное участие в процессе почвообразования. Различия в уровне залегания и степени минерализации грунтовых вод – главная причина мозаичности почвенного покрова Барабы и ее засоленности. Глубина залегания, минерализация и солевой состав грунтовых вод варьируют в широких пределах. Наиболее глубоко они залегают под гривами. По мере продвижения к приболотному поясу уровень их залегания повышается. С севера на юг минерализация грунтовых вод увеличивается с 1–3 до 10–50 г/л, а химический состав меняется от гидрокарбонатного до хлоридного (Угланов, 1981). В настоящее время на химический состав грунтовых вод большое влияние оказывает антропогенное вмешательство – создание агроландшафтов (в т. ч. мелиоландшафтов), которые обладают меньшей экологической устойчивостью и часто подвержены негативным явлениям и процессам – водной и ветровой эрозии, загрязнению и вторичному засолению почв.

1.5. Растительный покров и его воздействие на почвообразовательный процесс

Неоднородность естественно-исторических условий Барабы вызвала большое разнообразие растительного покрова как по флористическому составу, так и по формациям и фитоценологическим группам, начиная от хвойно-лиственных лесов и переходно-верховых болот севера, солончаково-болотно-лесостепного комплекса Центральной Барабы и кончая выгорающими летом солонцовыми

и луговыми степями на юге (Кузьмина, 1952). Ведущими факторами, влияющими на формирование и распределение растительности, являются здесь не столько климатические условия, сколько особенности рельефа Барабы – наличие грив и межгривных понижений привело к неравномерному обсыханию Барабы (после покрытия ее ледниковыми потоками), перераспределению солей, смываемых с повышенных форм рельефа и концентрирующихся в пониженных его элементах.

В отрицательных формах рельефа (межгривных понижениях и ложбинах стока) развита луговая растительность солонцово-солончакового и болотно-солончакового комплексов с большим количеством галофитов (Вагина, 1962, 1982).

Зональные типы растительности приурочены к гривам и гривообразным повышениям. Характерной особенностью равнины является смена лесной растительности на степную. Древесные растения представлены березой бородавчатой (*Betula verrucosa*), березой пушистой (*Betula pubescens*) и осиной (*Populus tremula*). Березы низкорослые, порослевые. Подлесок образован кустарниками из ив (*Salix caprea*, *S. cinerea*, *S. sibirica*). Березовые колки паркового типа чередуются с остепненными лугами, в состав которых входят степные виды травянистых растений: овсяница ложноовечья (*Festuca pseudoovina*), тимофеевка степная (*Phleum phleoides*), таволга обыкновенная (*Filipendula hexapetala*), канареечник (*Phalaris*), медуница (*Pulmonaria*), горичник Морисона (*Peucedanum morisonii*) и др. По склонам грив на залежных землях в настоящее время произрастает лугово-степная растительность, которая весной бывает очень красивой от цветения эфемеров – прострелов (*Pulsatilla*), ирисов (*Iris*), ветрениц лесных (*Anemone sylvestris*) (рис. 2).



Рис. 2. Растительность Барабы весной

Растительность пониженных элементов рельефа представлена комплексом болотных, солончаковатых и солончаково-солонцеватых типов. Их чередование очень неравномерное и, как правило, обнаруживает тенденцию к смене болотных типов солончаковато-солонцеватыми в направлении с востока на запад, что является одной из особенностей Барабы (Кузьмина, 1952). Наличие некоторых из произрастающих растений указывает на солончаковый и солонцовый тип почв. Поэтому по характеру растительности в данной местности можно судить о мозаичности почвенного покрова.

Присутствие кермека Гмелина (*Limonium gmelinii*), горькуши – соссюреи (*Saussurea*), астры солончаковой (*Aster tripolium*), подорожника солончакового (*Plantago salsa*), подорожника морского (*Plantago maritima*), полыни морской (*Artemisia maritima*) указывает на наличие солончаков. На

пониженных равнинах около болот встречаются вейниковые луга с вейником наземным (*Calamagrostis epigeios*), пыреем ползучим (*Agropyron repens*), солонечником двуцветковым (*Galatella biflora*). Свезда приморская (*Suaeda maritima*) и солерос европейский (*Salicornia herbacea*) поселяются, как правило, на луговых, солончаковатых в различной степени, почвах.

Непосредственно за солончаковыми формируются комплексные мозаичные галофитные луга. В связи с наличием больших площадей залежных земель в Барабе в настоящее время прослеживается подобная закономерность смены растительности. Распределение фитоценозов и слагающих их основных видов крайне неравномерное, что обусловлено наличием блюдцеобразных западин и неустойчивым водно-солевым режимом почв. Около дорог и на участках, где производится усиленный бессистемный выпас скота, много пятен солянок (*Salsola*). В дождливые годы и весной на этих пятнах из-за сильного уплотнения почвы застаивается вода.

В лесостепной зоне Барабы широко распространены единичные массивы болот с небольшой засоленностью и пятнами рямов. Периодическое увлажнение паводковыми водами луговых степей и близкое залегание минерализованных грунтовых вод способствуют развитию дернового процесса почвообразования и формированию луговых и лугово-черноземных почв различной степени засоления. Наиболее повышенные дренированные участки распаханы и заняты культурной растительностью.

В межгрядных понижениях, где сформировались солончаки, солонцы и солоды, господствуют солонце- и солеустойчивые ассоциации – волоснецово-шелковичные, шелковице-полынные, солеросы (*Salicornia*), лебеда (*Atriplex*) и др. (Вагина, 1962).

Описанный растительный покров Барабы сильно изменен антропогенной деятельностью (вырубкой леса, пожарами, сельскохозяйственным использованием земель).

1.6. Почвенный покров

В Барабинской низменности в условиях циклических колебаний умеренно-холодного климата, слабой дренированности территории, близкого залегания грунтовых вод сформировался сложный, неоднородный почвенный покров (рис. 3). Основные типы почв, встречающиеся на территории Барабы, приведены в табл. 3.

Таблица 3

Почвенный покров Барабинской равнины (Семендяева и др., 2010)

Типы почв	Площадь	
	тыс. га	% к общей площади Барабы
Торфяно-болотные, в т.ч. лугово-болотные	4469,4	38,2
Солончаки, солонцы, солоди	2304,9	19,7
Черноземы обыкновенные солонцеватые	1345,5	11,5
Подзолистые	1275,3	10,9
Прочие (лугово-черноземные, черноземно-луговые, луговые различной степени солончаковатости и солонцеватости и др.)	2304,9	19,7
И т о г о	11700	100

Общей характерной особенностью почвенного покрова Барабы является преобладание гидроморфных и полугидроморфных почв различной степени солонцеватости и солончаковатости. Площадь автоморфных (зональных) почв, пригодных для земледелия, весьма ограничена, поскольку они приурочены к повышенным элементам рельефа. Их площади увеличиваются только в восточных и юго-восточных частях Барабы, в местах перехода в Приобское плато (Хмелев, Танащенко, 2009).

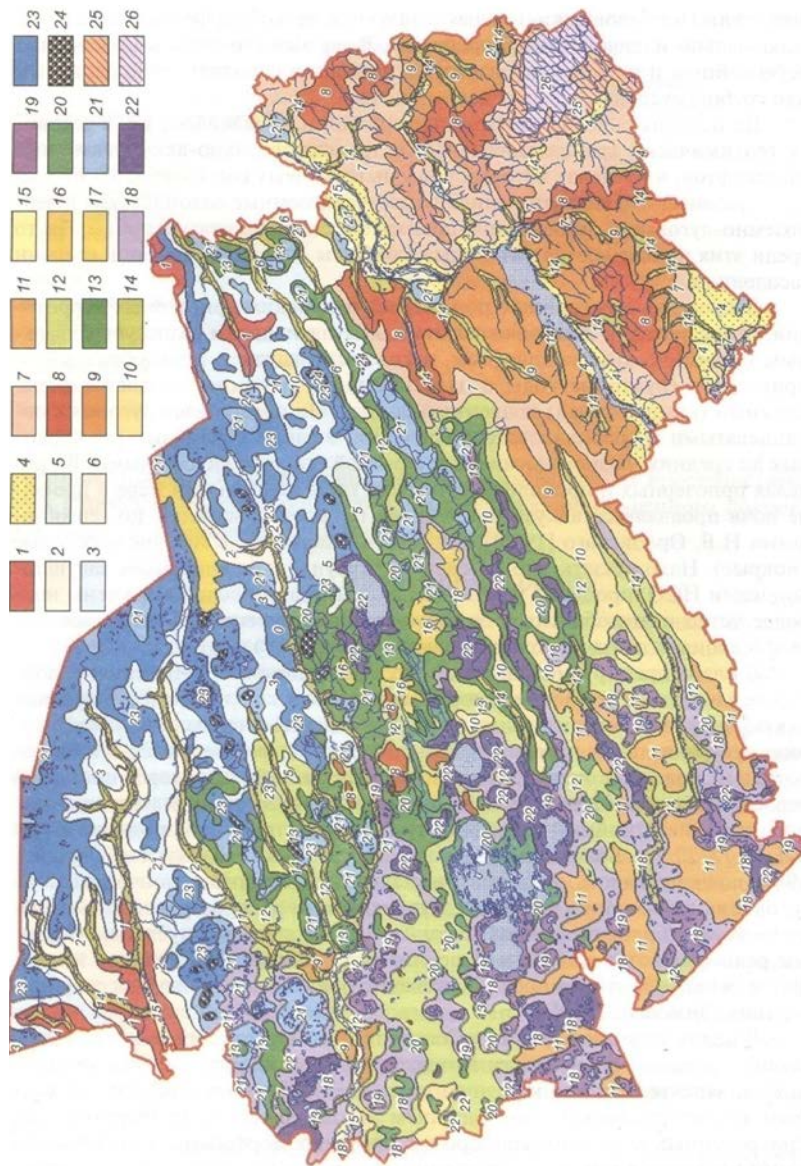


Рис. 3. Карта-схема распределения почв на территории Новосибирской области (Хмелев, Танасиенко, 2009)

Условные обозначения к рис. 3:

1 – дерново-подзолистые с участием дерново-подзолисто-глеевых; 2 – дерново-подзолисто-глеевые с участием дерново-глеевых; 3 – дерново-глеевые с участием серых лесных глеевых и глееватых; 4 – боровые пески (дерново-слабоподзолистые) сосновых лесов; 5 – серые лесные глеевые и глееватые с участием лугово-болотных; 6 – светло-серые и серые лесные оподзоленные с участием (по понижениям) луговых выщелоченных; 7 – серые и темно-серые оподзоленные с участием (по понижениям и речным долинам) луговых выщелоченных и выходом плотных коренных пород (прежде всего, в пределах Буготакских сопков и возвышенности Сокур); 8 – черноземы оподзоленные с участием темно-серых лесных оподзоленных, лугово-черноземных и луговых выщелоченных; 9 – черноземы выщелоченные с участием черноземов оподзоленных, лугово-черноземных и луговых выщелоченных; 10 – черноземы обыкновенные, преимущественно солонцеватые, с участием лугово-черноземных и луговых солонцеватых (по понижениям) и солодей (по блюдцеобразным западинам); 11 – черноземы южные солонцеватые с участием лугово-черноземных, луговых солонцеватых и солончаковатых, а также солонцов (по межгрядным понижениям), солодей (по блюдцеобразным западинам); 12 – лугово-черноземные, обычно солонцеватые и реже солончаковатые, с участием луговых солонцеватых и солончаковатых, солонцов (по понижениям) и солодей (по блюдцеобразным западинам); 13 – луговые солонцеватые и реже солончаковатые с участием солонцов по понижениям и солодей по блюдцеобразным западинам; 14 – луговые речных долин (в пределах правобережья и Приобского плато – выщелоченные, в Барабе и Северной Кулунде – солонцеватые и солончаковатые); 15 – пойменные (аллювиально-луговые); 16 – солоды (дерновые и оторфованные) и серые лесные осолоделые (по понижениям и блюдцеобразным западинам); 17 – болотно-подзолистые глеевые заболоченных сосновых кустарничково-сфагновых лесов; 18 – солонцы (средние и высокие, реже глубокие) с участием солончаков; 19 – солончаки с участием солонцов (высоких и корковых); 20 – торфянисто- и торфяно-глеевые низинных тростниково-осоковых болот (в пределах западной и центральной частей Барабы и Северной Кулунды, как правило, засоленные) с участием лугово-болотных; 21 – торфяные и торфяники низинных травяно-моховых грядово-мочажинных и осоково-тростниковых болот с участием лугово-болотных почв; 22 – торфяные низинных травяных засоленных болот; 23 – торфяные и торфяники верховых обводненных болот – кустарничково-сфагновых с сосной на грядах и травяно-сфагновых в мочажинах с участием лугово-болотных и болотно-подзолистых глеевых почв под заболоченными березово-сосновыми моховыми лесами; 24 – торфяные и торфяники верховых сосново-кустарничково-сфагновых (островных) болот – рямов. Почвы низкогорий: 25 – светло-серые и серые лесные глубокооподзоленные пихтово-осиновых высокотравных лесов с участием луговых оподзоленных (по днищам логов и балок и по речным долинам) и выходом плотных коренных пород; 26 – дерново-глубокоподзолистые осиново-пихтовых высокотравных лесов с участием луговых оподзоленных (по логом, балкам и речным долинам) и выходом коренных пород (по вершинам холмов и сопков).

Пространственная соподчиненность автоморфных, полугидроморфных и гидроморфных почв Барабы обусловлена рельефом, особенно геохимической сопряженностью грив и других мезоповышений с мезопонижениями (рис. 4).

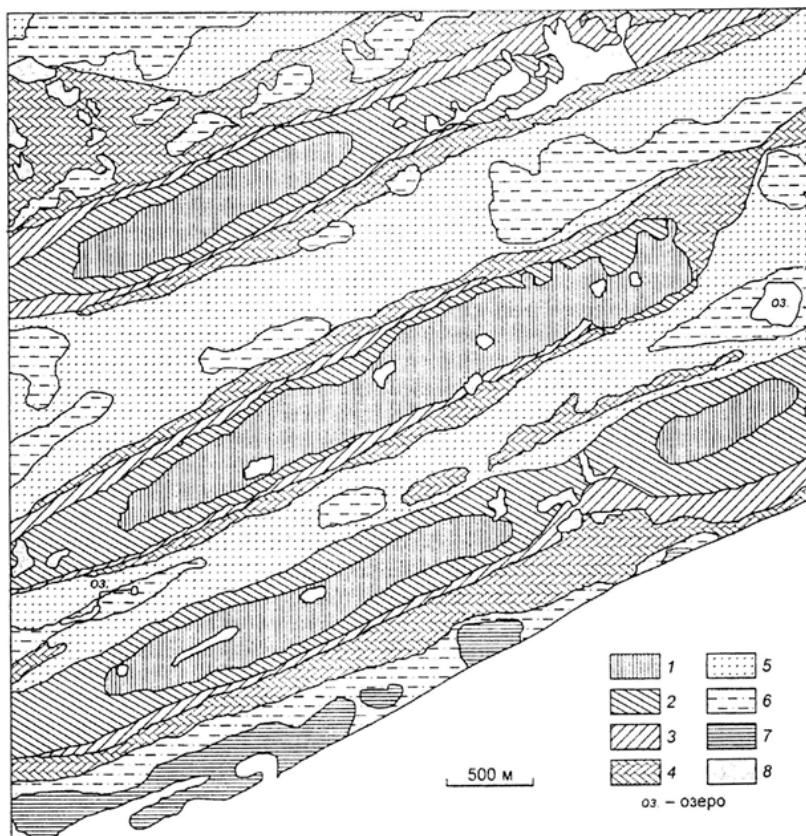


Рис. 4. Почвенный покров Центральной Барабы (Барабинский район) (Смоленцев, Воложина, 2004):

1 – черноземы обыкновенные осолоделые; 2 – лугово-черноземные осолоделые и солонцеватые почвы; 3 – черноземно-луговые солонцеватые почвы в комплексе с солонцами глубокими; 4 – пятнистости солонцов средних, мелких и корковых; 5 – комплексы луговых солонцеватых и солончаковатых почв с солонцами мелкими и корковыми; 6 – лугово-болотные солончаковатые почвы; 7 – болотные низинные торфянисто-глеевые почвы; 8 – солоди

Черноземы обыкновенные, как правило, сформировались на вершинах грив и увалов, на верхних частях склонов они сменяются черноземами солонцеватыми. Грунтовые воды под ними залегают глубоко (8–10 м) и не принимают участия в почвообразовании. Встречаются черноземы обыкновенные как незасоленные, так и средnezасоленные. Характер засоления различен – содовый, сульфатно-содовый, сульфатный. Степень засоления небольшая, редко достигает порога токсичности (Курачев, Рябова, 1981).

Лугово-черноземные почвы широко распространены в Барабе и постоянно сопутствуют черноземам, сменяя их по склонам грив. Они встречаются также на повышенных пространствах междуречий, озерных и речных террас. Грунтовые воды залегают на глубине 3–6 м и по этому признаку трудно отделимы как от черноземно-луговых, так и от черноземов. От черноземов они отличаются гидроморфизмом, а от черноземно-луговых – значительной остепненностью (Базилевич, Шаврыгин, 1954).

Так как в формировании лугово-черноземных почв Барабы активное участие принимают грунтовые воды, то химизм почв определяется их химизмом и минерализацией. Если грунтовые воды пресные – образуются лугово-черноземные типичные или выщелоченные почвы, а если минерализованные – солончаковатые, солонцеватые и осолоделые, т.е. со степенью засоления от пресных до сильнозасоленных.

Особо следует отметить, что грунтовые воды участвуют в почвообразовании лугово-черноземных почв не постоянно, а только в периоды их стояния выше глубины критического залегания (200 см).

Черноземно-луговые почвы приурочены к плоским пониженным равнинам, нижним частям склонов грив и увалов. Глубина залегания грунтовых вод под ними находит-

ся в пределах 1,5–3 м. Формирование их происходит под влиянием близко лежащих минерализованных грунтовых вод, поэтому почвы практически всегда имеют признаки солонцеватости и засоления. По составу солей черноземно-луговые почвы встречаются содовые, сульфатные или смешанного типа засоления. Концентрация солей в них, как правило, невысокая, однако летом, в период сильного испарения, может резко увеличиться.

Луговые почвы приурочены к приболотным поясам и долинам рек. Грунтовые воды под ними разной степени минерализации залегают близко, поэтому почвы содержат легкорастворимые соли. Химизм засоления – от содового до сульфатного. Генетические горизонты отличаются друг от друга по составу солей.

Солонцы полугидроморфные сравнительно мало распространены в Барабе. Они в комплексе с лугово-черноземными и черноземно-луговыми почвами приурочены к нижним частям склонов, увалов, высоким речным и приозерным террасам. Преобладают солонцы полугидроморфные глубокие (мощность горизонта А > 18 см). Реже встречаются средние солонцы (горизонт А от 10 до 18 см) и еще реже – мелкие (горизонт А от 5 до 10 см) и корковые (горизонт А < 5 см). Грунтовые воды под ними находятся на глубине от 3 до 5 м.

Преобладают гидроморфные солонцы, которые являются одним из основных компонентов почвенного покрова слабодренированных междуречий. Приурочены они к пониженным элементам рельефа – межгрядным западинам, низким террасам, приболотным поясам с близким залеганием грунтовых вод (менее 3 м), пульсацией их водно-солевого режима, которая сопровождается усилением солончаковых процессов и способствует формированию среди гидроморфных солонцов солонцов-солончаков и солончаков. Среди

гидроморфных солонцов преобладают корковые и мелкие, а средние и глубокие имеют подчиненное значение.

Практически все гидроморфные солонцы содержат значительное количество легкорастворимых солей. Солевой максимум в них приурочен к подсолонцовому горизонту и характеризуется двумя пиками. Летний максимум формируется во время интенсивного подтягивания солей с восходящими грунтовыми водами и их концентрации в верхней зоне капиллярной каймы, а зимний – в результате подтягивания солей вверх по профилю при промерзании почв (Сребрянская, 1954).

Для полугидроморфных и гидроморфных солонцов Барабы характерно различное содержание обменного натрия в почвенном поглощающем комплексе (ППК) – от многонариевых (обменного натрия в ППК более 40 %) до малонариевых (5–6 %). По мнению Р. А. Витмана (1973), формирование малонариевых солонцов связано с подпитыванием их почвенно-грунтовыми водами, содержащими относительно большое количество магниевых солей. В дополнение к мнению Р. А. Витмана нами было выдвинуто предположение о возможном инициировании развития солонцового процесса при содержании обменного натрия в ППК более 3 ммоль-экв/100 г почвы (Семендяева, 2002, 2016).

Солончаки в Барабинской равнине чаще всего встречаются с солонцами гидроморфными, формируя солонцово-солончаковые комплексы. Они приурочены к наиболее пониженным формам рельефа – приозерным котловинам, террасам, приболотным поясам, расположенным в межгрядных и других понижениях. Их формирование тесно связано с процессами распада и заболачивания озер, а также с обсыханием болот (Петров, 1953; Базилевич, 1965). Основные массивы солончаков образовались в результате прогрессирующего засоления уже сформированных почв – лугово-бо-

лотных, луговых и изредка торфянисто-болотных, т.е. солончаки Барабы в основном по происхождению вторичны. Поэтому в их профиле сохраняются признаки предыдущих почв – они гумусированы, хорошо подразделяются на генетические горизонты, по морфологии похожи на исходные почвы – солонцы, луговые и др. Грунтовые воды под солончаками залегают неглубоко, в пределах 2 м. Они различны по характеру и степени минерализации. Солончаки часто содержат соду, поэтому данную территорию В.А. Ковда (1954) и Н.И. Базилевич (1965) отнесли к провинции содового засоления.

Болотные почвы в Барабе, как видно из табл. 3, занимают 38% от общей площади территории. Большинство из них – современного происхождения, образовались в результате распада и заболачивания озер. Наряду с современными болотами здесь встречаются и реликтовые – рямы. Их реликтовость подтверждается геоботаническим составом торфа, радиоуглеродным анализом и вторичными процессами засоления (Ковда, 1947, 1954; Левина, Никитин, 1973; Волков и др., 1973). Болотные почвы формируются в депрессиях речных долин и в межгрядных понижениях, а рямы могут располагаться на плоских повышенных водоразделах. Степень их засоления невелика, так как соли оттягиваются от середины болот к приболотному поясу. Наряду с болотными солончаковатыми почвами широко распространены солонцеватые (болотные солонцы) и осолоделые (болотные солоди) (Структура ..., 1974).

Грунтовые воды под болотными почвами залегают близко – 1–1,5 м. Содержание солей в них может достигать 1,5% и более, а состав солей – от содового до сульфатно-щелочноземельного. Из-за значительной пульсации грунтовых вод почвенный профиль болотных почв неустойчивый – в период осушения он напоминает профиль солончаков, а в период

промывания – солонцов. Значительное подтягивание солей в болотных почвах происходит в весенне-летний период (Сребрянская, 1954; Шаврыгин, 1954).

Таким образом, почвенный покров Барабинской равнины сложен, разнообразен и мозаичен как по типовым признакам, так и по плодородию. Неоднородность материнских пород, различный уровень залегания и степень минерализации грунтовых вод, большая годовая и сезонная амплитуда колебания в сочетании с особенностями рельефа и климата способствуют низкой агроэкологической устойчивости почв, которая определяется значительной подверженностью их отрицательным природным явлениям – засолению, осолонцеванию, осолодению, заболачиванию. Повышение уровня плодородия почв и получение высоких и устойчивых урожаев сельскохозяйственных культур на данной территории возможно лишь при разработке и внедрении научно обоснованных адаптивно-ландшафтных систем земледелия (Адаптивно-ландшафтные..., 2002), которые учитывают все особенности, сложности территории и рекомендации по рациональному использованию почвенного покрова. Обязательной составной частью адаптивно-ландшафтных систем земледелия на почвенных комплексах, включающих солонцы, является мелиорация.

2. СВОЙСТВА СОЛОНЦОВ БАРАБИНСКОЙ РАВНИНЫ, ВИДЫ ИХ МЕЛИОРАЦИИ И СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ

Солонцы и комплексы почв с их участием широко распространены в Новосибирской области. Общая площадь данных почв составляет 3686 тыс. га, в том числе солонцов 2530,7 тыс. га (Семендяева и др., 2010). В отдельных административных районах они занимают до 80–82 % площади сельхозугодий (рис. 5, табл. 4).

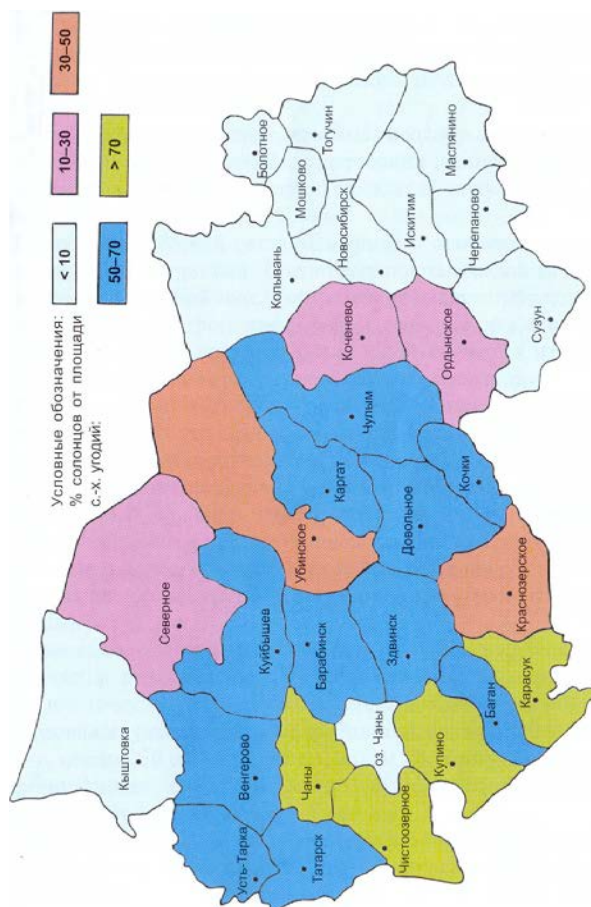


Рис. 5. Распространение солонцов в Новосибирской области
(Семендяева, Добротворская, 2005)

Таблица 4

**Площади солонцеватых и солонцовых земель
в сельскохозяйственных угодьях по административным районам
Новосибирской области (Семендяева и др., 2010).**

Район	Всего, тыс. га	От площади сельхозугодий, %	В том числе солонцов и комплексов почв с солонцами более 10 %, тыс. га
Кыштовский	4,0	2,0	0,08
Северный	9,9	10,0	4,1
Усть-Тарковский	134,3	55,0	104,3
Венгеровский	193,1	55,0	128,4
Куйбышевский	228,7	54,0	135,4
Убинский	133,8	42,0	102,7
Каргатский	216,5	70,0	143,2
Чулымский	213,9	58,0	75,9
Здвинский	186,0	55,0	153,3
Доволенский	240,9	70,0	179,4
Чановский	237,5	73,0	194,0
Барабинский	166,0	55,0	152,2
Татарский	248,7	69,7	202,3
Краснозерский	182,4	43,0	122,9
Карасукский	226,2	74,0	118,2
Баганский	161,7	65,0	124,2
Купинский	324,8	80,0	236,5
Чистоозерный	309,2	82,0	260,0
Коченевский	83,6	28,0	26,6
Ордынский	45,8	18,0	5,8
Тогучинский	8,5	2,0	3,9
Кочковский	123,9	67,0	53,8
Новосибирский	8,5	2,0	4,8
Колыванский	2,7	1,0	0,4
По области	3686,2	43,8	2530,7

2.1. Происхождение и свойства солонцов и солонцовых комплексов

Генезис солонцов Барабы неоднозначен. Согласно имеющимся представлениям (Панин и др., 1977), в Барабе формирование солонцов происходило двумя путями:

– рассоление солончаков периферийных приозерных и приболотных поясов, днищ высохших озер по схеме

К. К. Гедройца (1955): солончак – солонец – солодь. Однако в настоящее время установлено, что по этому пути солонцы формируются на крайне ограниченной территории;

– осолонцевание луговых, черноземно-луговых и лугово-черноземных почв, засоленных различными легкорастворимыми солями в результате близкого стояния зеркала грунтовых вод такого же состава и притока солей с поверхностными водами. Солонцы данного типа образования широко распространены в Барабе и занимают доминирующее положение в солонцовых комплексах и в структуре почвенного покрова.

Полностью разделяя взгляды П. С. Панина и др. (1976) и Н. Д. Градобоева (1974) на генезис солонцов Барабы, мы придерживаемся мнения о возможном наложении солонцового процесса на дерновый, т. е. образовании солонцов в микропонижениях среди зональных почв за счет перераспределения вод и солей по элементам рельефа.

С нашей точки зрения, формирование профиля солонцовых почв связано с пептизацией коллоидных частиц при глеевых процессах в засоленных почвах лугового типа. Необходимым условием для их активного развития является обменный натрий. Установлено, что минимальное его содержание – 3 ммоль-экв/100 г почвы обеспечивает начало образования иллювиального горизонта (зоны первичного иллювиирования).

Роль натрия в начальной стадии образования солонцов – решающая, а затем развитие в значительной степени зависит от интенсивности глеевых процессов и накопления подвижных полуторных оксидов и кремнекислоты, усиливающих отрицательные физические свойства за счет «цементации» почвенного профиля. Развитие солонцового процесса при невысоком содержании обменного натрия является характерной особенностью солонцов Барабы, о чем

свидетельствует значительное распространение малонатриевых солонцов наряду с многонатриевыми (Семендяева, 2002, 2016).

Для солонцов характерна четкая дифференциация почвенного профиля на генетические горизонты А, В₁, В₂, ВС и С. Верхний элювиальный горизонт А (надсолонцовый) имеет темную, иногда белесоватую окраску, слабо уплотнен, комковато-зернисто-пылеватый. В солонцах разного вида мощность этого горизонта неодинакова – от 1–3 до 20 см. Элювиальный горизонт наиболее благоприятен для роста и развития растений. Здесь сосредоточена основная масса их корней. Сельскохозяйственное использование солонцов определяется мощностью элювиального (гумусового) горизонта.

Ниже гумусового формируется собственно солонцовый (иллювиальный) горизонт В, который в зависимости от содержания гумуса имеет темно-коричневый или буровато-коричневый цвет. Мощность этого горизонта 20–25 см. Его структура столбчатая, столбчато-ореховатая или глыбистая (рис. 6).



Рис. 6. Внешний вид горизонтов А и В солонца коркового

Глубже располагается тоже плотный, неоднородно окрашенный горизонт B_2 , содержащий, как правило, большое количество легкорастворимых солей. Горизонт С карбонатный, засоленный, желто-бурого цвета.

Морфологическое строение профиля солонца лугово-черноземного коркового столбчатого тяжелосуглинистого представлено описанием разреза, заложенного в Чулымском районе (северная лесостепь Барабы). Вскипание от соляной кислоты – с 25 см.

A_0 <u>0–5</u> см 5	Темно-серый, с белесоватым оттенком, тяжелосуглинистый, комковато-пылеватый, переплетен корнями растений (дернина), переход в горизонт B_1 резкий.
B_1 <u>5–17</u> см 12	Темно-серый, свежий, неоднородный, кремнеземистая присыпка, столбчато-ореховатый, с глянцем на гранях структурных отдельностей, плотный, глинистый, единичные тонкие корни, переход в горизонт $B_{2к}$ постепенный.
$B_{2к}$ <u>17–33</u> см 16	Темно-бурый, неоднородный, свежий, глинистый, крупноореховатый, глянec на гранях структурных отдельностей, вскипание с 25 см, плотный, редкие корни растений, переход в горизонт $B_{3к}$ постепенный.
$B_{3к}$ <u>33–68</u> см 35	Буровато-темный, с потеками гумуса, глинистый, средне- и мелкоореховатый, уплотнен, свежий, редкие корни растений, вскипает, переход в горизонт ВС постепенный.
BC <u>68–110</u> см 32	Буровато-желтый, неоднородный, свежий, с тонкими потеками гумуса, мелкоореховатый, слабо уплотнен, при высыхании видны кристаллы солей, бурно вскипает, глинистый, переход в горизонт С постепенный.
С <u>110–170</u> см 60	Желто-бурый, однородный, глинистый, бесструктурный, влажнее предыдущего горизонта.

Гранулометрический состав солонцов Барабы тяжелосуглинистый и глинистый (табл. 5). Распределение илистой фракции и физической глины строго дифференцировано по профилю – илистые частицы выносятся из горизонта А и аккумулируются в горизонтах B_1 и B_2 .

Таблица 5

**Гранулометрический состав солонцов опытного участка
АО «Кабинетное» Чулымского района Новосибирской области**

Гори- зонт	Глуби- на, см	Количество частиц (%) диаметром, мм						
		>0,25	0,25– 0,05	0,05– 0,01	0,01– 0,005	0,005– 0,001	<0,001	<0,01
Солонец черноземно-луговой мелкий глинистый								
A	0–9	0,56	21,71	35,71	11,34	14,29	16,39	42,02
B ₁	10–16	1,20	10,28	37,16	12,11	15,45	23,80	51,36
B _{2к}	20–30	1,52	19,58	21,21	9,76	14,00	33,93	57,69
B _{3к}	50–60	0,41	5,95	24,15	9,32	13,56	46,61	69,49
BC _{кг}	80–90	0,97	28,64	17,39	5,38	12,01	35,61	53,00
C _{кг}	150–160	1,34	20,36	28,45	6,58	11,13	32,16	49,87
Солонец черноземно-луговой глубокий глинистый								
A	0–28	1,2	17,5	25,8	12,1	15,6	27,8	55,5
B ₁	28–45	1,5	10,00	17,7	7,9	11,8	51,1	70,8
B ₂	68–75	1,2	8,0	20,1	4,3	13,5	52,9	70,7
B _{3кг}	85–95	0,7	9,4	23,0	4,7	13,2	49,0	66,9
C _{кг}	140–150	1,0	13,0	17,9	7,4	15,4	45,3	68,1

Примечание. Здесь и далее n = 3; P = 0,05.

Различия в гранулометрическом составе генетических горизонтов солонцов обеспечили неоднородность их агрегированности. Наиболее агрегированным является горизонт A, обладающий хорошей водопрочностью и относительно хорошими агрономическими свойствами. Агрегаты солонцового горизонта при соприкосновении с водой распадаются на механические фракции, которые расплываются, ухудшая водопроницаемость и воздухообмен. При этом снижается плодородие солонцов, затрудняется их обработка.

Солонцы характеризуются высокой емкостью катионного обмена (ЕКО) (30–50 ммоль-экв/100 г почвы), наиболее выраженной в горизонтах B₁ и B₂ и заметно снижающейся вниз по профилю (табл. 6). В составе поглощенных оснований преобладают катионы натрия и магния.

Таблица 6

**Физико-химические свойства солонцов Барабы
(Семендяева и др., 2010)**

Гори- зонт	Глу- бина, см	рН водн.	Обменные катионы			ЕКО	Гу- мус,%	Валовой,%		CO ₂ , %
			Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺			N	P	
			ммоль-экв/100 г почвы							
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Солонец черноземно-луговой корковый										
A	0–4	7,7	28,0	11,1	4,1	43,2	5,1	0,395	0,188	0,0
B _I	4–17	8,9	26,5	18,1	9,9	54,5	3,2	0,198	0,096	0,0
B _{2к}	17–28	9,4	He опр.	He опр.	11,9	50,2	2,5	He опр.	He опр.	1,4
B _{3к}	35–45	9,7	«	«	12,0	48,1	2,4	«	«	4,9
BC _к	60–70	9,6	«	«	10,8	47,5	He опр.	«	«	6,8
C _{кг}	94– 104	8,8	«	«	10,2	34,0	«	«	«	7,1
Солонец черноземно-луговой мелкий										
A	0–7	7,4	22,9	7,4	1,5	31,8	5,8	0,405	0,200	0,0
B _I	16–26	7,8	23,7	8,1	3,7	35,5	3,7	0,205	0,089	0,0
B _{2к}	35–65	8,3	He опр.	He опр.	3,7	34,7	1,8	He опр.	He опр.	0,7
B _{3к}	70–80	8,7	«	«	3,5	33,1	1,1	«	«	0,9
C _{кг}	120– 130	8,8	«	«	4,8	32,0	He опр.	«	«	3,5
Солонец черноземно-луговой средний										
A	0–14	6,8	26,8	8,3	1,5	36,6	7,4	0,440	0,123	0,0
B _I	14–25	7,6	21,3	10,5	4,3	36,1	3,2	0,188	0,098	0,3
B _{2к}	37–47	7,9	20,5	12,5	6,5	39,5	1,3	He опр.	He опр.	0,9
B _{кг}	54–64	8,7	He опр.	He опр.	5,1	25,5	0,8	«	«	4,5
C _{кг}	103– 113	8,8	«	«	4,8	23,3	He опр.	«	«	5,5
Солонец черноземно-луговой глубокий										
A _{пах}	0–22	6,6	26,15	8,7	0,7	35,5	8,7	0,350	0,091	0,0
B _I	30–40	7,4	18,96	15,4	2,4	36,8	4,4	0,175	0,048	0,0

Окончание табл. 6

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
B ₂	49–59	7,7	19,66	14,5	2,9	37,1	2,7	0,115	0,031	0,0
B _{3к}	65–75	8,5	Не опр.	Не опр.	1,9	24,4	1,0	Не опр.	Не опр.	4,5
C _к	130– 140	8,6	«	«	2,0	23,9	Не опр.	«	«	7,8

Содержание обменного натрия колебалось в широких пределах, причем были обнаружены мало- и многонатриевые солонцы, расположенные в непосредственной близости (Семендяева, 2002).

Валовой химический состав солонцов довольно разнообразен: гумусовые горизонты, как правило, обогащены кремнеземом, оксидами магния, серы и калия и обеднены полуторными оксидами железа и алюминия, которые выносятся из горизонта А и аккумулируются в иллювиальном горизонте В.

В солонцах Барабы горизонты А₀, А и В₁ не засолены или слабо засолены. Максимум солей приходится на горизонт В₂, где их количество колеблется от 0,2 до 1 % и более, поэтому он отличается высокой щелочностью (величина рН 7,8–10,0). Солонцы корковые и мелкие характеризуются близким расположением солей к поверхности – 30–50 см; а средние и глубокие – соответственно 50–80 и 80–100 см. Тип засоления почв зависит от почвенно-климатической зоны и состава солей грунтовых вод. В северной части Барабы преобладает смешанное и содовое засоление, а в южной – хлоридно-сульфатное, сульфатно-хлоридное, иногда присутствует сода.

Провинциальной особенностью солонцов является высокая гумусированность почвенного профиля. В солонцах северной части Барабы содержание гумуса в горизонте А колеблется от 6 до 14, а в южной – от 6 до 9 %. Наиболее гумусированы глубокие и средние солонцы.

В луговых солонцах гумусированность выше, чем в лугово-степных. Вниз по профилю количество гумуса резко падает. Высокая гумусированность солонцов дает основание относить их к почвам с высоким потенциальным плодородием. Эффективное плодородие этих почв низкое и обусловлено неблагоприятными физико-химическими свойствами солонцового и нижележащих горизонтов (Семендяева и др., 2010).

Водно-физические свойства солонцовых горизонтов неудовлетворительные. Их почвенная масса сильно набухает во влажном состоянии и растрескивается – в сухом. Фильтрация – нулевая. Из-за застоя влаги на солонцах начало полевых работ задерживается на 1–2 недели и более.

Липкость солонцовых горизонтов в 10–20 раз выше, чем зональных почв. В сухую погоду на солонцах образуется мощная почвенная корка, столбчатая структура становится очень твердой и с трудом поддается механическому разрушению. Иллювиальный горизонт имеет высокую плотность – 1,3–1,5 г/см³ и практически нулевую водопроницаемость. Солонцовый горизонт набухает при увлажнении и, оказывая экранирующее действие, препятствует проникновению влаги атмосферных осадков в нижележащие горизонты.

2.2. Агромелиоративная группировка солонцов и солонцовых комплексов и виды мелиорации

Все многообразие солонцовых почв в регионе, в том числе в Барабе, было объединено в агромелиоративные группы с учетом их зональности, мощности надсолонцового горизонта, количества поглощенного натрия, характера засоленности и содержания легкорастворимых солей, глубины залегания карбонатов и гипса, а также участия солонцов в комплексе (табл. 7) (Система ..., 1990).

Таблица 7

**Агромелиоративная группировка солонцов пашни
и рекомендуемые мероприятия по их улучшению**

Агро- группа	Характеристика солонцовых комплексов, входящих в агропроизводственную группу	Вид мелиорации
I	Комплексы зональных солонцеватых, солончаковых почв с солонцами глубокими различного типа засоления и средними нейтрального типа засоления	Зональная технология с периодическим глубоким рыхлением 1 раз за ротацию севооборота
II	Комплексы с участием до 10% корковых и мелких солонцов автоморфных и полугидроморфных	Землевание или химическая мелиорация пятен солонцов
III	Комплексы солонцов, преимущественно корковых, мелких и частично средних глубокогипсовых свыше 10% площади с уровнем грунтовых вод глубже 1,5 м и минерализацией до 1,5 г/л при содовом засолении и уровне грунтовых вод глубже 2 м и минерализацией не более 5 г/л при нейтральном и смешанном засолении, а также на лессовидных породах с высокой водоподъемной способностью при глубине грунтовых вод более 2,5 м	Химическая мелиорация до 70% площади солонцов – выборочная, свыше 70% – сплошная
IV	Комплексы с участием более 50% солонцов автоморфных и полугидроморфных корковых, мелких и средних высококарбонатных глубокогипсовых нейтрального типа засоления не выше средней степени (кроме лесостепной зоны)	Плантажная вспашка с выборочной химической мелиорацией слоя 0–10 см
V	Комплексы с участием более 50% солонцов автоморфных и полугидроморфных корковых и мелких высококарбонатно-гипсовых нейтрального типа засоления не выше среднего в слое 0–40 см	Плантажная вспашка
VI	Комплексы с участием более 30% солонцов автоморфных и полугидроморфных, преимущественно средних и глубоких высококарбонатно-гипсовых нейтрального типа засоления не выше среднего	Ярусная вспашка
VII	Комплексы луговых солонцовых почв и солонцов сильнозасоленных в слое 0–40 см с уровнем залегания грунтовых вод выше 1,5 м и минерализацией более 5 г/л	Глубокая безотвальная обработка
VIII	Комплексы луговых почв и солонцов с очень сильным засолением в слое 0–40 см, а также при содержании в комплексе солончаков более 10%	Использовать в пашне нецелесообразно

Для повышения продуктивности сенокосов и пастбищ, расположенных на солонцах и солонцовых комплексах региона, на основании многолетних исследований ученых Южного Урала и Западной Сибири также была разработана агромелиоративная группировка солонцов, состоящая из 8 групп (Константинов и др., 2011):

I. Комплексы зональных почв с солонцами корковыми и мелкими до 10%. Повышение плодородия солонцов достигается при землевании, т.е. нанесении слоя черноземной почвы с расположенных рядом участков. Используются эти почвы с применением безотвальной системы обработки почвы.

II. Комплексы с солонцами корковыми, мелкими и средними свыше 10%, независимо от гидрологического режима содержащими менее 10% обменного натрия, слабо засоленными в слое 0–40 см, не содержащими гипса и извести. Используют их с применением безотвальной системы обработки. Целинные и залежные солонцы осваиваются по технологии послойной обработки.

III. Комплексы с солонцами степного и лугово-степного гидрологического режимов, корковыми, мелкими и средними до 50% с содержанием обменного натрия более 10%, средnezасоленными, не содержащими гипса и извести в слое 0–40 см, а также с солонцами луговыми слабозасоленными с учетом критической минерализации и глубины залегания грунтовых вод. Улучшение их возможно при применении выборочной химической мелиорации на фоне безотвальной системы обработки почвы. Без химической мелиорации целинные солонцы осваивают по технологии послойной обработки.

IV. Комплексы с солонцами степного, лугово-степного гидрологического режимов, корковыми, мелкими и средними до 50%, средnezасоленными, с содержанием обменного натрия более 10%, не содержащими гипса и извести в слое 0–40 см, солонцовые комплексы с мелкими пятнами тех же

солонцов от 30 до 50% и степные их массивы свыше 50%. Улучшают почвы сплошной химической мелиорацией. Целинные и залежные солонцы (с содержанием корковых солонцов не выше 30%) осваивают по технологии послойной обработки.

V. Солонцы степные и лугово-степные, глубокие и средние (не более 10–15%), а также солонцы высококарбонатные, высокогипсовые, малонатриевые с засолением в слое 0–40 см не более среднего и их комплексы с почвами различной степени солонцеватости. Целинные и залежные солонцы данной группы осваивают трехъярусной вспашкой.

VI. Солонцы степные, высокогипсовые, мелкие и корковые средне- и малонатриевые, слабозасоленные в слое 0–40 см. Освоение этих солонцов возможно при применении плантажной вспашки. На средненатриевых высококарбонатных солонцах целесообразно внесение мелиорантов из расчета на слой 0–10 см.

VII. Солонцы луговые и лугово-степные высоко- и глубокарбонатные средние и мелкие, независимо от содержания натрия сильно- и средnezасоленные в слое 0–40 см. Осваивают по технологии послойной обработки.

VIII. Солонцы корковые луговые, лугово-степные и степные сильнозасоленные могут быть улучшены путем сложных гидротехнических мелиораций. В настоящее время кормовые угодья на этих почвах можно использовать после проведения поверхностного улучшения.

В зависимости от свойств солонцов и солонцовых комплексов для каждой агро-мелиоративной группы разработан комплекс агротехнических и мелиоративных мероприятий:

1. Землевание.
2. Безотвальная глубокая обработка солонцов в пашне.
3. Послойная обработка солонцов и солонцовых комплексов на сенокосах и пастбищах.

4. Самомелиорация.
5. Фитомелиорация.
6. Химическая мелиорация.

Землевание проводится в черноземной зоне на полях с комплексами солонцов до 10 %. На поле выделяют пятна солонцов и с окружающих черноземных почв с помощью скрепера снимают верхний слой не более 10 см и наносят его на пятна солонцов мощностью 10–15 см. Все поле выравнивают планировщиком с последующим глубоким рыхлением на глубину 30–35 см. В дальнейшем массивы с землеванием обрабатывают безотвально. Авторами данного мелиоративного приема являются Н. В. Орловский (1946), И. Т. Трофимов (1982), А. Г. Назарчук (1995).

Безотвальная глубокая обработка солонцов в пашне ведется плугами со стойками СибИМЭ на глубину 25–27 см, один раз в ротацию севооборота – до 40 см. Глубокое рыхление стойками СибИМЭ улучшает физические свойства, водный, воздушный и пищевой режимы почв, что создает условия для лучшего удаления из почвенного профиля легкорастворимых солей (Константинов, 2000; Яковлев, 1989).

Послойная обработка солонцов и солонцовых комплексов на сенокосах и пастбищах заключается в следующем: первоначально фрезеруют верхний надсолонцовый горизонт на глубину 8–10 см (разделявают дернину). Затем рыхлят нижние горизонты (солонцовый и подсолонцовый) на глубину 30–35 см рыхляще-подрезающими лапами конструкции СибИМЭ. При этом фреза разрабатывает дернину и приводит ее в мелкокомковатое состояние, а солонцовый горизонт теряет столбчатую структуру и монолитность, за счет чего улучшаются его физические свойства (Кулебакин, 1980).

Самомелиорация – способ улучшения степных и лугово-степных солонцов, в которых в слое 0–40 см имеются значительные природные (естественные) запасы (15–60 т/га)

карбонатов кальция или гипса. Мелиоративными обработками (плантажной и ярусной) соли кальция вовлекаются в пахотный слой и таким образом происходит химическая самомелиорация солонцовых горизонтов.

Плантажная вспашка ведется на старопахотных солонцах, преимущественно корковых и мелких, на которых при ранее проводимых обработках надсолонцовый и солонцовый горизонты перемешаны и солонцовый горизонт вывернут на поверхность.

Ярусную вспашку проводят на глубоких, средних и частично мелких солонцах, на которых при обработке можно сохранить плодородный гумусовый горизонт на поверхности. При ярусной обработке солонцовый горизонт должен быть измельчен и перемешан с подсолонцовым карбонатным или гипсоносными горизонтами В₂ и ВС. Вовлеченный в оборот внутрипочвенный гипс действует так же, как и внесенный. Длительность действия одноразовых плантажных и ярусных вспашек, как и химической мелиорации, сохраняется в течение нескольких десятков лет (Соколов и др., 1972).

Фитомелиорация – улучшение физических, физико-химических и химических свойств солонцов при выращивании на них соле- и солонцеустойчивых трав и травосмесей. Выявлено, что при таком способе мелиорации солонцовый горизонт разрыхляется, улучшаются его водно-физические свойства, повышается плодородие солонцов. Кроме того, солеустойчивые растения в своей биомассе накапливают легкорастворимые соли, которые выносятся с урожаем, и уменьшают тем самым содержание солей в почвенном профиле. При применении фитомелиорации подбор видов и сортов соле- и солонцеустойчивых трав имеет решающее значение (Орловский, 1982; Константинов, Ломова, 2007; Константинов и др., 2011).

Наиболее целесообразно на солонцах Барабы возделывать не монокультуры, а травосмеси, которые более продуктивны в условиях недостаточного увлажнения и комплексного почвенного покрова. В настоящее время мелиоративная послойная обработка солонцов с последующим залужением – наиболее перспективный путь использования почв солонцовых комплексов (Константинов и др., 1979).

Химическая мелиорация рекомендуется на массивах корковых и мелких солонцов содового засоления с уровнем залегания грунтовых вод глубже 1,5 м и минерализацией до 1,5 г/л; на солонцах с нейтральным и смешанным засолением при глубине залегания грунтовых вод 2 м с минерализацией не более 5 г/л. Нормы мелиорантов устанавливаются для каждого элементарного участка и могут колебаться в широких пределах даже на одном массиве.

В Западной Сибири применяют два метода расчета доз мелиорантов.

1. Метод Гедройца основан на вытеснении обменного натрия из ППК кальцием гипса (Семендяева, Добротворская, 2005):

– для малонатриевых солонцов нормы рассчитываются на полное вытеснение обменного натрия:

$$N = 0,086 \cdot h \cdot d \cdot Na;$$

– для средненатриевых и многонатриевых нормы рассчитывают на вытеснение обменного натрия за вычетом 10% его содержания от емкости катионного обмена (ЕКО):

$$N = 0,086 \cdot h \cdot d \cdot (Na - 0,1EKO),$$

где N – норма гипса ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$), т/га;

0,086 – коэффициент пересчета гипса из ммоль-экв в т/га;

h – мощность мелиорируемого слоя, см;

d – плотность почвы, г/см³;

Na – обменный натрий, ммоль-экв/100 г почвы в горизонте B_1 ;

ЕКО – емкость обмена, ммоль-экв/100 г почвы.

2. *Метод донасыщения.* Определяют потребность в кальции для данного солонца в сравнении с потребностью в кальции зональной почвы. В северной лесостепи она составляет 7,2 ммоль-экв/100 г почвы, в южной – 6, в степной – 4. Вычитая из величины потребности солонца в кальции величину его поглощения зональной почвой, рассчитывают необходимую норму мелиоранта по формуле

$$N = 0,086 \cdot h \cdot d \cdot (a - b),$$

где N – норма гипса, т/га;

0,086 – коэффициент пересчета гипса из ммоль-экв в т/га;

h – мощность мелиорируемого слоя, см;

d – плотность почвы, г/см³;

a – количество кальция, поглощенного солонцом, ммоль-экв/100 г почвы;

b – количество кальция, поглощенного зональной почвой, ммоль-экв/100 г почвы.

Данный метод разработан сотрудниками Омского сельскохозяйственного института и широко внедрялся с 1970 до 1996 г. (Березин и др., 1973; Березин, 2005; Воропаева, 2010).

До 1996 г. в качестве мелиорантов использовали сыромолотый гипс Кунгурского гипсового завода (Пермский край) и фосфогипс – отход суперфосфатного производства (Свердловская область, Башкортостан). Наиболее перспективным является использование месторождений самосадочного гипса из оз. Джиря (Алтайский край, Кулундинский район), эффективность которого проверена в ряде хозяйств Алтайского края (Генезис ..., 2009).

2.3. Изученность проблемы длительности действия химической мелиорации солонцов

Большой опыт по химической мелиорации солонцов, накопленный как на всей территории России (Засоленные ..., 2006), так и в Западной Сибири (Панин и др., 1977;

Мигуцкий, 1986; Семендяева, 2002; Березин, 2005) в научно-исследовательских учреждениях и в производстве, свидетельствовал о длительности действия данного приема. Первоначально считали, что эффективность разового внесения химических мелиорантов на солонцы составляет 6–8 лет (Березин, 2013). Позднее этот срок продлили до 10 и более лет, что отражено в рекомендациях того периода (Использование ..., 1980; Система ..., 1990, и др.). Позже было зафиксировано действие гипса через 15 лет после внесения (Семендяева, 1998, 2009; Березин, 2005). Однако впоследствии оказалось, что действие гипса продолжается и более длительное время.

А. С. Мигуцким (1986) в период наблюдений с 1970 по 1986 г. установлено, что на корковых и мелких солонцах многонариевых содового типа засоления совместное применение химической мелиорации и безотвального рыхления способствовало снижению щелочности, дисперсности почвы, увеличению водопроницаемости и получению высоких урожаев сельскохозяйственных культур по сравнению с контролем. В. И. Кирюшин (1975) на солонцах Казахстана показал, что в условиях близкого залегания грунтовых вод мелиоративные обработки эффективны только на фоне внесения гипса.

Продолжительность действия мелиорантов в значительной степени зависит от дозы и свойств мелиорируемых солонцов. Как свидетельствуют ранее полученные нами данные, дозы выше расчетных оказывают отрицательное влияние на экологическую обстановку агроландшафта (Семендяева и др., 1987), а внесение малых доз малоэффективно.

Наиболее ранние исследования по изучению длительности действия химических мелиорантов на солонцах проведены в Челябинской области О. З. Еремченко (1986,

1997), которой были восстановлены опыты по химической мелиорации солонцов, заложенные А. И. Обориным в 1932 и в 1960–1963 г. О. З. Еремченко (1997) установлено, что на фоне повторяющихся многолетних процессов рассоления и засоления положительное влияние химической мелиорации на свойства солонцов постепенно снижается. Это в значительной степени зависит от типа засоления и мощности горизонта А. На средних и мелких солонцах сульфатного засоления на фоне безотвальной обработки последствие гипсования продолжается более 7–11 лет и около 8 – на отвальной; на глубоких гидрокарбонатных и корковых хлоридно-сульфатных солонцах – более 28 лет, а на средних гидрокарбонатных – более 50 лет. Кроме того, химическая мелиорация солонцов луговых (гидроморфных) на фоне естественного увлажнения повысила урожайность сельскохозяйственных культур в среднем на 2–6 ц/га к. ед., а совместно с удобрениями – на 3–10 ц/га к. ед. Относительная эффективность химической мелиорации в Зауралье возрастала в следующем порядке: солонец глубокий гидрокарбонатный → солонец средний сульфатный → солонец мелкий сульфатный → солонец средний гидрокарбонатный → солонец корковый хлоридно-сульфатный.

Длительные исследования по изучению эффективности химической мелиорации солонцов малонатриевых проводятся в Омской области Л. В. Березиным (2003) и его учениками (Гиндемит, 2012). Ими установлено, что фосфогипс, внесенный в солонцы Малиновского опорного пункта СибНИИСХ (Тюкалинский район) в 1984 г., продолжает проявлять свое положительное действие до настоящего времени. На 18-й год после гипсования (2002) средняя урожайность яровой пшеницы возросла почти в 3 раза по сравнению с контролем, тогда как после 10-летнего последствия – только на 50%, т.е. с годами действие разового

внесения гипса в дозе 12 т/га не затухает, более того, его эффективность возрастает.

Наши исследования, проведенные в производственных условиях в северной лесостепи Барабы (АО «Кабинетное» Чулымского района Новосибирской области) на корковых среденатриевых солонцах, также свидетельствуют о длительном эффекте разового внесения гипса. Сыромолотый гипс из Пермского края в 1986 г. был внесен выборочно отрядом «Агропромхимия» в дозах от 20 до 30 т/га в пятна солонцов на площади 100 га согласно составленной проектно-сметной документации (Семендяева и др., 2002).

В 2001 г. на мелиорированном участке был заложен разрез на глубину 100 см, сделано его морфологическое описание и отобраны почвенные образцы для анализа. Как показали исследования, на 15-й год после мелиорации действие разового внесения продолжается. На мелиорированных корковых солонцах отсутствовала корка, плотность пахотного горизонта находилась в пределах 0,95–1,0 г/см³, общая пористость составляла 65 %. Содержание общего натрия в пахотном горизонте снизилось до 0,85 % при исходном 27,3 % от ЕКО. Засоление почвенного профиля – слабое. Урожайность сельскохозяйственных культур в среднем за годы наблюдений была следующей: зерновых – 20–25 ц/га, силосных – в пределах 300 ц/га.

Полученные данные свидетельствуют, что разовое внесение мелиоранта в корковые и мелкие солонцы черноземно-луговые в пашне на длительное время повысило их плодородие и поддерживало урожайность зерновых и силосных культур на сравнительно высоком уровне. На 15-й год внесения корковые и мелкие солонцы по свойствам приблизились к черноземно-луговым солонцевато-солончаковым почвам и визуально практически не отличались от последних. Вторичного засоления нами не было обнаружено, хотя

уровень залегания грунтовых вод за это время подвергался значительным колебаниям.

В конце 80-х годов прошлого столетия в Новосибирской области было промелиорировано около 36 тыс. га солонцовых почв, а в Омской области химическая мелиорация проведена на площади около 143,1 тыс. га (1986–1990 г.). При средней дозе гипса 14–16 ц/га прибавка урожайности зерновых составила 5–7 ц/га (Стройнов, Колебер, 2009). Мелиорированные солонцы в пашне имеются во многих областях региона – Тюменской, Кемеровской, Алтайском крае. Поэтому есть необходимость продолжать изучение длительности действия разового внесения химических мелиорантов, воздействия на данный процесс уровня залегания и степени минерализации грунтовых вод, дать современную оценку свойств мелиорированных солонцов на примере Новосибирской области для их дальнейшего рационального использования в сельскохозяйственном производстве.

3. ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ СОЛОНЦОВ БАРАБИНСКОЙ РАВНИНЫ

Изменение свойств солонцов при длительном действии химической мелиорации изучалось на «солонцовом» стационаре Сибирского НИИ земледелия и химизации сельского хозяйства на территории Новосибирской области на полях АО «Кабинетное», расположенного в северной части лесостепной зоны Западной Сибири в пределах Барабинской равнины. Исследования проводились в двух микроделяночных опытах, расположенных недалеко друг от друга на малонатриевых ($55^{\circ}4'51''$ с.ш. $81^{\circ}12'22''$ в.д.) и на многонатриевых ($55^{\circ}4'51''$ с.ш. $81^{\circ}12'24''$ в.д.) (рис. 7).



Рис. 7. Расположение опытного участка (снимок со спутника):
1 – на малонатриевом солонце; 2 – на многонатриевом солонце

Полное название изучаемых почв: химически мелиорированные солонцы корковые черноземно-луговые гидроморфные высокосолончаковатые сульфатно-содового засоления слабо- и средnezасоленные глубококарбонатные

с различным содержанием натрия в иллювиальном горизонте B_1 (соответственно солонцы мало- и многонатриевые).

3.1. Объекты и методы исследований

Опыты заложены на плоских межгрядных пространствах с ярко выраженным микрорельефом в виде неглубоких блюдцеобразных понижений (рис. 8).



Рис. 8. Опытный участок на многонатриевом солонце (2014 г.)

Микроделяночные опыты на малонатриевом солонце заложены в 1981 г. Н. И. Добротворской, а на многонатриевых – в 1986 г. Р. Ф. Галеевым (Семендяева, Добротворская, 2005).

Уровень залегания грунтовых вод (УЗГВ) на опытных участках подвержен сезонной и многолетней динамике и изменялся от 40 до 350 см. Минерализация грунтовых вод находилась в пределах от 1,5 до 2 г/л. Несколько выше УЗГВ и степень их минерализации были под многонатриевыми солонцами (Галеев, 1991). Гранулометрический состав

пахотного горизонта солонцов легко- и среднеглинистый. В исходном состоянии емкость катионного обмена этого горизонта снижается от многонатриевого к малонатриевому солонцу соответственно с 44,7 до 39,2 ммоль-экв/100 г почвы. На долю обменного натрия в ЕКО малонатриевого солонца приходилось в среднем 4,2 ммоль-экв/100 г почвы, или 9,5%, а в многонатриевом – примерно 16,9 ммоль-экв/100 г почвы, или 47,7%. Следует отметить, что содержание общего натрия сильно колебалось на опытных участках, что видно из рис. 9, на котором дано его количество на опытном участке многонатриевого солонца в исходном состоянии в слое 0–20 см. Величина рН в малонатриевом солонце в пахотном горизонте составила 7,2–8,5, а в многонатриевом – 8,0–9,3.

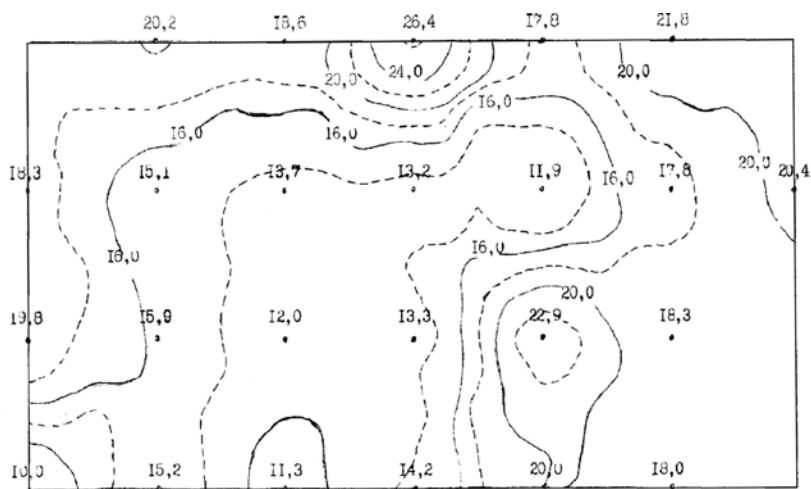


Рис. 9. Распределение общего натрия на опытном участке солонца многонатриевого в слое 0–20 см перед закладкой опыта (ммоль-экв/100 г почвы)

Содержание гумуса перед закладкой опыта составляло около 5% от массы почвы. Количество нитратного

азота варьировало в пределах 0,5 мг/кг, легкодоступного (I) и подвижного фосфора (Q) – 2,3 и 16 мг/кг соответственно.

На малонатриевых солонцах сыромолотый гипс (Кунгурский гипсовый завод, Пермский край) внесен в дозах от 0 до 50 т/га с интервалом 2–3 т/га без учета содержания обменного натрия в ППК. Всего в этом опыте 21 вариант (рис. 10).

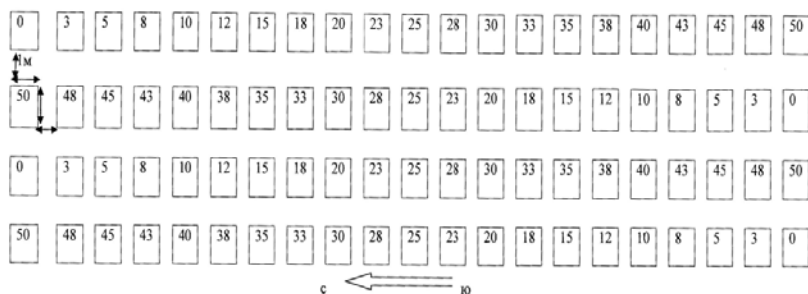


Рис. 10. Схема расположения делянок на малонатриевом солонце

На многонатриевых солонцах дозы гипса рассчитаны по среднему образцу с интервалом 0,25 нормы по методу Гедройца, т.е. до 1,25 нормы (рис. 11). Закладка микроделяночных опытов проведена следующим образом: предварительно на территории опытных участков с помощью реперов разбивали делянки. На малонатриевых солонцах их площадь равна 1 м², а на многонатриевых – 4 м² с расстоянием между делянками 1 м. Затем из каждой делянки на пленку вынимали слой почвы 0–20 см ($A_{\text{пах}}$), в него вносили соответствующую дозу мелиоранта (гипса) и вручную тщательно перемешивали с почвой. В будущую делянку, из которой вынималась почва, заделывали по сторонам пленку на глубину 30–40 см, а потом в нее снова помещали почву, смешанную с гипсом.

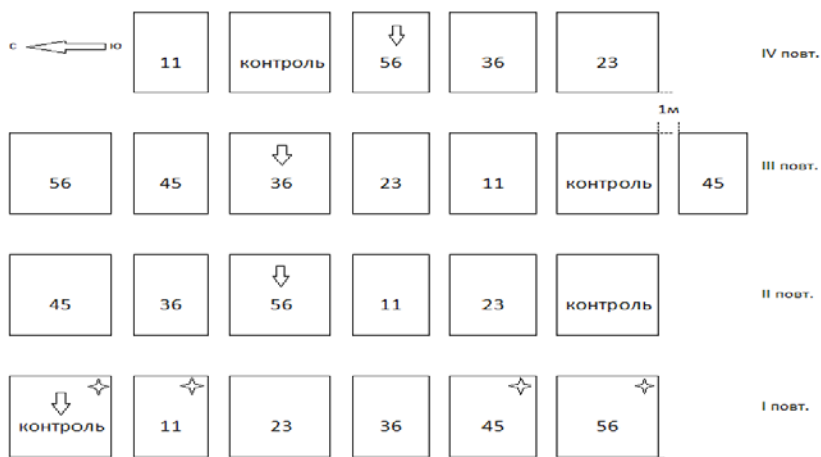


Рис. 11. Схема расположения делянок на многонатриевом солонце (стрелками показаны варианты, где бурили скважины для отбора грунтовых вод; звездочками – места отбора почвенных образцов)

Пленку закладывали с небольшим поверхностным напуском, чтобы избежать поверхностного и бокового стоков (рис. 12).

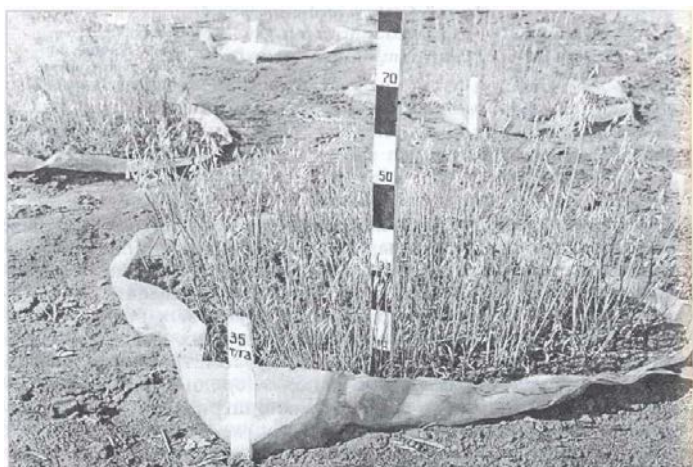


Рис. 12. Микроделяночный опыт на солонцах корковых малонатриевых

Тот же прием применен и на контрольных делянках, но без внесения мелиоранта.

Повторность в опытах четырехкратная, а расположение делянок – рендомизированное. После отбора буром почвенных образцов на анализ скважины заливали парафином во избежание возможного дренажа.

С 1986 по 1995 г. на делянках малонатриевого солонца возделывали следующий севооборот: «пар – пшеница – овес – овес», а многонатриевого – «пар – озимая рожь – пшеница – овес – овес». В 1986 г. в дозах 90 кг д.в./га и в 1990 г. 40 кг д.в./га во всех вариантах опыта был внесён двойной суперфосфат (42% P_2O_5). На делянках ежегодно проводили ручную зяблевую вспашку на глубину мелиорируемого слоя 0–20 см. Весной, также ручную, – предпосевную обработку и посев зерновых культур.

С 1994 г. опытные участки находились под залежью, но перед этим на них была посеяна смесь люцерны с донником. В 2006 г. были вскрыты некоторые делянки на одной из повторностей и заложены почвенные разрезы на глубину 100–120 см. Изучаемые варианты на малонатриевом солонце – контроль (без гипса), гипс 5, 12, 18, 35 и 50 т/га; на многонатриевом – контроль (без гипса), гипс 11, 45 (полная доза по Гедройцу), 56 т/га. В этих вариантах в предыдущие годы проводили детальные наблюдения, позволяющие в настоящее время выявить влияние разового внесения гипса на свойства и плодородие солонцов.

Разрезы закладывали таким образом, чтобы нанести как можно меньший ущерб делянке и ближайшей территории. Рядом дополнительно закладывали разрезы на целине для более детального исследования влияния химической мелиорации на свойства солонцов.

Почвенные образцы отбирали через 20 см до глубины 100 см, как правило, дважды за сезон – в конце мая или на-

чале июня и в сентябре. В это же время производили отбор грунтовых вод. Уровень их залегания и степень минерализации определяли по общепринятым методикам (Практикум..., 2001). Во всех почвенных разрезах проведено морфологическое исследование генетических горизонтов по существующим методикам (Полевой..., 1981; Розанов, 2004; Семендяева и др., 2009).

В почвенных образцах проведены следующие анализы: плотность сложения определена методом врезания бурилка в почву ненарушенного сложения по С.М. Модиной и С.И. Долгову; плотность твердой фазы почвы – пикнометрическим способом; общая пористость и пористость аэрации – расчетным методом (Агрофизические..., 1966); гранулометрический и микроагрегатный состав – по методу Н.А. Каинского (1958); анализ водной вытяжки – по Аринушкиной; величина рН – потенциометрическим методом; общее содержание гумуса – по Тюрину, а его качественный состав – по Кононовой и Бельчиковой; общий натрий – по Шолленбергеру (Практикум ..., 2001); обменный натрий – по разности общего натрия и натрия водной вытяжки.

Нитратный азот определяли по Грандваль-Ляжу (Агрохимические..., 1975); легкодоступный фосфор (степень подвижности I) – по Карпинскому, Замятиной (1958); обменный калий и подвижный фосфор (фосфатная ёмкость Q) – по Мачигину (Агрохимические..., 1975). Учет урожайности проводили методом пробных снопов с площадок 0,25 м². Повторность 3–5-кратная.

Биологическую активность почвы изучали в слоях 0–20 и 20–40 см в вариантах: многонатриевый солонец – контроль, без гипса; гипс 45 т/га; малонатриевый солонец – контроль, гипс 18 т/га. В качестве эталона была изучена зональная лугово-черноземная почва. Микробиологические

исследования проводили в свежееотобранной почве в начале июля и в модельном опыте в контролируемых условиях влажности (60 % ПВ) и температуры (20–22 °С).

Среди микробиологических показателей на плотных и жидких питательных средах учтены численность микробов, усваивающих органический и минеральный азот, денитрификаторов, олигонитрофилов, азотфиксаторов (участвующих в круговороте азота), обилие актиномицетов, грибов и олигокарбофилов (участвующих в круговороте углерода), анаэробных аммонификаторов и сульфатвосстанавливающих бактерий (участвующих в круговороте серы) (Сэги, 1983), а также биологическая активность почвы по протеолитической и инициированной уреазной активности (Аристовская, Чугунова, 1989).

Статистическая обработка данных выполнена корреляционным анализом в программе Microsoft Office Excel 2007 и дисперсионным методом с помощью пакета программ «Снедекор» (Сорокин, 2009). При сравнении средних значений данных двух выборок применялся t-критерий Стьюдента для уровня достоверности 95 % (Лапач и др., 2001).

При проведении экспериментальных работ нами были использованы стационарный, профильный, морфологический, аналитический, космический и другие методы исследований.

3.2. Погодные условия лет исследований

Температура воздуха за вегетационный период (май – сентябрь) в 93 % лет исследований была на уровне среднемноголетней или превышала ее, и только в 7 % лет была ниже среднемноголетней (рис. 13). Сумма осадков за вегетационный период (май – сентябрь) в 31 % лет исследований была близкой к среднемноголетней, в 35 % лет превы-

шала среднемноголетнюю и в 34 % лет была ниже ее. Следовательно, вегетационный период за 30 лет на территории проведения исследований в основном был теплым, даже жарким, и большей частью достаточно увлажненным, что повлияло на растворимость внесенного гипса, его воздействие на свойства почвы и продуктивность сельскохозяйственных культур.

Температура воздуха в мае в 73 % лет исследований превышала среднемноголетнюю (на 0,6–5,9 °C), а в 27 % лет была ниже ее (на 1,7–2,5 °C). Среднемесячная температура воздуха в июне в 59 % лет была близка к норме или превышала ее (на 0,4–4,4 °C), а в 41 % лет была ниже нормы (на 0,2–2,9 °C). Июль в 72 % лет был жарким (выше на 0,1–5 °C), а в 28 % лет прохладным (ниже на 0,1–2,3 °C). В августе в 83 % лет исследований температура воздуха превышала среднемноголетнюю (на 0,1–2,5 °C) и только в 17 % лет была ниже ее (на 0,4–1,9 °C). В сентябре в 66 % лет исследований температура воздуха превышала норму (на 0,1–2,2 °C) и в 34 % лет была ниже ее (на 0,3–3,5 °C). Среднемноголетнее значение температуры воздуха за вегетационный период (май – сентябрь) в 68 % лет исследований превышало норму, в 19 % лет было близко к ней, а в 13 % лет – ниже ее (рис. 13).

Количество осадков в мае в 41 % лет исследований соответствовало норме и превышало ее, а в 59 % лет осадков выпало меньше нормы. В июне в 62 % лет исследований осадков выпало около нормы и больше ее, а в 38 % лет их было недостаточно. Распределение осадков в июле имело такой же характер, как в июне. В августе в 38 % лет исследований осадков выпало около нормы или больше ее, а в 62 % лет – недостаточно. Сентябрь в 55 % лет исследований характеризовался нормальным и избыточным количеством осадков, а в 45 % – недостаточным.

Среднемноголетнее количество осадков за вегетационный период (май – сентябрь) в 39% лет исследований превышало норму, в 9% – было близким к ней, а в 51% лет – ниже ее.

В среднем погода на территории хозяйства за вегетационный период (май – сентябрь) в течение 34 лет исследований в 86% лет была жаркой и теплой, а количество осадков распределялось так: дефицит их наблюдался в 51% лет, норма и выше нормы – в 49% лет.



Рис. 13. Погодные условия вегетационного периода (май – сентябрь) в годы проведения исследований по ГМС Чулым

4. ИЗМЕНЕНИЕ СВОЙСТВ СОЛОНЦОВ ПРИ ДЛИТЕЛЬНОМ ДЕЙСТВИИ РАЗОВОГО ВНЕСЕНИЯ ГИПСА

Морфологические признаки почвенного профиля являются устойчивой внешней характеристикой свойств. В них отражаются все важнейшие свойства, особенности происхождения и развития почв (Докучаев, 1949; Сибирцев, 1957; Муха, 1981; Почвенный ..., 2001). Даже кратковременное антропогенное воздействие на почву приводит к изменениям морфологических признаков. В результате механических обработок при сельскохозяйственном использовании почв формируется так называемый пахотный горизонт ($A_{\text{пах}}$).

Пахотный горизонт, обладая специфическими признаками (структурой, окраской, сложением и т.д.), существенно отличается от исходных генетических горизонтов целинных почв. По мнению В.Д. Мухи (1981), он представляет собой диагностический горизонт окультуренности, который накапливает в себе питательные вещества вносимых органических и минеральных удобрений, мелиорантов и является местом сосредоточения корней возделываемых культур. Пахотный горизонт в значительной степени определяет плодородие всего почвенного профиля и влияет на направленность и интенсивность почвообразовательного процесса. При сельскохозяйственном использовании изменениям подвергаются не только пахотный, но и все нижележащие горизонты.

4.1. Изменение морфологического профиля солонцов

В настоящее время антропогенный фактор обуславливает биоразнообразие в природе, сохранение плодородия и во многих случаях приводит к возникновению новых антропогенно измененных почв, обладающих иными свойствами по сравнению с исходными, что особенно ярко проявляется

при химической мелиорации (гипсовании солонцовых и известковании кислых почв). Химическая мелиорация оказывает значительное воздействие на профильное развитие почв, изменяет морфологические признаки, что, по мнению И. Н. Любимовой (2003), приводит к началу развития нового этапа эволюции и «в качестве объекта почвообразования выступают агротурбированный мелиорированный слой и незатронутые обработками нижележащие горизонты».

Вскрытие и изучение морфологических профилей солонцов в микроделяночных опытах показало, что в контроле (без мелиорации) пахотный горизонт представлял собой смесь горизонтов A_0 , A_1 и B_1 со значительным преобладанием горизонта B_1 , имел глыбисто-столбчатую структуру с глянцем на гранях структурных отдельностей (рис. 14). Растительность здесь практически отсутствовала и с поверхности образовалась мощная почвенная корка.



Рис. 14. Столбчатая структура коркового многонатриевого солонца

Морфологический профиль солонца многонатриевого в контроле имел следующее строение:

$A_{\text{пах}} \frac{(A_0 + A_1 + B_1)_s}{0-20 \text{ см}}$ 20	Темно-серый, увлажнен, по профилю четко выделяется формирующийся горизонт В со столбчато-ореховатой структурой. Непрочно выраженные «столбы» прослеживаются с 4 до 12 см, а между ними заполняющий материал имеет ореховатую структуру, которая также залегает глубже 12 см. Очень плотный, глинистый, ржаво-охристые пятна по всему горизонту, пронизан единичными корнями растений, вскипает с поверхности. Переход в следующий горизонт постепенный по структуре.
$B_{2s} \frac{20-35 \text{ см}}{15}$	Темно-серый, неоднородно окрашен, слегка буроватый, четко выделяются ржаво-охристые пятна, ореховатый, глянец на гранях структурных отдельных, плотный, глинистый, увлажнен, вскипает от HCl. Переход в следующий горизонт ясный по цвету.
$B_{3s} \frac{35-58 \text{ см}}{23}$	Желтовато-бурый, неоднородно окрашен, мелко-ореховато-призмовидный, глянец на гранях структурных отдельных, ржаво-охристые пятна, глинистый, влажный, видны скопления солей в виде пятен, бурно вскипает. Переход в следующий горизонт постепенный.
$BC_s \frac{58-98 \text{ см}}{23}$	Желто-бурый, неоднородно окрашенный, непрочно-призмовидный, гляцеватый, много ржаво-охристых пятен, влажный, глинистый, единичные крупные поры, бурно вскипает. Переход в следующий горизонт постепенный
$C_s \frac{98-120 \text{ см}}{22}$	Желто-бурая с оливковыми пятнами влажная глина, единичные ржаво-охристые пятна, бурно вскипает.

Морфологическое строение профиля солонца малонатриевого в контроле аналогично многонатриевому. Их можно отличить только по результатам лабораторных анализов. Таким образом, после прекращения механических обработок в бывшем пахотном горизонте солонцов мало- и многонатриевых более чем за 20-летний залежный период вос-

становилась столбчатая структура, причем ее зарождение произошло внутри пахотного слоя, переходя вниз в ореховато-призмовидную структуру. В многонатриевом солонце вскипание от соляной кислоты отмечается с поверхности и по всему профилю, оглеение с глубиной усиливается, т.е. происходит восстановление природно-естественных связей солонца коркового лугового.

На целинном участке, расположенном в непосредственной близости, вскипание отмечается с глубины 3 см. В горизонте B_1 оно слабое, усиливается вниз по профилю. Визуальное скопление солей обнаруживается на глубине 20 см и глубже, тогда как в контроле оно несколько выше – 15 см, что указывает на усиливающееся засоление.

Особый интерес представляют профили мелиорированных корковых солонцов, где действие гипса продолжается более 30 лет. Степень покрытия растительностью делянки с внесением 11 т/га гипса составляет 50–60%, в гумусном (пахотном) горизонте $A_{\text{пах}}$ четко выделяются три подгоризонта, в которых вскипание обнаружено с поверхности: A_0 (0–2 см) – дернина. Затем идет подгоризонт A_1 (2–7 см) – серый, с белесоватым оттенком, слабо уплотненный, комковато-зернисто-пылеватый, глинистый, увлажненный, пронизанный корнями растений. Он постепенно переходит в собственно солонцовый горизонт (7–20 см) – темно-серый, комковато-призмовидно-столбчатый, книзу хорошо видна ореховато-призмовидная структура с глянцем на гранях структурных отдельностей, соли в виде тонкого псевдомицелия. Горизонт ясно по структуре переходит в горизонт B_2 (20–40 см) – серого цвета, книзу темновато-бурый, со значительными гумусовыми потеками и скоплением солей, призмовидно-глянцевый, глинистый, влажный, с ржаво-охристыми пятнами и железисто-марганцевыми бобовинами, переход в следующий горизонт постепенный. Горизонт BC (40–64 см) – желтовато-бу-

рый, с гумусовыми потеками, неоднородно окрашенный, увлажненный, призмовидный, глянцеватый, со значительным скоплением солей. Горизонты ВС и С морфологически похожи на горизонты контрольного варианта.

Как свидетельствует морфологическое описание почвенного профиля солонца коркового многонатриевого, 30-летнее действие гипса в дозе 11 т/га (1/4 часть дозы от расчетной) несколько отразилось на внешних признаках почвы – корковый солонец перешел в мелкий солонец с мощностью горизонта А 0–7 см. Мелиоративные процессы визуально слабо отразились на типовых признаках нижележащих генетических горизонтов. Это типичный профиль агросолонца мелкого лугового.

Длительное действие полной нормы (45 т/га) и 1,25 нормы (56 т/га) гипса существенно изменило внешние признаки солонцов корковых. Профили их несколько похожи, поэтому остановимся на описании варианта 45 т/га. Степень покрытия растительностью – 70–80 % и более.

$A_{\text{пах}} \frac{0-20}{20} \text{ см}$	Вскипает от соляной кислоты с поверхности, в горизонте А – слабо, с глубиной – бурно. Выделяется подгоризонт A_0 – дернина, пронизан корнями растений, ниже залегает собственно горизонт А – темно-серый, слегка белесоватый, комковато-зернистый, столбчато-ореховатой структуры нет, слегка уплотнен, глинистый. Переход в следующий горизонт постепенный.
$B_2 \frac{20-40}{20} \text{ см}$	Желтовато-бурый, увлажнен, единичные ржаво-охристые конкреции, комковато-непрочно-призмовидный, со слабым глянцем на гранях структурных отдельностей, глинистый, уплотнен, единичные корни растений. Переход в следующий горизонт постепенный.
$B_3 \frac{40-64}{24} \text{ см}$	Желтовато-бурый, неоднородно окрашен, непрочно-комковато-призмовидный, небольшой глянец на гранях структурных отдельностей, хорошо видны железисто-марганцевые бобовины, глинистый, увлажнен, единичные корни растений и крупные поры. Переход в следующий горизонт постепенный.

BC _s <u>64–99 см</u> 35	Желто-бурый с оливковым оттенком, ржаво-охристые пятна и скопление солей в виде псевдомицелия, с 54 см глинистый, влажный, единичные корни растений и крупные единичные поры. Переход в следующий горизонт постепенный.
C _s <u>99–120 см</u> 21	Желто-бурая с оливковым оттенком влажная карбонатная глина.

В варианте 56 т/га горизонт $A_{\text{пах}}$ (0–20 см) более рыхлый, комковато-зернистый, слабовскипающий, пронизан корнями растений. В нижних горизонтах усиливаются гумусовые потеки. Видимые скопления солей залегают глубже, чем в варианте 45 т/га (77 см).

Согласно классификации почв России, эти почвы следует отнести к агросолонцам, сформированным при освоении корковых и мелких темных солонцов, подтип – агрогетерогенный. Последние «диагностируются по наличию в агрогоризонте ($A_{\text{пах}}$) отдельных фрагментов солонцового горизонта при сохранении его нижней части и всех нижележащих горизонтов в естественном состоянии» (Классификация ..., 2004, с. 166).

К данному типу и подтипу можно отнести профили солонцов в контроле и при дозе гипса 11 т/га, где химическая мелиорация прошла лишь в слое 0–7 см, а в вариантах 45 и 56 т/га фрагментов солонцовых горизонтов в пахотном слое нет. Он имеет комковато-зернистую структуру, видимые скопления солей значительно опущены, процессами мелиорации охвачены все генетические горизонты, и здесь целесообразно говорить о новом типе агрогенных почв – антропогенно-луговых солонцевато-солончаковатых.

Установленная закономерность сохраняется и в морфологических профилях солонцов малонатриевых, но в данном случае процессы химической мелиорации выражены более глубоко, что проявляется в первую очередь в структуре

и плотности нижележащих горизонтов, меньшей выраженности признаков оглеения и более низкой линии залегания визуального скопления солей. Профили почв на делянках с дозой гипса 12 и 18 т/га близки между собой, и их следует отнести к агрогенно-луговым сильносолонцевато-солончаковатым. В вариантах 35–50 т/га процессы рассолонцевания еще более глубокие, и поэтому антропогенно-формирующиеся почвы можно отнести к агрогенно-черноземно-луговым солонцевато-солончаковатым.

К подобному заключению пришел и Л. В. Березин (2005), который изучал морфологический профиль солонцов на Голубковском стационаре совместно с кафедрой ботаники Омского сельскохозяйственного института. Им, в частности, было установлено, что после семилетнего рыхления мелко-го содового солонца в контроле (без мелиорантов) происходит постепенное восстановление столбчатой структуры. Плотность иллювиального горизонта достигала исходного уровня (1,7–1,8 г/см³). При этом прочность столбчатых отдельностей оставалась значительно меньше целинных. В гипсованном солонцовом горизонте формировались частицы зернисто-ореховатой структуры.

Итак, при химической мелиорации в профиле солонцов корковых формируется пахотный горизонт, состоящий из смеси горизонтов A_0 , A_1 и B_1 . В нем преобладает масса иллювиального горизонта В. Профиль антропогенно измененных солонцов приобретает следующий вид: $A_{\text{пах}} - B_2 - B_2 - B_3 - BC - C$.

В залежном состоянии в бывших распаханых немелиорированных солонцах восстановился солонцовый столбчатый горизонт, причем из пахотного коркового солонца сформировался снова именно корковый солонец. Скорость восстановления иллювиальных горизонтов солонцов корковых мало- и многонатриевых примерно одинакова и составила около 10 лет.

Действие одноразового внесения гипса сохраняется длительное время. Эффект химической мелиорации почв продолжается в залежном состоянии. На многонатриевых солонцах четвертичная доза гипса (11 т/га) обеспечивает создание мелиорируемого слоя до 7 см, ниже которого начинают формироваться фрагменты горизонта В. Полные дозы гипса, рассчитанные по методу Гедройца, сформировали пахотный горизонт комковато-зернистой структуры. Эффект длительного действия гипса отражается на всем нижележащем профиле. Корковые солонцы перешли в тип луговых и черноземно-луговых почв различной степени солончаковатости и солонцеватости. Чем выше была доза мелиоранта, тем больше проявился мелиоративный эффект.

4.2. Влияние гипсования на гранулометрический и микроагрегатный состав мелиорированных солонцов

Гранулометрический состав почв и пород оказывает большое влияние на процессы почвообразования и свойства почв. От гранулометрического состава в значительной степени зависит интенсивность многих почвообразовательных процессов, связанных с превращением, перемещением и накоплением веществ (разрушения и синтеза органических и минеральных соединений, их аккумуляции, вымывания, передвижения по профилю и т.д.). В зависимости от гранулометрического состава меняются способы обработки почвы, сроки проведения полевых работ, системы удобрений в севообороте. Содержание отдельных механических фракций в гранулометрическом составе различных генетических горизонтов почвенного профиля позволяет судить об интенсивности переноса илистых почвенных частиц или их формировании *in situ* в процессе почвообразования. Например, процесс солонцеобразования характеризуется обеднением верхних горизонтов почвы илистыми фракциями и обогащением ими нижних горизонтов.

Благоприятное влияние на водно-физические свойства почв наряду с макроструктурой оказывает водопрочная пористая микроструктура – агрегаты от 0,25 до 0,001 мм. Сопоставление результатов гранулометрического и микроагрегатного анализов позволяет судить о степени дисперсности почвы и водопрочности ее микроструктуры. Сельскохозяйственное использование оказывает влияние на соотношение гранулометрических фракций в пахотном горизонте и в нижней части почвенного профиля, усиливает процесс разрушения илистых частиц и вынос их в нижележащие слои, а в ряде случаев обогащает илом пахотный горизонт.

Для солонцов характерна аккумуляция, высокая дисперсность и пептизируемость водой илистой фракции иллювиальных горизонтов, которые определяют их низкое плодородие. Большинство исследователей прошлых лет (Гедройц, 1932; Горшенин, 1955; Крупкин, 1959 и др.) накопление илистой фракции в иллювиальном горизонте солонцов связывали с ее выносом из горизонта А. При этом между выносом и накоплением теоретически должна быть определенная количественная зависимость. Однако на практике этой зависимости установлено не было.

Расчеты, выполненные И. Я. Половицким и др. (1969), В. А. Девятых (1970) и др., свидетельствуют о том, что формирование иллювиальных горизонтов солонцов происходит не столько за счет перемещения илистых частиц сверху вниз по профилю, сколько за счет диспергирования почвенных минералов *in situ*, так как дефицит илистых фракций в горизонте А корковых и мелких солонцов намного меньше избытка этой фракции в горизонте В₁ и по сравнению с почвообразующей породой. Такое положение могло возникнуть только в том случае, если большая часть илистых частиц

образовалась в самих генетических горизонтах экспоненциально (Семендяева, 2016).

Таким образом, уделяя большое внимание роли гранулометрического состава как в генезисе, так и в повышении плодородия почв, необходимо было выяснить изменение гранулометрического состава солонцов при длительном действии разового внесения гипса (Семендяева, 2009). Для этого в исследуемых почвенных образцах были выполнены анализы гранулометрического и микроагрегатного составов. Из данных табл. 8 видно, что в контроле в слое 0–20 см гранулометрический состав солонцов малонатриевых тяжелосуглинистый. С глубиной он заметно утяжеляется, и в слоях 20–40 и 40–60 см становится соответственно средне- и легкоглинистым. Во всех слоях метровой толщи преобладает крупнопылеватая фракция (0,05–0,01 мм).

Подобное распределение механических элементов гранулометрического состава отмечено ранее Р.Ф. Галеевым (1994) при закладке и проведении опытов, т.е. установлена сравнительно высокая однородность отложений генетических горизонтов по гранулометрическому составу. Однако, как показали наши исследования, после длительного действия гипса гранулометрический состав мелиорированных солонцов изменился за счет процессов коагуляции и иллювиирования. В малонатриевых солонцах в слое 0–20 см он по-прежнему остался тяжелосуглинистым. Ниже, в слое 20–40 см, утяжелялся до легкоглинистого и далее до 100 см оставался тяжелосуглинистым. В изученных слоях преобладала крупнопылеватая фракция и лишь в слое 60–80 см – мелкопесчаная. Подобная закономерность сохранялась и в солонцах многонатриевых, которые характеризовались более тяжелым гранулометрическим составом.

Таблица 8

**Изменение гранулометрического состава солонцов
при длительном действии гипса**

Глубина взятия образцов, см	Количество фракций (мм), % к сухой почве						
	песок крупный, средний (1-0,25)	песок мелкий (0,25- 0,05)	пыль крупная (0,05- 0,01)	пыль средняя (0,01- 0,005)	пыль мелкая (0,005- 0,001)	ил (< 0,001)	физичес- кая глина (сумма < 0,01)
1	2	3	4	5	6	7	8
Солонец малонатриевый							
<i>Контроль</i>							
0 – 20	5,95	19,41	39,41	12,58	14,26	8,39	35,23
20 – 40	2,34	10,60	34,07	15,14	22,71	15,14	52,99
40 – 60	0,60	7,80	36,06	14,92	23,63	16,99	55,54
60 – 80	1,61	22,02	26,83	8,26	22,29	18,99	49,54
80 – 100	1,51	21,28	30,39	4,93	17,25	24,64	46,82
<i>Гипс 12 м/га</i>							
0 – 20	2,55	25,30	37,97	13,08	15,61	5,49	34,18
20 – 40	3,41	15,22	34,93	19,60	13,21	13,63	46,44
<i>Гипс 18 м/га</i>							
0 – 20	6,38	23,08	40,13	11,83	9,71	8,87	30,41
20 – 40	5,16	21,10	32,63	9,75	19,07	12,29	41,11
40 – 60	5,22	25,20	32,50	11,25	18,33	7,50	37,08
60 – 80	3,42	35,26	30,86	7,00	13,58	9,88	30,46
80 – 100	0,78	27,10	33,16	8,29	18,65	12,02	38,96
<i>Гипс 35 т/га</i>							
0 – 20	3,62	28,94	40,47	10,96	12,64	3,37	26,97
20 – 40	14,28	25,10	29,18	11,53	12,38	11,53	35,44
<i>Гипс 50 т/га</i>							
0 – 20	2,38	26,58	43,13	13,11	10,15	4,65	27,91
20 – 40	0,98	10,94	34,04	14,89	20,85	18,30	54,04
Многонатриевый солонец							
<i>Контроль</i>							
0 – 20	6,36	10,12	43,23	12,17	15,53	12,59	40,29
20 – 40	1,13	3,74	29,60	10,99	15,64	38,90	65,53
40 – 60	0,46	7,10	25,70	12,02	22,80	31,92	66,74
60 – 80	0,53	12,19	28,96	10,75	21,92	25,65	58,32
80 – 100	0,98	17,70	32,20	9,08	23,94	16,10	49,12
<i>Гипс 11 т/га</i>							
0 – 20	2,71	11,60	39,71	15,46	17,14	13,38	45,98
20 – 40	0,89	17,68	19,31	13,01	18,89	30,22	62,12
<i>Гипс 45 м/га</i>							
0 – 20	5,38	20,40	45,29	10,90	13,84	4,19	28,93
20 – 40	1,78	13,88	34,66	11,27	21,71	16,70	49,68

Окончание табл. 8

1	2	3	4	5	6	7	8
40 – 60	0,43	2,77	29,78	13,24	33,51	20,27	67,02
60 – 80	0,57	10,67	27,66	11,15	26,01	23,94	61,10
80 – 100	1,03	16,88	30,90	7,83	23,07	20,19	51,09
<i>Гипс 56 т/га</i>							
0 – 20	9,42	28,00	33,82	11,42	10,15	7,19	28,76
20 – 40	2,58	13,47	34,84	15,95	16,79	16,37	49,11

В контроле в слое 0 – 20 см гранулометрический состав легкоглинистый, а в слоях 20 – 40 и 40 – 60 см – тяжелоглинистый, который затем переходит в средне- и легкоглинистый. В данных слоях преобладает илистая фракция, в остальных – крупнопылеватая. Длительное действие гипса способствует облегчению гранулометрического состава до среднесуглинистого в слое 0 – 20 см с постепенным утяжелением его с глубиной до среднеглинистого. Во всех слоях преобладает крупнопылеватая фракция.

Для более детального изучения гранулометрического состава солонцов нами дополнительно проанализировано распределение илистой фракции, как наиболее активной, и содержание физической глины (суммы частиц менее 0,01 мм) по профилю до 100 см. Исследовались варианты: контроль и полная доза гипса по Гедройцу (на солонце малонатриевом 18 т/га, на солонце многонатриевом – 45 т/га) (табл. 9).

Таблица 9

Изменение содержания илистой фракции и физической глины в гранулометрическом составе солонцов при длительной химической мелиорации по сравнению с контролем, % от сухой почвы

Глубина, см	Ил (< 0,001 мм)			Физическая глина (сумма < 0,01 мм)		
	Гипс	Контроль	Разница (±)	Гипс	Контроль	Разница (±)
1	2	3	4	5	6	7
<i>Солонец малонатриевый</i>						
0–20	8,87	8,39	+0,84	30,41	33,97	-3,56
20–40	12,29	15,14	-2,85	41,11	52,99	-11,88
40–60	7,50	16,99	-9,49	37,08	55,54	-18,46

1	2	3	4	5	6	7
60–80	9,88	18,99	-9,11	30,46	49,54	-19,08
80–100	12,02	24,64	-12,62	38,96	46,82	-7,86
<i>Солонец многонатриевый</i>						
0–20	4,19	12,59	-8,40	27,68	40,29	-12,61
20–40	16,70	38,90	-22,20	49,68	65,53	-15,85
40–60	20,27	31,92	-11,65	67,02	66,74	+0,28
60–80	23,94	25,65	-1,71	61,10	58,32	+2,78
80–100	20,19	16,10	+4,09	51,09	49,12	+1,97

Как видно из данных табл. 9, в профиле мелиорированных солонцов происходят заметные изменения в гранулометрическом составе как малонатриевых, так и многонатриевых солонцов. Они затрагивают в основном количество илистой фракции и физической глины, содержание которых заметно снижается под воздействием процессов мелиорации.

В многонатриевых солонцах наиболее существенное уменьшение содержания илистой фракции произошло в слое 0–60 см. В слое 60–80 см оно невелико (1,7%), а в слое 80–100 см содержание ила в мелиорированном варианте больше, чем на той же глубине в контроле. Изменения в содержании физической глины в сторону снижения произошли в слое 0–40 см – на 13–16%. В нижних слоях ее содержание в мелиорированном солонце несколько возросло по сравнению с контролем за счет перераспределения частиц по профилю при мелиорации.

В малонатриевых солонцах уменьшение содержания илистой фракции в мелиорированных вариантах выражено слабее (3–12%), но оно охватывает всю 100-сантиметровую толщу, причем с глубиной это снижение возрастает, что свидетельствует о большой глубине охвата мелиорированной толщи. Снижение содержания физической глины тоже произошло по всей метровой толще, причем оно наиболее выражено в слое 20–80 см.

Таким образом, под действием гипса в профиле солонцов произошло перераспределение содержания механических элементов гранулометрического состава – уменьшилось содержание илистой фракции и физической глины. Причем в малонатриевых солонцах эти изменения охватили всю 100-сантиметровую толщу, а в многонатриевых – слой 0–60 см, что свидетельствует о разной интенсивности протекания мелиоративных процессов. В малонатриевых солонцах изменения более глубокие, тогда как в многонатриевых, даже при длительном действии гипса, мелиоративные процессы интенсивно протекали лишь в слоях 0–60 см, что связано как с более тяжелым гранулометрическим составом, так и с большим содержанием обменного натрия в ППК.

Согласно Н. А. Качинскому (1958), для агрономической оценки почв необходимо знать не только содержание механических элементов почвы (гранулометрический состав), но и наличие в ней микроагрегатов, образующихся из первичных механических элементов, способных противостоять размывающему действию воды. Микроагрегатный состав позволяет дать оценку устойчивости почвенной структуры и, в первую очередь, ее водопрочности. Н. А. Качинский (1958) считал, что микроагрегатный состав следует определять в пахотном и подпахотном слоях (0–20 и 20–40 см), поэтому мы вели наблюдения на этих глубинах.

Результаты микроагрегатного анализа приведены в табл. 10, из которой видно, что в контроле в слое 0–20 см количество илистой фракции в солонце малонатриевом составляет 8,49%, а в многонатриевом – 12,49%. В мелиорированных вариантах в данном слое содержание илистой фракции заметно снижается в связи с большей агрегированностью. С глубиной (слой 20–40 см) содержание илистой фракции в основном возрастает, но ее значительно меньше,

чем в контроле, что свидетельствует о мелиоративном действии гипса.

По результатам гранулометрического и микроагрегатного состава Н. А. Качинским (1958) предложено рассчитывать фактор дисперсности – процентное отношение содержания ила микроагрегатного состава к илу, полученному при гранулометрическом анализе. Данный показатель характеризует степень разрушения микроагрегатов в воде. Чем выше фактор дисперсности, тем менее прочна микроагрегатность почвы.

Данные табл. 10 свидетельствуют, что в контрольных вариантах солонцов мало- и многонариевых в слое 0–20 см фактор дисперсности высокий и равен 100 %, а в слое 20–40 см – 94,5 и 91,3 %.

Таблица 10

Изменение микроагрегатного состава солонцов при длительном действии гипса

Глубина, см	Количество частиц (%) диаметром, мм							Фактор дисперсности, %
	1–0,25	0,25–0,05	0,05–0,01	0,01–0,005	0,005–0,001	< 0,001	сумма < 0,01	
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Солонец малонариевый								
<i>Контроль</i>								
0–20	13,4	23,3	34,0	12,6	8,4	8,4	29,4	100
20–40	6,9	11,5	34,1	13,9	19,4	14,3	47,5	94,5
<i>Гипс 12 т/га</i>								
0–20	14,0	24,8	37,6	10,6	8,4	4,6	23,6	84,5
20–40	18,9	21,9	26,4	9,0	14,5	9,4	32,8	68,7
<i>Гипс 18 т/га</i>								
0–20	17,4	20,5	35,1	11,4	10,1	5,5	27,0	62,0
20–40	19,8	14,9	25,9	11,9	24,6	3,0	39,4	24,2
<i>Гипс 35 т/га</i>								
0–20	21,5	24,2	32,5	9,7	10,1	2,1	21,9	62,6
20–40	23,1	20,5	31,6	10,7	9,0	5,1	24,8	44,4
<i>Гипс 50 т/га</i>								
0–20	13,0	28,7	36,3	9,7	9,3	3,1	22,1	66,0
20–40	4,9	14,3	40,3	16,6	17,9	6,1	40,6	33,4

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Солонец многонатриевый								
<i>Контроль</i>								
0–20	0,9	24,9	37,6	12,6	14,7	12,4	36,7	100,0
20–40	1,3	1,4	26,6	15,2	19,9	35,5	70,6	91,3
<i>Гипс 11 т/га</i>								
0–20	14,8	18,3	33,9	12,5	9,2	11,3	33,0	84,4
20–40	0,1	4,2	34,0	16,0	29,4	16,4	61,7	54,2
<i>Гипс 45 т/га</i>								
0–20	17,0	26,9	31,4	10,5	11,3	2,9	24,7	70,2
20–40	8,1	17,2	32,6	12,5	24,2	5,4	42,2	32,5
<i>Гипс 56 т/га</i>								
0–20	19,0	19,3	35,5	8,5	12,7	5,1	26,2	70,5
20–40	10,3	17,1	29,4	10,9	30,2	2,1	43,2	12,8

Длительное действие гипса увеличило микроагрегатность почв, способствовало созданию агрономически ценной структуры, содержание илистой фракции снизилось, а следовательно, уменьшился фактор дисперсности, причем, чем выше доза гипса, тем фактор дисперсности ниже. Это четко проявилось в солонце многонатриевом, где илистой фракции значительно больше, чем в малонатриевом. Фактор дисперсности в нем в слое 20–40 см в вариантах с дозами гипса 45 и 56 т/га равен 32,5 и 12,8% соответственно, тогда как в малонатриевом – 24,2–68,7%.

Кроме того, необходимо обратить внимание на следующую закономерность: фактор дисперсности во всех вариантах опыта выше в слое 0–20 см, что свидетельствует о меньшей агрегированности этого слоя по сравнению со слоем 20–40 см. Вероятнее всего, это связано с перераспределением мелиорантов как во время агротехнических обработок, так и в залежный период.

Таким образом, под действием разового внесения гипса в профиле солонцов произошло перераспределение механических элементов гранулометрического состава – в солонцах снизилось содержание илистой фракции

и физической глины. В малонатриевых солонцах эти изменения охватили всю 100-сантиметровую в толщину, а в многонатриевых – слой 0–60 см. В мелиорированных солонцах снизился фактор дисперсности, что свидетельствует об увеличении их агрегатности, т.е. коагуляции илистой фракции.

Эффект длительного действия гипса отразился на всем почвенном профиле солонцов. Корковые мелиорированные солонцы трансформировались в типы луговых и черноземно-луговых почв различной степени солончаковатости и солонцеватости. Чем больше доза гипса, тем выше мелиоративный эффект.

4. 3. Физические свойства солонцов после длительного действия гипса

Физические свойства любой почвы (плотность, плотность твердой фазы почвы, общая порозность) определяют ее сложение. Под сложением понимается степень уплотненности или разрыхленности почвы, которую принято выражать величиной плотности почвы (Вадюнина, Корчагина, 1973). От величины плотности зависит жизнедеятельность корней растений и почвенных микроорганизмов, нуждающихся в достаточном количестве воздуха и продуктивной влаги, что создает благоприятный питательный режим почв.

Как показали результаты исследований длительно мелиорированных мало- и многонатриевых солонцов, плотность их твердой фазы примерно одинакова (табл. 11, 12). В слое 0–20 см она составила 2,43–2,45 г/см³. С глубиной плотность возрастала и в слое 80–100 см в профиле обоих солонцов достигла 2,70 г/см³. Данная величина является почвенной константой и слабо меняется под воздействием различных агротехнических и мелиоративных приемов, в том числе химической мелиорации.

Изменение плотности сложения мелиорированных солонцов после длительного действия однократового внесения гипса ($n = 5$), г/см³

Глубина взятия образца, см	Малонатриевый солонец					Многонатриевый солонец				
	Доза гипса, т/га									
	0	12	18	35	0	11	45	56		
0–20	1,28±0,11	1,04±0,13	1,01±0,11	1,00±0,21	1,30±0,12	1,22±0,16	1,01±0,18	1,01±0,16		
20–40	1,31±0,15	1,22±0,18	1,18±0,13	1,16±0,14	1,36±0,18	1,34±0,18	1,18±0,15	1,15±0,15		
40–60	1,39±0,14	1,26±0,22	1,22±0,16	1,22±0,16	1,44±0,22	1,36±0,20	1,20±0,20	1,18±0,18		
60–80	1,37±0,20	1,30±0,18	1,30±0,14	1,30±0,20	1,46±0,21	1,44±0,19	1,22±0,19	1,20±0,20		
80–100	1,40±0,22	1,32±0,19	1,30±0,16	1,30±0,18	1,63±0,18	1,48±0,22	1,30±0,17	1,22±0,22		

Таблица 12

Плотность твердой фазы почвы и общая пористость в солонцах после длительного действия гипса

Глубина взятия об- разца, см	Малонагрийевый солонец					Многонатрийевый солонец				
	Плотность твердой фазы почвы, г/см ³	Общая порозность, %				Плотность твердой фазы почвы, г/см ³	Общая порозность, %			
		0	12 т/га	18 т/га	35 т/га		0	11 т/га	45 т/га	56 т/га
0-20	2,43	47,3	48,5	58,4	58,8	2,45	46,9	50,2	58,8	58,8
20-40	2,64	50,4	53,8	55,3	56,1	2,67	49,4	50,2	56,3	56,9
40-60	2,68	48,1	53,0	54,5	54,5	2,68	46,3	49,3	55,2	56,0
60-80	2,69	49,1	51,7	51,7	51,7	2,7	45,9	46,7	54,8	55,6
80-100	2,7	48,2	51,2	51,7	51,7	2,7	39,6	45,2	51,9	54,8

Плотность почвы – величина динамичная и подвержена изменениям как под влиянием агротехнических приемов, так и в течение вегетационного периода. Следует отметить, что в изучаемых опытах начиная с 1994 г. почва находилась в залежном состоянии. Поэтому можно считать, что плотность ее – вполне устоявшаяся величина и находится вне зависимости от агротехнических приемов и вегетационных периодов. В контрольных вариантах плотность слоя 0–20 см была достаточно высокой – 1,28–1,30 г/см³. При такой плотности сельскохозяйственные растения плохо развиваются, воздухо- и водообмен их низкий. Отсутствовала даже естественная растительность. С поверхности обнаруживалась мощная почвенная корка, которая существенно увеличивалась на многонатриевых солонцах. С глубиной плотность возрастала, достигая максимума в слое 80–100 см как в мало-, так и в многонатриевых солонцах – 1,40–1,63 г/см³ соответственно.

Общая пористость в контроле также оставалась низкой по всему профилю – значительно ниже от оптимальной (более 50%). Следует отметить, что в контрольных вариантах малонатриевых солонцов плотность сложения ниже, чем в многонатриевых. Это связано с более тяжелым гранулометрическим составом последних.

Особенно низкая пористость установлена в слое 80–100 см многонатриевого солонца, где она составила всего лишь 39,6%, при этом гранулометрический состав слоя тяжелоглинистый и четко выражен процесс оглеения в виде ржаво-охристых и сизых пятен.

Иная ситуация складывалась в мелиорированных вариантах мало- и многонатриевых солонцов (см. табл. 11, 12). Длительное действие разового внесения гипса, не меняя плотности твердой фазы почвы, способствовало значительному снижению ее плотности по всему метровому профи-

лю. С увеличением дозы мелиоранта плотность снижалась, что особенно проявлялось в многонатриевых солонцах. Одноразовое внесение четвертной дозы гипса (11 т/га) практически не повлияло на изменение плотности и она по-прежнему находилась в интервале 1,30–1,28 г/см³. При этом на поверхности сохранялась мощная почвенная корка и практически отсутствовала растительность.



Рис. 15. Верхний слой мелиорированного многонатриевого солонца

Внесение полной и повышенной доз гипса (45 и 56 т/га) снизило плотность почвы по всему метровому профилю, а в 20-сантиметровом слое она находилась в пределах оптимальной для возделывания сельскохозяйственных культур (1,01 г/см³) (рис. 15). Здесь практически отсутствовала почвенная корка. С глубиной происходило постепенное снижение общей пористости, но ее величина оставалась больше, чем в контрольных вариантах. Одновременно с уменьшением плотности в мелиорированных вариантах многонатриевых солонцов увеличилась общая пористость, которая составила в слое 0–20 см 58,8% от массы почвы,

что соответствует оптимальным условиям произрастания сельскохозяйственных растений.

Подобная закономерность изменения физических свойств сохранялась и в малонатриевых солонцах. Эффект мелиорации охватывал весь 100-сантиметровый слой почвы, что свидетельствует о высокой эффективности одно-разового внесения гипса в солонцы Барабинской равнины.

Улучшение физических свойств мелиорированных солонцов способствовало активизации микробиологической деятельности в почве, о чем свидетельствуют исследования Л. Н. Коробовой и А. Д. Карповой (2010), полученные в этих же опытах. Ими, в частности, установлено, что химическая мелиорация в длительном последствии повлияла на микробиологическую активность и обилие микроорганизмов. В мелиорированных вариантах по сравнению с контролем в 2–3 раза увеличилась численность аммонификаторов и снизилось число денитрификаторов, приводящих к потере из почвы газообразного азота. В многонатриевых солонцах снижение произошло в 35 раз, а в малонатриевых – в 1,7 раза. Биологическая активность возрастала с увеличением доз мелиорантов.

Таким образом, действие разового внесения гипса в мало- и многонатриевые солонцы Барабы продолжало сохраняться более 30 лет. При внесении полных доз гипса, рассчитанных по методу Гедройца, физические свойства их находились в интервале, оптимальном для возделывания сельскохозяйственных культур. Такая закономерность характерна как для мало-, так и для многонатриевых солонцов.

Плотность твердой фазы немелиорированных и мелиорированных солонцов практически не менялась и оставалась в пределах 2,43–2,72 г/см³ в слое 0–100 см. Плотность сложения – величина динамичная, и чем выше была внесенная доза гипса, тем ниже зафиксированы ее показатели. При

внесении полной расчетной дозы гипса (18 и 45 т/га) плотность солонцов в слое 0–20 см находилась в оптимальных пределах для возделывания культурных растений. На их поверхности отсутствовала почвенная корка.

В контроле без внесения гипса общая пористость низкая по всему профилю, тогда как в мелиорированных вариантах она составила более 50%, что соответствует требованиям большинства сельскохозяйственных культур.

4.4. Изменения качественного состава гумуса в длительно мелиорированных солонцах

Улучшение основных параметров гумусового состояния солонцов: содержания гумуса, гуминовых и фульвокислот, их соотношения и фракционного состава – служит надежным показателем повышения плодородия мелиорированных почв (Шлевкова, 1998).

Вопросу изучения качественного состава гумуса солонцовых почв уделялось особое внимание в 1960–1990 гг. (Градобоев и др., 1968; Панов и др., 1968; Балашова, 1972; Пудовкина, 1976; Убогов, 1984, и др.). Н. Д. Градобоевым и др. (1968) установлено, что для солонцов лесостепи Омской области характерна прочная взаимосвязь гумуса с минеральной частью почвы и его концентрация в менее дисперсных фракциях мелкозема. В составе гумуса солонцов лесостепной зоны преобладают гуминовые кислоты, причем максимум их находится в иллювиальных горизонтах. Для солонцов степной зоны более характерен фульватный тип гумуса. К такому же выводу пришли исследователи гумуса солонцов Алтайского края (Балашова, 1972; Пудовкина, 1976). Н. И. Базилевич (1965) при изучении состава гумуса луговых среднестолбчатых солонцов лесостепной зоны Барабинской низменности установила, что в горизонте А (0–15 см) тип гумуса гуматно-фульватный ($C_{г.к.} : C_{ф.к.} =$

= 0,6–0,7), в иллювиальном горизонте В₁ (15–30 см) – фульватно-гуматный ($C_{г.к.} : C_{ф.к.} = 1,5$). С глубиной фульвокислоты начинают снова преобладать над гуминовыми кислотами.

Все перечисленные выше работы в основном были выполнены на целинных солонцах, и лишь Е.М. Шлевкова (1988) изучала гумусовое состояние почв солонцового комплекса Волгоградской области на 10-м году последствий глубоких мелиоративных обработок (на 40–42 см) с внесением фосфогипса под люцерну синегибридную в условиях орошения дождеванием, а также варианты без внесения мелиорантов. Установлено, что при орошении гумус мелиорированных солонцов отличался высокой подвижностью, гуматно-фульватным типом, высоким содержанием подвижной, наиболее агрессивной фракции фульвокислот.

Целью нашего исследования явилось изучение гумусового состояния солонцов после 27-летнего действия разового внесения гипса. Определяли общее содержание гумуса и изменение его группового и фракционного состава под действием мелиоранта. Полученные результаты по качественному составу гумуса мелиорированных вариантов сравнивали с контрольным, а также с данными лугово-черноземной почвы (зональной) и с целинным солонцом корковым.

Как показали результаты исследований, при 27-летнем действии гипса наблюдалась тенденция к некоторому увеличению содержания общего гумуса в мелиорированных солонцах в слое 0–40 см (табл. 13). Если в контроле в слое 0–20 см оно составило 3,6%, в слое 20–40 см – 1,4, то в варианте 56 т/га гипса соответственно 5,0 и 2,6%. В лугово-черноземной солонцеватой почве количество гумуса в этих слоях составило 6,4–2,6%, а в целинном солонце корковом содержание гумуса с глубиной резко падало – в горизонте А (0–5 см) 4%, в иллювиальном горизонте (10–20 см) – 1,2,

в горизонте $B_2 - 0,7\%$. Общие запасы гумуса в контроле и в мелиорированных солонцах практически не менялись и находились в слое 0–20 см в пределах 93,6–101,0 т/га, в целинной лугово-черноземной почве – 140,8 т/га. В солонце корковом в целине запасы гумуса были небольшие: в слое 0–5 см – 20,2, в слое 10–20 см – 17,5, а в слое 20–40 см – 20,2 т/га.

Таблица 13

**Общее содержание гумуса в мелиорируемых солонцах
после 27-летнего действия однократного внесения гипса**

Вариант	Глубина взятия образца, см	Плотность почвы, г/см	Содержание гумуса, % к сухой почве	Запасы гумуса, т/га
<i>Солонец корковый многонариевый</i>				
Контроль	0–20	1,30 ± 0,12	3,6	93,6
	20–40	1,36 ± 0,18	1,4	36,2
	0–40			129,8
Гипс 11 т/га	0–20	1,22 ± 0,16	4,4	100,0
	20–40	1,34 ± 0,18	2,8	75,0
	0–40			175,0
Гипс 45 т/га	0–20	1,01 ± 0,18	4,7	94,9
	20–40	1,18 ± 0,15	1,7	40,1
	0–40			135,0
Гипс 56 т/га	0–20	1,01 ± 0,16	5,0	101,0
	20–40	1,15 ± 0,15	2,6	59,8
	0–40			160,8
Целина	0–5	1,01 ± 0,11	4,0	20,2
	10–20	1,46 ± 0,14	1,2	17,5
	20–40	1,44 ± 0,18	0,7	20,2
	0–40			57,9
Целина	0–20	1,40 ± 0,14	4,2	117,6
	20–40	1,42 ± 0,16	0,8	22,7
	0–40			140,3
<i>Лугово-черноземная солонцеватая</i>				
Целина	0–20	1,10 ± 0,12	6,4	140,8
	20–40	1,28 ± 0,14	2,6	66,6
	0–40			207,4

В контроле содержание общего гумуса было несколько меньше, чем в целинных солонцах, что, вероятно, связано с активизацией микробиологических процессов и, как следствие, с усилением процесса минерализации гумусовых веществ.

Таким образом, по истечении 20-летнего залежного периода содержание гумуса в горизонте А мелиорированных корковых солонцов стало выше, чем в контроле и в целинном варианте.

Если по содержанию гумуса в мелиорируемых солонцах и в контрольном варианте отличия были незначительными, то в их фракционном составе при длительном действии гипса произошли существенные изменения. В целинном солонце в горизонте А (0–5 см) гуминовые и фульвокислоты находились в примерно равных количествах и соотношение $C_{г.к.} : C_{ф.к.}$ равнялось 1 (табл. 14). В горизонтах В₁ (10–20 см) и В₂ (20–40 см) тип гумуса был гуматно-фульватным, т.е. фульвокислоты преобладали над гуминовыми ($C_{г.к.} : C_{ф.к.} = 0,4–0,3$). В горизонте А в гуминовых кислотах преобладала фракция 2, связанная с кальцием (24%), тогда как в горизонтах В₁ и В₂ содержание ее резко снижалось (8,8 и 4,7%) и отсутствовала фракция 1 (свободные ГК и связанные с подвижными полуторными оксидами). В фульвокислотах преобладала фракция 2, связанная с фракцией ГК-2. На долю нерастворимого остатка приходилось 30–40%, а с глубиной его величина возрастала.

Как отмечала Н. И. Базилевич (1965), продукты гумификации растительных остатков луговых солонцов, поступая в верхний перегнойно-аккумулятивный горизонт А (а также образующиеся здесь при разложении корней), претерпевают ряд превращений. Наименее подвижные гумусовые кислоты (ГК-1 и связанные с ними фульвокислоты) взаимодействуют с кальцием, оксидами железа и алюминия

и осаждаются. Однако в условиях насыщенности продуктов гумификации натрием при заметном участии магния конденсирования продуктов гумификации не происходит и их продукты не накапливаются.

Таблица 14

Качественный состав гумуса солонцов корковых после 27-летнего действия одноразового внесения гипса, 2013 г.

Вариант	Глубина, см	Содержание общего углерода, % к почве	Гуминовые кислоты				Фульвокислоты					Серно-кислый гидролизат	Негидролизуемый остаток	C _{г.к.} /C _{ф.к.}			
			1	2	3	сумма	1a	1	2	3	сумма						
			% от общего углерода почвы														
			Солонец многонариевый														
Контроль	0–20	2,09	0,5	10,1	6,2	16,8	4,8	0,0	21,0	32,3	58,1	74,9	25,1	0,3			
	20–40	0,77	1,3	13,4	3,6	18,3	6,5	0,0	39,0	19,5	65,0	83,3	16,7	0,3			
Гипс 11 т/га	0–20	2,41	0,4	12,8	7,9	21,1	4,2	0,4	17,4	35,4	57,4	78,5	21,5	0,4			
	20–40	1,60	0,6	12,5	11,3	24,4	5,0	0,0	41,3	18,1	64,4	88,8	11,2	0,4			
Гипс 45 т/га	0–20	2,74	0,7	25,5	15,0	41,2	4,0	0,4	22,3	9,9	36,6	77,8	22,2	1,1			
	20–40	0,97	1,0	18,6	9,3	28,9	6,2	0,0	26,8	21,6	54,6	83,5	16,5	0,5			
Гипс 56 т/га	0–20	2,85	0,4	24,6	12,3	37,3	3,9	0,4	17,9	9,8	32,0	69,3	30,7	1,2			
	20–40	1,53	0,6	28,8	7,8	37,2	4,6	0,0	28,8	7,2	40,6	77,8	22,2	0,9			
Целина	0–5	2,33	1,7	24,0	8,2	33,9	3,0	0,4	26,2	3,0	32,6	66,5	33,5	1,0			
	10–20	0,73	0,0	8,8	8,2	17,0	6,8	1,4	26,0	8,2	42,4	59,4	40,6	0,4			
	20–40	0,43	0,0	4,6	4,6	9,2	4,6	2,3	14,0	9,3	30,2	39,4	60,6	0,3			
Лугово-черноземная солонцеватая																	
Целина	0–20	3,73	3,7	25,5	12,8	42,0	3,2	6,4	30,8	3,8	44,2	86,2	13,8	1,0			
	20–40	1,45	2,1	27,6	10,3	40,0	4,8	4,1	29,7	10,4	49,0	89,0	11,0	0,8			

По данным Н. Д. Градобоева и др. (1968), качественный состав гумуса солонцов лесостепи Омской области фульватно-гуматный, т. е. $C_{г.к.} : C_{ф.к.} > 1$ и имеет тенденцию к увеличению в иллювиальном горизонте. Гумусовые кислоты преимущественно связаны с кальцием, и 2/3 гумусовых веществ не переходили в щелочной раствор, а оставались в нерастворимом остатке (до 60% и более). Н. И. Базилевич (1965), изучая качественный состав солонцов средних Барабы, установила фульватную природу гумуса в верхней и нижней частях профиля (соотношение $C_{г.к.} : C_{ф.к.} = 0,6–0,7$) и гу-

матную – в средней ($C_{г.к.} : C_{ф.к.} = 1,5$). Из полученных нами результатов видно, что в Барабинской низменности в элювиальном горизонте преобладают гуминовые кислоты, а книзу их содержание снижается. В гумусе зональной лугово-черноземной солонцеватой почвы в целине соотношение $C_{г.к.} : C_{ф.к.}$ близко к единице (см. табл. 14). В гуминовых кислотах преобладает фракция ГК-2, связанная преимущественно с кальцием. На ее долю приходилось 25,5–27,6%. В фульвокислотах также преобладала фракция 2 (30,8–29,7%). Негидролиземый остаток небольшой (11,0–13,8%), что согласуется с данными других исследователей (Кленов, 1981).

При длительном последствии одноразового внесения гипса в качественном составе гумуса солонцов корковых произошли существенные изменения, что видно из данных табл. 14. Во-первых, во всех вариантах опыта в почвенных образцах в гуминовых кислотах отмечалось небольшое содержание фракций ГК-1 (гуминовые кислоты, свободные и связанные с подвижными формами оксидов), причем в слое 0–20 см их меньше (0,35–0,72%), чем в подпахотном слое 20–40 см (до 1,3% в контроле), в то время как в целинном солонце данная фракция отсутствовала. Во-вторых, в гуминовых кислотах мелиорированных солонцов преобладала фракция ГК-2, связанная с кальцием, при этом четко прослеживалось увеличение содержания данной фракции с возрастанием дозы мелиорантов. В вариантах с высокими дозами гипса (45–56 т/га) этот показатель приближался к показателям зональной лугово-черноземной почвы.

Как отмечала Е. М. Шлевкова (1988, с. 132) «в гумусе, как в никакой другой части почвы сфокусированно отражаются последствия мелиоративного процесса». При изучении 10-летнего исследования мелиорации солонцов в Волгоградской области установлено, что под влиянием мелиоративных обработок и применения фосфогипса

в составе гумуса почв солонцового комплекса произошли глубокие изменения. При этом гумусовые показатели мелиорированных солонцов практически не отличались от зональных почв.

В составе фульвокислот мелиорированных солонцов, по нашим данным, практически отсутствовала фракция ФК-1, связанная в почве с фракцией ГК-1 (кислоты свободные и связанные с подвижными полуторными оксидами). В целинном солонце и лугово-черноземной почве эта фракция присутствовала в небольших количествах, причем в лугово-черноземной почве больше (6,4–4,1%), чем в солонце, что, очевидно, связано с гидроморфными процессами, происходящими в профиле данных почв.

В мелиорированных солонцах и в целинных почвах обнаружена «агрессивная» фракция ФК-1а, в которую входят ФК свободные и связанные с подвижными полуторными оксидами. В слое 0–20 см их содержалось меньше, чем в слое 20–40 см. Нами ранее было установлено, что в солонцах, особенно луговых, интенсивно протекают восстановительные процессы, в результате которых в профиле образуются и накапливаются подвижные полуторные оксиды, способные активизировать солонцеобразовательный процесс (Семендяева, 1984). Достоверных различий в содержании данной фракции в изучаемых вариантах не выявлено.

Увеличение в мелиоративных солонцах в составе гумуса гуминовых и фульвокислот фракции 3 свидетельствует о закреплении гумусовыми кислотами высокодисперсных минералов и образовании прочных органоминеральных комплексов (см. табл. 14). Подобные результаты получены Е. М. Шлевковой (1988), а также Н. П. Пановым и др. (1968) при изучении качественного состава гумуса почв солонцового комплекса и его изменении под влиянием длительного освоения.

В вариантах с высокими дозами гипса 45 и 56 т/га в слое 0–20 см соотношение $C_{г.к.} : C_{ф.к.}$, так же как и в лугово-черноземной почве, несколько больше единицы (1,1–1,2), что свидетельствует о преобладании гуминовых кислот. В слое 20–40 см оно становится меньше (0,5–0,9). Следует отметить, что в целинном солонце это соотношение равно единице лишь в слое 0–5 см (горизонт А), а далее с глубиной снова увеличивается содержание фульвокислот.

Результаты наших исследований не совпадают с результатами омских исследователей, которые установили гуматный тип в целинных лугово-степных корковых солонцах, и соотношение $C_{г.к.} : C_{ф.к.}$ колебалось от 4,50 в горизонте А до 3,65–3,18 в горизонте В₂ (Убогов, 1984), однако согласуются с данными Е. М. Шлевковой (1988).

При вовлечении солонцов в сельскохозяйственный оборот в фракционном составе гумуса происходит существенная перестройка, которая сохраняется и в долговременной залежи. По этому показателю состав гумуса мелиорированных солонцов приближается к составу зональной лугово-черноземной почвы. С глубиной величина негидролизующего остатка уменьшается. В целинном солонце доля негидролизующего остатка высока (33,5–60,6%) и с глубиной значительно возрастает, что указывает на вымывание в щелочной среде более мобильных органоминеральных соединений из верхних слоев профиля в нижние. При длительном действии мелиоранта в мелиорированном солонце такого передвижения не происходило.

Таким образом, при вовлечении целинных солонцов в сельскохозяйственный оборот содержание гумуса в слое 0–20 см снизилось за счет усиления микробиологических процессов и процессов минерализации гумусовых веществ. В длительно залежном состоянии (20 лет) содержание гумуса в мелиорированных солонцах возросло до 5% при 3,6%

в контроле и в целинном солонце. В слоях 0–20 и 20–40 см тип гумуса фульватный, а соотношение $C_{г.к.} : C_{ф.к.} \sim 0,3$. В мелиорированных солонцах групповой состав гумуса в слое 0–20 см фульватно-гуматный, т.е. преобладали гуминовые кислоты ($C_{г.к.} : C_{ф.к.} > 1$), тип гумуса приближался к типу зональной лугово-черноземной почвы. В слое 20–40 см он менялся на гуматно-фульватный, и соотношение $C_{г.к.} : C_{ф.к.}$ было меньше 1.

В контроле в составе гуминовых кислот фракция ГК-2 (ГК, связанные с кальцием) составляла 10% от общего содержания углерода. В длительно мелиорированных солонцах процентное содержание данной фракции выросло практически в 2 раза и более (18–28% от содержания общего углерода), причем с увеличением дозы гипса возрастало и ее содержание. В варианте с четвертной дозой гипса (11 т/га) в составе гумуса преобладали фульвокислоты, а в вариантах с высокими дозами гипса их содержание существенно снижалось, что свидетельствовало об уменьшении подвижности гумусовых веществ при химической мелиорации и связывании их с кальцием мелиоранта. Наибольшая величина негидролизуемого остатка отмечена в солонце корковом на целине (33,5–60,6% от общего углерода в почве). При сельскохозяйственном использовании ее количество существенно снижалось как в контроле, так и в мелиорированных вариантах. В лугово-черноземной солонцеватой почве негидролизуемый остаток составил 13–14%.

5. ДИНАМИКА СОЛЕВОГО СОСТАВА ГРУНТОВЫХ ВОД И МЕЛИОРИРОВАННЫХ СОЛОНЦОВ БАРАБИНСКОЙ РАВНИНЫ

К.П. Горшенин (1955) в вопросе засоления почв особое внимание уделял влиянию минерализованных грунтовых вод. Им установлено, что минерализация грунтовых вод на юге Западной Сибири колеблется в широких пределах – имеются воды как сильноминерализованные, так и пресные. Засоленность почв усиливается при близком залегании третичных глин. По мнению К.П. Горшенина, большая пестрота засоления грунтовых вод обусловлена разнообразием геологического строения данной территории в горизонтальном и вертикальном направлениях. Пресные воды, как правило, приурочены к линзам песков и супесей, а засоленные – к основному фону глинистых слоев.

В настоящее время, как отмечают ряд исследователей (Богданов, 1977; Зайцева и др., 2013, и др.), современные грунтовые воды на большей части Западно-Сибирской равнины залегают неглубоко – в нескольких метрах от поверхности и подвержены значительным колебаниям. Колебаниями уровня грунтовых вод объясняется неустойчивость современных почвообразовательных процессов засоления и рассоления почвенных профилей. Многолетними наблюдениями за уровнем залегания грунтовых вод, по данным метеостанций и отдельных исследователей (Богданов, 1977; Курачев, Рябова, 1981; Воропаева, 1990; Березин, 2005, и др.), установлена большая амплитуда их колебаний ($\pm 1,5\text{--}3$ м и более). Подобные изменения меняют не только режим гидроморфизма почв, но даже их классификационную принадлежность, сильно усложняют выделение черноземов и их гидроморфных аналогов (лугово-черноземных, черноземно-луговых), а также засоленных почв, особенно солонцов.

5.1. Динамика уровня залегания и солевого состава грунтовых вод

В Барабе, как отмечалось нами ранее, грунтовые воды в большинстве своем минерализованы, уровень их залегания подвержен сезонной и многолетней динамике. Они принимают активное участие в почвообразовании. Основной причиной сезонной динамики грунтовых вод являются запасы воды в атмосферных осадках и транспирация воды растениями (Орловский, 1955; Курачев, Рябова, 1977, и др.). Влияние минерализованных грунтовых вод на почвенный профиль сказывается только в том случае, когда их уровень превышает критическую глубину залегания (Полынов, 1956).

По мнению В. А. Ковды (1947, 1954), повышение урожайности сельскохозяйственных культур после проведения химической мелиорации должно вызывать дополнительный расход грунтовых вод на транспирацию, что влечет за собой усиление засоления и осолонцевания. Улучшение водопроницаемости и увеличение количества растворимых солей с возрастанием доз гипса может привести к повышению минерализации грунтовых вод и повышению критической глубины их залегания. Все вышесказанные моменты следует учитывать при изучении динамики уровня залегания и солевого состава грунтовых вод.

При обобщении метеоданных за 30-летний период наблюдений в Барабе по Чулымскому району Л. П. Галеевой (2015) установлено, что вегетационные периоды этих лет были в основном теплыми и даже жаркими и большей частью достаточно увлажненными, что способствовало лучшей растворимости внесенного гипса, протеканию обменных реакций между катионами ППК солонцов и кальцием гипса. Нами установлено, что в течение вегетационных периодов по годам, с учетом климатических особенностей,

для солонцов гидроморфных характерна динамичность солевого режима. Однако в мелиорированных солонцах сохранялась общая тенденция в сторону их рассоления по сравнению с контрольными вариантами. Данный факт четко прослеживался в строении морфологических профилей солонцов, как было отмечено нами ранее. В длительно залежном состоянии в контрольных вариантах и в вариантах с небольшой дозой гипса постепенно восстановилась типичная для иллювиального горизонта столбчато-ореховатая структура, а в ППК установилось близкое к прежнему количество обменного натрия. Это свидетельствует о высокой экологической устойчивости солонцов гидроморфных, которые постоянно испытывают на себе воздействие минерализованных грунтовых вод. Под их влиянием поддерживается, сохраняется и восстанавливается направленность солонцеобразовательного процесса.

С изменением уровня грунтовых вод в сторону понижения возможно некоторое рассоление профиля немелиорированных солонцов, однако данное предположение маловероятно в силу близкого их залегания и большой амплитуды колебания как по годам, так и в течение одного вегетационного периода. В связи с этим в глобальном понимании солонцеобразовательный процесс в значительной степени стабилен и определяется уровнем залегания и степенью минерализации грунтовых вод.

При внесении гипсосодержащих химических мелиорантов в профиле солонцов нарушаются природные связи, снижается как содержание обменного натрия, так и общее содержание солей. Усиливается развитие дернового процесса почвообразования, приводящее к формированию из солонцов черноземно-луговых и луговых почв различной степени солонцеватости и солончаковатости. Формирующиеся под воздействием мелиорантов почвы менее устой-

чивы в агроэкологическом отношении, чем целинные солонцы. Однако в связи глубокими изменениями, происходящими в химических и физических свойствах почв при химической мелиорации, влияющей на саму природу солонцовых свойств, положительный эффект мелиорации сохраняется длительное время. Тем не менее мелиорированные солонцовые массивы нуждаются в постоянном наблюдении, чтобы избежать возможного вторичного засоления за счет антропогенного фактора, например, глубокой вспашки.

Химическая мелиорация оказала влияние на солевой состав грунтовых вод. Под малонатриевым солонцом содержание сульфат-иона возросло с 1,2 (исходное в 1986 г.) до 4,4 ммоль-экв/л в октябре 1987 г., а затем до 13,1 ммоль-экв/л в июне 1988 г. В дальнейшем содержание сульфат-ионов уменьшилось вследствие диффузии. В грунтовых водах несколько увеличилось содержание кальция, магния и натрия. В целом под мелиорированными солонцами возросли минерализация и щелочность грунтовых вод, что связано с дополнительным образованием солей в мелиорируемых горизонтах и их промыванием до грунтовых вод.

По отношению одновалентных катионов к двухвалентным ($\text{Na}^+/\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$) Р. А. Витман (1975) разделил грунтовые воды на две группы: если это отношение больше 2, то над такими водами формируются многонатриевые солонцы; если меньше – малонатриевые. Из табл. 15 видно, что отношение натрия к сумме кальция и магния в грунтовой воде под многонатриевыми солонцами больше 2. В составе грунтовых вод преобладают карбонаты и бикарбонаты натрия. От малонатриевых к многонатриевым солонцам в грунтовых водах уменьшается содержание кальция и магния и возрастает количество натрия.

Таблица 15

**Химический состав грунтовых вод опытных участков,
август 1988 г.**

УГВ, см	pH водн.	Химический состав, ммоль-экв /л								Na ⁺ / Ca ²⁺ +Mg ²⁺	Ми- нера- лиза- ция,%
		CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺		
Солонец малонатриевый											
320	8,5	0,94	17,74	2,85	4,48	2,55	7,70	0,03	10,40	1,02	1,63
Солонец многонатриевый											
240	8,4	0,54	18,96	2,67	3,20	1,85	5,16	0,02	16,10	2,30	1,89

Несмотря на незначительное расстояние между наблюдаемыми скважинами, различия в химизме засоления грунтовых вод сохраняются длительное время, что указывает на слабое горизонтальное передвижение в них легкорастворимых солей.

Результаты наблюдений за уровнем залегания и солевым составом грунтовых вод свидетельствуют, что при закладке опыта под многонатриевыми солонцами в 1986 г. они находились на глубине 45 см, в 1987 г. опустились до 120 см и с 1988 по 2012 г. уровень их залегания находился на глубине 233–265 см, что связано с погодными условиями лет исследований (табл. 16), причем степень их минерализации, особенно в контроле, по годам колебалась незначительно.

Таблица 16

**Уровень залегания и химический состав грунтовых вод
под солонцами многонатриевыми (с 1987 по 2015 г.)**

Год	УГВ, см	pH	Химический состав, моль-экв /л								Na ⁺ Ca ²⁺ +Mg ²⁺
			CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	Сумма катио- нов	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Контроль											
1987	120	8,1	0,5	9,8	0,0	0,7	0,3	1,9	8,4	10,6	3,8
1988	240	8,4	0,5	19,0	2,7	3,2	1,9	5,2	16,1	23,1	2,3
1990	233	8,4	0,5	17,9	0,8	4,0	2,0	5,9	14,2	22,1	1,8
2006	250	8,1	1,4	19,2	1,7	3,0	1,0	4,4	19,9	25,3	3,7
2013 (июнь)	50	8,5	1,9	20,2	0,6	3,1	0,9	3,4	21,5	25,8	5,3

Окончание табл. 16

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
2013 (сент.)	160	7,9	0,0	21,1	0,6	2,1	0,3	6,3	17,2	23,8	2,6
2015 (июнь)	90	8,0	3,0	34,6	1,1	0,2	0,9	5,1	32,6	38,6	5,4
2015 (сент.)	170	7,4	0,8	23,2	1,3	2,1	0,8	7,0	19,7	27,5	2,5
<i>Гипс 45м/га</i>											
2006	265	7,8	0,6	21,5	1,8	8,9	3,4	5,8	18,9	28,1	2,0
2013	200	7,8	0,0	21,8	0,6	2,1	0,3	4,7	18,3	23,3	3,7
2015 (июнь)	120	7,8	1,4	27,6	0,9	0,6	1,3	4,9	22,0	28,2	3,6
2015 (сент.)	170	7,7	0,8	20,0	1,0	0,0	0,6	4,20	15,8	20,6	3,3

Как отмечалось нами ранее, вегетационный период 2013 г. был очень дождливым: в мае – июле количество осадков превысило норму в 2 раза (129 мм), в августе – в 2,5 (156 мм), вследствие чего грунтовые воды поднялись до 50 см. Это вызвало засоление почвенного профиля как в контрольных, так и в мелиорированных вариантах. К осени данного года грунтовые воды опустились до 170 см. В начале июня 2015 г. они снова поднялись к поверхности – в контрольном варианте до 90 см, а в вариантах с внесением гипса – до 120 см.

Степень их минерализации была высокой (см. табл. 16). Из катионов в них преобладал натрий, из анионов – гидрокарбонаты (доля анионов гидрокарбонатов составляла почти 98% от их суммы). Величина pH находилась в щелочном интервале. Осенью 2013 г. при снижении уровня залегания грунтовых вод значительно снизилось содержание натрия как в контроле, так и в вариантах с внесением мелиоранта – 19,7 и 15,8 ммоль-экв/л соответственно. Во всех пробах грунтовых вод как весной, так и осенью было обнаружено небольшое количество сульфат-ионов и хлора. Преобладали гидрокарбонаты. Из катионов, наряду с натрием, зафиксировано значительное содержание магния, т.е. грунтовые воды имели гидрокарбонатно-магниевый тип засоления. В контрольных вариантах грунтовые воды были более минерализованы, чем в вари-

антах с внесением гипса. Подобная закономерность сохранялась и в малонатриевых солонцах.

5.2. Изменение солевого состава мелиорированных солонцов в течение 30-летнего периода действия гипса

В первые два года после внесения мелиоранта (1987–1988 гг.) за счет интенсивных обменных реакций в мелиорированном слое 0–20 см как в малонатриевых, так и в многонатриевых солонцах произошло значительное (до 21–23 т/га) увеличение содержания легкорастворимых солей при содержании их в контроле 3–5 т/га. Соли в основном были представлены ионами кальция, магния, натрия и сульфатов. Наиболее выраженным данное явление было в весенний период. В последующие годы под действием атмосферных осадков и существенного улучшения физических и физико-химических свойств мелиорированного профиля соли промывались в нижележащие горизонты и грунтовые воды (Семендяева, 2011).

Количество солей за следующий пятилетний период (1989–1994 гг.) после внесения гипса в варианте многонатриевого солонца с дозой 56 т/га в слое 0–100 см снизилось до 51 т/га, в то время как в контроле их содержание составило около 97 т/га. Минерализация грунтовых вод в мелиорированных вариантах возрастала, особенно в летний период, – с 18 до 24 г/л и более за счет поступления из верхних горизонтов хлоридов, натрия, магния и частично кальция. За 8-летний период действия гипса (1989–1997 гг.) под воздействием внутрипочвенных потоков произошло постепенное снижение минерализации грунтовых вод до 10–12 ммоль-экв/л.

На 27-й год действия гипса (в 2013 г.) грунтовые воды поднялись до 50 см, что способствовало значительному засолению почвенного профиля как в контрольном варианте, так

и в варианте с внесением мелиоранта. В их солевом составе преобладали анионы гидрокарбонатов и сульфатов и в небольшом количестве присутствовали карбонат-ионы. Увеличение концентрации солей в грунтовых водах и в профиле почв свидетельствовало о значительном их засолении, которое не было зафиксировано в предыдущие годы. В солевом составе водных вытяжек почв преобладали анионы гидрокарбонатов и хлора. Количество ионов сульфатов и карбонатов было значительно меньше (рис. 16, 17). Высокое содержание солей в профиле солонцов по сравнению с предыдущими годами вызвало проявление вторичного засоления.

В табл. 17 приведены величины рН и содержание солей в профиле мелиорированных многонариевых солонцов за июнь 2006 и 2013 г., из которых видно, что величина рН изменялась в интервале от 8,8 до 10,6, что указывало на высокую щелочность. Количество легкорастворимых солей в профиле почв в 2013 г. было больше по сравнению с 2006 г.

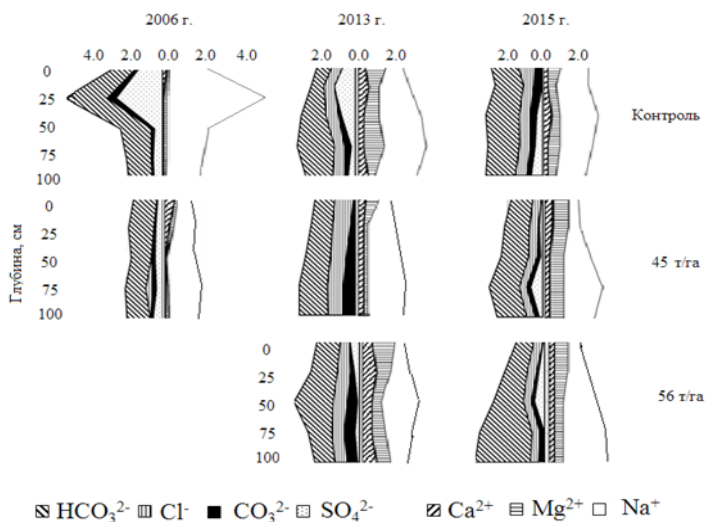


Рис. 16. Динамика солевого состава мелиорированных многонариевых солонцов

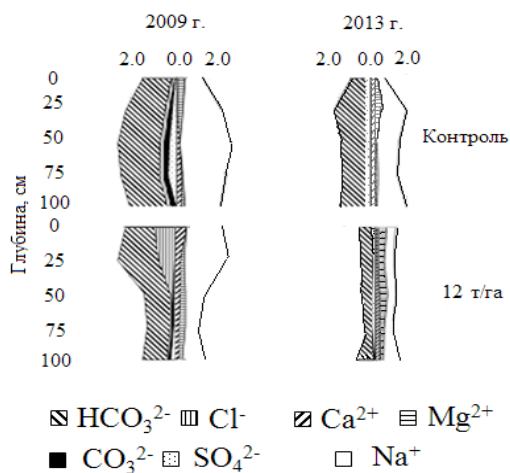


Рис. 17. Динамика солевого состава мелиорированных малонатриевых солонцов

Таблица 17

**Величина pH и содержание солей (ммоль-экв/100 г почвы)
в профиле мелиорированных многонатриевых солонцов, июнь**

Глубина взятия образца, см	Вариант							
	Контроль (без гипса)		Гипс 11 т/га		Гипс 45 т/га		Гипс 56 т/га	
	pH	Сумма солей	pH	Сумма солей	pH	Сумма солей	pH	Сумма солей
0–20	<u>9,5</u>	<u>5,5</u>	<u>9,5</u>	<u>2,9</u>	<u>9,4</u>	<u>2,3</u>	<u>8,8</u>	<u>1,4</u>
	7,9	3,4	8,7	5,3	7,2	2,9	7,5	3,3
20–40	<u>10,2</u>	<u>11,1</u>	<u>10,1</u>	<u>6,0</u>	<u>10,1</u>	<u>3,2</u>	<u>9,2</u>	<u>3,7</u>
	7,8	4,7	8,4	6,6	8,0	4,8	7,8	4,2
40–60	<u>10,6</u>	<u>5,7</u>	<u>10,3</u>	<u>7,0</u>	<u>10,4</u>	<u>3,2</u>	<u>10,5</u>	<u>3,9</u>
	8,4	7,7	8,9	5,5	8,5	2,8	8,2	5,6
60–80	<u>10,6</u>	<u>4,7</u>	<u>10,6</u>	<u>5,0</u>	<u>10,5</u>	<u>3,6</u>	<u>10,1</u>	<u>5,2</u>
	8,2	6,9	8,2	5,9	8,5	5,0	8,4	4,6
80–100	<u>10,6</u>	<u>4,6</u>	<u>10,6</u>	<u>4,9</u>	<u>10,6</u>	<u>4,0</u>	<u>10,1</u>	<u>2,2</u>
	8,2	8,3	8,2	7,4	8,4	5,3	8,4	4,5
Итого в слое 0–100		<u>31,3</u>		<u>24,3</u>		<u>16,3</u>		<u>16,4</u>
		31,0		32,2		20,8		22,2

Примечание. В числителе – 2006 г., в знаменателе – 2013 г.

Сумма солей в метровом слое контрольного варианта не изменялась в эти годы и составила соответственно 31,0 и 31,3 т/га, а в вариантах с дозами гипса 45 и 56 т/га возросла примерно в 1,3 раза по сравнению с 2006 г. В конце весеннего периода 2015 г. в профиле солонца в контроле на долю водорастворимого натрия в слое 0–20 см приходилось 53 % от суммы катионов. В слое 20–40 см его доля выросла на 71 %, а глубже по профилю его содержание стабилизировалось в интервале 65–69 % (табл. 18).

В варианте с внесением гипса в дозе 11 т/га количество водорастворимого натрия в слое 0–60 см было около 73 %, т.е. более высоким по сравнению с контролем при поднятии минерализованных грунтовых вод.

Таблица 18

Изменение величины pH и состава катионов в водной вытяжке мелиорированного солонца многонатриевого от весны к осени (2015 г.)

Глубина взятия об- разца, см	Вели- чина pH	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	Сумма катионов	От суммы катио- нов, %		
		ммоль-экв/100 г почвы				Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺
1	2	3				4	5	6
Контроль								
0–20	<u>9,02</u>	<u>0,30</u>	<u>0,70</u>	<u>1,10</u>	<u>2,10</u>	<u>14</u>	<u>33</u>	<u>53</u>
	9,80	0,25	0,15	3,56	3,96	6	4	90
20–40	<u>9,42</u>	<u>0,2</u>	<u>0,40</u>	<u>1,49</u>	<u>2,09</u>	<u>10</u>	<u>19</u>	<u>71</u>
	9,90	0,12	0,38	2,97	3,47	4	11	86
40–60	<u>9,55</u>	<u>0,40</u>	<u>0,40</u>	<u>1,76</u>	<u>2,56</u>	<u>16</u>	<u>16</u>	<u>68</u>
	9,90	0,10	0,10	2,75	2,95	3	4	93
60–80	<u>9,55</u>	<u>0,20</u>	<u>0,60</u>	<u>1,49</u>	<u>2,29</u>	<u>9</u>	<u>26</u>	<u>65</u>
	9,80	0,10	0,20	2,57	2,87	4	7	89
80–100	<u>9,42</u>	<u>0,20</u>	<u>0,40</u>	<u>1,36</u>	<u>1,96</u>	<u>10</u>	<u>21</u>	<u>69</u>
	9,70	0,10	0,10	1,65	1,85	6	5	89
Гипс 45 т/га								
0–20	<u>8,60</u>	<u>0,38</u>	<u>0,87</u>	<u>0,5</u>	<u>1,75</u>	<u>22</u>	<u>50</u>	<u>28</u>
	9,32	0,10	0,30	2,8	3,20	3	9	85
20–40	<u>9,00</u>	<u>0,38</u>	<u>0,87</u>	<u>0,6</u>	<u>1,85</u>	<u>21</u>	<u>47</u>	<u>32</u>
	9,65	0,10	0,40	4,0	4,50	2	9	89
40–60	<u>9,35</u>	<u>0,25</u>	<u>0,75</u>	<u>1,38</u>	<u>2,38</u>	<u>10</u>	<u>32</u>	<u>58</u>
	9,60	0,10	0,20	3,33	3,63	3	6	92

Окончание табл. 18

1	2	3	4	5	6	7	8	9
60–80	<u>9,55</u>	<u>0,25</u>	<u>0,75</u>	<u>2,04</u>	<u>3,04</u>	<u>8</u>	<u>25</u>	<u>67</u>
	9,64	0,10	0,20	2,31	2,61	4	8	88
80–100	<u>9,60</u>	<u>0,25</u>	<u>0,75</u>	<u>1,60</u>	<u>2,60</u>	<u>10</u>	<u>29</u>	<u>61</u>
	9,39	0,10	0,30	2,18	2,58	4	12	84

Примечание. В числителе – весна, в знаменателе – осень.

В варианте с полной дозой гипса (45 т/га) в слоях 0–20 и 20–40 см содержание водорастворимого натрия было значительно меньше, чем в контроле и вариантах с дозой гипса 11 т/га, и составило соответственно 28 и 32 % от суммы катионов.

Таким образом, после поднятия уровня залегания грунтовых вод в 2013 г. в конце весеннего периода 2015 г. содержание солей в профиле многонатриевых солонцов, мелиорированных полной дозой гипса по Гедройцу (45 т/га), было меньше, чем в контроле и в варианте с дозой 11 т/га. Это позволило сделать вывод о продолжении действия гипса, внесенного 29 лет тому назад. В осенний период 2015 г., когда грунтовые воды во всех вариантах опустились на глубину до 170 см, прослеживалось заметное возрастание суммы катионов в водных вытяжках, особенно натрия, как в контроле, так и в варианте 45 т/га гипса, причем в профиле мелиорированных солонцов солей и водорастворимого натрия было больше, чем в контроле (см. табл. 18).

Сравнение содержания суммы катионов солей в профиле солонцов в контроле и в варианте с дозой гипса 45 т/га в 2006 и 2015 г. в весенний период показывает, что в 2006 г. максимум солей в контроле отмечен в слое 20–40 см и составил 5,6 ммоль-экв/100 г почвы (рис. 18).

В слое 80–100 см его количество уменьшилось до 1,8 ммоль-экв/100 г почвы. В 2015 г. сумма солей в данном варианте была несколько выше по профилю, за исключением слоя 20–40 см, где она оказалась значительно ниже

(2,1 ммоль-экв/100 г почвы). В варианте с полной дозой гипса сумма солей в профиле солонцов возросла в 2015 г. по сравнению с 2006 г., особенно в слое 60–80 см.

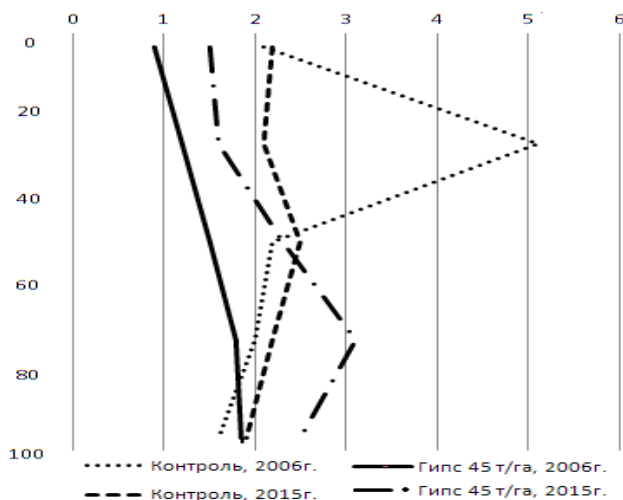


Рис. 18. Характер распределения суммы катионов в профиле солонца многонатриевого

В солевом составе водной вытяжки солонцов в 2013 г. при близком стоянии грунтовых вод смешанного типа засоления преобладали анионы гидрокарбонатов и хлора. Содержание сульфат-ионов было значительно меньшим. Анионы карбонатов обнаружены в профиле как мало-, так и много-натриевых солонцов (см. рис. 16, 17). В профиле малонатриевых солонцов водорастворимого натрия содержалось больше как в контроле (3–6 ммоль-экв/100 г почвы), так и в варианте с 18 т/га гипса (3–4,8 ммоль-экв/100 г почвы) по сравнению с многонатриевым, где содержание водорастворимого натрия колебалось в пределах 2 ммоль-экв/100 г почвы. Следовательно, даже при близком залегании минерализованных грунтовых вод эффект длительного действия гипса при однократном его внесении сохранялся.

Малонатриевые солонцы оказались более подверженными засолению, так как в их метровой толще обнаружено солей практически в 2 раза больше, чем в многонатриевых, – соответственно 57 и 31 т/га в контроле и 48 и 29 т/га при внесении полных доз гипса (табл. 19).

Таблица 19

Величина pH и запас солей в профиле мелиорированных малонатриевых солонцов

Глубина взятия образца, см	Вариант					
	контроль (без гипса)			гипс 18 т/га		
	pH	запас солей		pH	запас солей	
		%	т/га		%	т/га
0–20	9,8	0,42	$\frac{10,7}{1,0}$	8,8	0,34	$\frac{6,9}{2,0}$
20–40	10,4	0,60	$\frac{15,8}{3,7}$	10,2	0,46	$\frac{10,9}{2,0}$
40–60	10,5	0,46	$\frac{12,9}{3,5}$	10,5	0,42	$\frac{10,3}{2,2}$
60–80	10,5	0,35	$\frac{9,5}{4,2}$	10,4	0,39	$\frac{10,2}{2,3}$
80–100	10,5	0,29	$\frac{8,1}{4,6}$	10,7	0,37	$\frac{9,7}{2,4}$
Итого в слое 0–100 см			$\frac{57,0}{17,0}$			$\frac{48,0}{10,9}$

Примечание. В числителе — июнь 2013 г, в знаменателе — июнь 2006 г.

Причина данного явления может заключаться в том, что в малонатриевых солонцах произошли более глубокие мелиоративные процессы, которые существенно улучшили свойства почв в целом, а подъем грунтовых вод способствовал более сильному их засолению. Ранее нами установлено, что при внесении гипса процессом мелиорации охватывается весь 100-сантиметровый слой малонатриевых солонцов, тогда как в многонатриевых – только слой 0–60 см (Семендяева, Елизаров, 2012). Расчет запасов солей в метровой толще почв показал, что в 2013 г. при залегании грунтовых

вод на глубине 50–200 см их было значительно больше, чем в 2006 г. при уровне грунтовых вод 250–265 см (см. табл. 17 и 18). Так, в 2013 г. в малонатриевых солонцах без внесения гипса запасы солей были в 3,3, а при внесении гипса в дозе 18 т/га почти в 5 раз больше, чем в 2006 г. Содержание солей в профиле многонатриевых солонцов контрольного варианта практически не изменилось (31 и 31,3 т/га), а в вариантах с гипсом – возросло в 1,3 раза.

В результате резкого подъема минерализованных грунтовых вод произошло засоление мелиорированных солонцов легкорастворимыми солями. В малонатриевых солонцах оно выражено значительно сильнее, чем в многонатриевых, в силу того, что в них в предыдущие годы более интенсивно протекали мелиоративные процессы.

При выявлении связи между солевым составом грунтовых вод и солевым составом длительно мелиорированных солонцов получены данные, свидетельствующие об очень высокой корреляции этих показателей, начиная с нижних слоев почвенного профиля к верхним (табл. 20).

Таблица 20

Коэффициент корреляции Пирсона солевого состава длительно мелиорированных многонатриевых солонцов и грунтовых вод

Год	Глубина, см					УГВ, см
	0–20	20–40	40–60	60–80	80–100	
2006	0,71	0,93	0,98	0,97	0,95	250
2013	0,24	0,57	0,91	0,95	0,93	50
2015	0,74	0,96	0,99	0,97	0,94	90

Коэффициенты корреляции Пирсона составили от 0,91 до 0,99. Только в слое 0–40 см они ниже, особенно в 2013 г., т.к. под действием значительного количества атмосферных осадков легкорастворимые соли из слоев 0–20 и 20–40 см промылись в нижележащие горизонты. Поэтому корреляционная связь между верхними слоями почвы и грунтовыми

водами гораздо слабее (0,24 и 0,57). Тесная связь между солевым составом грунтовых вод и солевым составом профиля солонцов установлена также почвоведом Венгрии (Сабољч, 1965), Канады (Caims, Bowser, 1980), Индии (Chawla, Abrol, 1982), Китая (Shou-ren Jhao, Shou-quan Jhu, 1991) и др.

Таким образом, установлено, что в первые годы действия гипса в солонцах интенсивно протекали процессы обмена катионов натрия ППК на катионы кальция мелиоранта, что способствовало резкому увеличению содержания легкорастворимых солей, в первую очередь сульфата натрия (Na_2SO_4), которые передвигались по профилю, достигая грунтовых вод, и увеличивали их минерализацию. В последующие годы при сравнительно стабильном уровне залегания минерализованных грунтовых вод усиливалось рассоление профиля мелиорированных солонцов. При резком подъеме грунтовых вод (до 50 см) произошло засоление почвенного профиля. В нем увеличилось содержание бикарбонатов, карбонатов и особенно натрия. При этом возросла величина рН до 10 и более.

6. ДИНАМИКА НАТРИЯ В ПРОФИЛЕ МЕЛИОРИРОВАННЫХ СОЛОНЦОВ

Согласно подходам И.Н. Антипова-Каратаева (1953), отрицательные агрономические свойства солонцов обусловлены двумя группами собственно солонцовых свойств: агрофизиологической солонцеватостью и агрофизической солонцеватостью. Первая группа отрицательных свойств определяется их высокой щелочностью и связанным с этим дефицитом ионов кальция в почвенном растворе. Вторая группа требует замены избытка поглощенного натрия солонцового горизонта другими катионами, вызывающими коагуляцию илистых частиц. Чаще всего для химической мелиорации солонцов используются сыромолотый, саомасадочный гипс или фосфогипс (отход суперфосфатного производства). Химическая мелиорация устраняет отрицательные свойства обеих групп и создает условия для нормального развития главным образом солеустойчивых сельскохозяйственных культур.

6.1. Изменение содержания натрия в профиле мало- и многонатриевых солонцов при внесении гипса

Как показали многочисленные исследования, одноразовое внесение гипса в солонцы продолжает действовать в течение длительного периода. При этом уменьшается щелочность почвы, улучшаются ее физико-химические и физические свойства. В ППК снижается количество поглощенного натрия и возрастает содержание обменного кальция (Антипов-Каратаев, 1953; Еремченко, 1997; Березин, 2005; Воропаева и др., 2011; Гиндеммит, 2012, и др.). Проведенные нами многолетние наблюдения за динамикой общего (обменного и в водной вытяжке) натрия свидетельствуют, что при вовлечении солонцов в сельскохозяйственный оборот даже без внесения гипса по всему профилю происходило

снижение его содержания (Семендяева, Аверкина, 2009). Ранее Р. Ф. Галеевым (1994) установлено, что при сельскохозяйственном использовании солонцов без внесения гипса с увеличением степени солонцеватости в слое 0–20 см уменьшалось его содержание в ППК: в многонатриевом – на 11 %, в средненатриевом – на 4,6 %, а в малонатриевом содержание общего натрия даже несколько возрастало. Это связано с высокой подвижностью ионов натрия как в почвенном растворе, так и в диффузном слое ППК.

До закладки опыта (1985 г.) максимум содержания общего натрия в целинных многонатриевых солонцах (16,5 ммоль-экв/100 г почвы) был обнаружен в слое 0–20 см.

С глубиной количество натрия уменьшалось до 6,6 ммоль-экв/100 г почвы в слое 80–100 см. При сельскохозяйственном использовании в контрольном варианте произошло его заметное уменьшение по всему профилю как на второй (1987 г.), так и на 20-й год (2006 г.) освоения (табл. 21). После прекращения использования солонцов в пашне в течение 10 лет содержание общего натрия в контрольных вариантах постепенно возрастало, причем наибольшее его количество было обнаружено в слое 20–40 см – 13,0 ммоль-экв/100 г почвы, т.е. содержание общего натрия постепенно восстановилось до исходного состояния. Особо следует отметить, что ни в одном изученном слое почвы контрольных вариантов содержание общего натрия не было меньше 3,0 ммоль-экв/100 г почвы. Ранее нами было установлено, что решающим фактором начала формирования солонцового профиля почв гидроморфного ряда (лугово-черноземных, черноземно-луговых и луговых) является критическое количество обменного натрия в ППК в количестве 2,5–3,0 ммоль-экв/100 г почвы. Затем иллювиальный (солонцовый) горизонт формируется экспоненциально под воздействием комплекса природных факторов (Семендяева, 2002).

В середине прошлого столетия в почвоведении активно обсуждалась проблема состояния остаточного гипса после при мелиорации. По мнению А.М. Можейко (1963), для солонцов Украины характерно хелатирование частиц гипса, внесенного в качестве мелиоранта, т.е. не вступившие в реакцию частицы гипса покрываются тонкими пленками органоминеральных соединений, органические вещества которых представлены в основном фульватами. Кристаллы гипса при этом становятся недоступными для обменных реакций.

Как свидетельствуют полученные нами данные и обсуждаемые результаты исследований, взаимодействие гипса с ППК солонцов Западной Сибири постепенное и длительное. Хелатирования гипса не наблюдалось. В солонцах многонариевых через 20 лет после одноразового внесения 11 т/га гипса (1/4 часть расчетной нормы) содержание общего натрия уменьшилось по всему профилю почвы до количества, характерного для контрольного варианта как в 1987, так и в 1993 г. (см. табл. 21).

Таблица 21

Изменение содержания общего натрия в солонце многонариевом при 20-летнем последствии различных доз гипса

Вариант	Глубина, см	1985 г.	1987 г.		1993 г.		2006 г.	
		перед закладкой опыта	1	2	1	2	1	2
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Без гипса (контроль)	0–20	16,5	11,3	69	9,0	55	6,1	37
	20–40	15,0	10,8	72	8,6	57	13,0	89
	40–60	9,3	6,2	67	6,1	65	7,6	82
	60–80	7,4	4,9	66	4,0	54	5,4	73
	80–100	6,6	3,3	50	4,0	61	4,7	71
Гипс 11 т/га	0–20	18,2	11,0	60	8,0	44	4,3	24
	20–40	14,6	12,7	87	9,6	65	4,3	29
	40–60	8,3	6,3	76	6,1	74	6,9	83
	60–80	6,3	3,8	60	4,0	64	5,9	94
	80–100	6,3	3,1	49	4,0	64	5,1	81

Окончание табл. 21

1	2	3	4	5	6	7	8	9
Гипс 45 т/га	0–20	14,6	5,7	39	1,6	11	1,1	7,5
	20–40	16,3	11,8	72	1,8	11	1,9	12
	40–60	9,7	7,6	73	3,0	31	3,1	32
	60–80	7,1	4,5	63	4,5	63	4,0	56
	80–100	6,6	3,5	53	4,0	61	3,3	50
Гипс 56 т/га	0–20	18,1	5,0	28	1,0	5,5	0,55	3,0
	20–40	14,1	11,6	82	1,8	13	0,99	7,0
	40–60	13,5	7,3	54	3,0	22	1,4	11
	60–80	8,1	4,4	54	4,5	56	2,3	28
	80–100	6,1	3,1	51	4,0	66	2,2	36

Примечание. 1 – общий Na⁺, ммоль-экв/100 г почвы; 2 – от общего Na⁺ перед закладкой опыта, %.

Особенно выделяются результаты 2006 г., когда было весьма заметным последствие от внесения четвертной дозы гипса, и содержание общего натрия снизилось в слое 20–40 см по сравнению с контролем. Отсутствие увеличения содержания натрия в слое 20–40 см свидетельствует о длительном мелиоративном действии гипса, однако этой дозы недостаточно для прекращения развития солонцеобразования, что хорошо заметно по морфологическому профилю мелиорированного солонца (Семендяева, Анашкина, 2007).

Действие полной (45 т/га) и повышенной (56 т/га) доз гипса выразилось в усиленном вытеснении натрия из ППК по всему почвенному профилю, причем, чем выше была доза мелиоранта, тем больше натрия вытеснилось. Так, в 2006 г. в варианте с внесением гипса 45 т/га в слое 0–20 см содержалось общего натрия 1,10, а при внесении 56 т/га – 0,55 ммоль-экв/100 г почвы, т.е. содержание натрия по профилю стало даже меньше критического, что свидетельствует о резком торможении солонцеобразования по всему профилю.

Кроме того, данные табл. 21 позволяют проследить за скоростью изменения содержания общего натрия как по го-

дам, так и под влиянием различных доз гипса. В контрольном варианте при распахке солонцов произошло постепенное уменьшение количества общего натрия в слое 0–20 см: на второй год после распахки – на 31, на 8-й год – на 45 % от исходного содержания. На 20-й год содержание общего натрия продолжало уменьшаться (на 63 %), а в нижних горизонтах наблюдали его существенное увеличение, особенно в слоях 20–40 и 40–60 см (89 и 82 % соответственно), что свидетельствует о восстановлении солонцового процесса. Подобная закономерность была установлена и в варианте с четвертной (11 т/га) дозой гипса: в профиле почв на 20-й год после внесения гипса произошло увеличение общего натрия, особенно в слое 60–80 см – до 94 % по сравнению с исходным. В слоях 0–20 и 20–40 см этого варианта его содержание уменьшилось по сравнению с исходным на 76 и 71 % соответственно. Внесение высоких доз гипса способствовало вытеснению натрия из ППК не только в верхних (0–20 и 20–40 см) слоях, но и во всей метровой толще почвы.

В 2008 г. нами был проведен эксперимент, цель которого заключалась в установлении распределения общего (обменного и водорастворимого) натрия в верхнем слое 0–20 см контрольного варианта с полной дозой гипса 45 т/га мгнонатриевого солонца. Образцы отбирали послойно через каждые 3 см. Такой «шаг» отбора образцов обоснован тем, что в контроле с глубины 3 см четко прослеживалось восстановление столбчатой структуры иллювиального горизонта B_1 . Результаты анализов представлены в табл. 22, из данных которой видно, что поступление натрия происходит из нижних слоев почвы в верхние, причем в контроле его содержание в несколько раз выше, чем в варианте, мелиорированном полной дозой гипса.

Как отмечено нами ранее, содержание натрия в профиле солонцов весьма динамично как по годам, так и в течение

ние вегетационного периода, однако при однократном внесении гипса содержание натрия значительно уменьшилось и не восстановилось даже после 22-летнего его действия, что позволяет судить об определенной агроэкологической устойчивости свойств мелиорированных солонцов. То же можно сказать и о величине рН, которая в мелиорированных вариантах находилась в пределах нейтральной, а в контроле – средне- и сильнощелочной. С глубиной в обоих случаях наблюдалось увеличение щелочности, причем в контроле щелочность возрастала более значительно, а в мелиорированных солонцах находилась в слабощелочном интервале.

Изменение содержания натрия в солонцах малонатриевых происходило иначе (см. табл. 23).

Таблица 22

**Содержание общего натрия и величина рН в слое 0–12 см
залежного солонца многонатриевого**

Глубина, см	рН	Натрий, ммоль-экв/100 г почвы		
		общий	водорастворимый	обменный
Контроль				
0–3	8,15±0,32	2,09±0,01	0,63±0,16	1,46±0,03
3–6	8,38±0,21	4,18±0,16	1,54±0,21	2,64±0,08
6–9	8,54±0,22	4,84±0,15	1,84±0,22	3,00±0,02
9–12	8,56±0,19	5,52±0,14	2,00±0,15	3,52±0,06
Гипс 45 т/га				
0–3	7,04±0,18	0,26±0,01	0,18±0,03	0,08±0,01
3–6	7,24±0,21	0,44±0,02	0,36±0,04	0,08±0,01
6–9	7,24±0,22	0,66±0,01	0,36±0,04	0,30±0,02
9–12	7,34±0,19	0,87±0,03	0,48±0,05	0,39±0,03

Наблюдения прежних лет выявили, что в контрольных вариантах солонцов малонатриевых одновременно с уменьшением количества обменного натрия происходит увеличение содержания обменного магния, который поддерживает и сохраняет развитие солонцеобразовательного процесса (Панов, 1972), поэтому в профиле солонцов не было обнаружено заметных улучшений морфологических

и физико-химических свойств почв, а также показателей их плодородия. Количество общего натрия в вариантах с одно-разовым внесением гипса практически не увеличивалось, что свидетельствует о длительном мелиоративном действии гипса.

Из всего вышесказанного следует, что вытеснение натрия из ППК солонцов при химической мелиорации – процесс постепенный и длительный, продолжающийся в течение более двух десятков лет. При внесении полной расчетной нормы гипса из ППК солонцов вытесняется практически весь обменный натрий, замещаясь кальцием мелиоранта. В малонатриевых солонцах эффект мелиорации наблюдался по всему 100-сантиметровому профилю, тогда как в многонатриевых – только до глубины 60 см. Грунтовые воды в описываемый период находились на глубине 233–250 см.

Таблица 23

Изменение содержания общего натрия в солонцах корковых малонатриевых при длительном действии гипса, ммоль-экв/100 г почвы

Глубина, см	Год	Контроль (без гипса)	Доза гипса, т/га			
			12	18	35	50
0–20	1982	5,7	5,0	4,5	4,2	6,0
	1987	3,3	1,5	1,4	2,2	1,0
	2006	1,0	0,1	0,7	0,4	0,0
20–40	1982	7,3	4,6	7,2	3,4	8,4
	1987	6,4	2,5	4,21	2,5	4,9
	2006	3,9	0,4	1,2	0,9	0,4

Математическая обработка полученных данных показала, что между содержанием общего натрия в варианте с полной дозой гипса (45 т/га) и уровнем залегания грунтовых вод имеется тесная обратная корреляционная связь по всему метровому профилю ($r_{xy} = -0,60 \dots -0,99$). В контроле корреляция обнаружена только в нижних слоях почвы (60–80 и 80–100 см). В верхних горизонтах она отсутствовала из-

за отрицательных физических свойств немелиорированного варианта.

6.2. Влияние уровня залегания минерализованных грунтовых вод на содержание натрия в мелиорированных солонцах

При подъеме минерализованных грунтовых вод в 2013 г. с 265 до 50 см в контрольном варианте многонатриевого солонца резко возросло содержание общего натрия как в верхних, так и в нижних слоях почвы, причем его содержание в водной вытяжке было небольшим (0,5–2,0 ммоль-экв/100 г почвы). Увеличение количества натрия произошло в основном за счет обменного.

Как видно из данных табл. 24, четвертная доза гипса (11 т/га) от полной нормы по Гедройцу не оказала существенного мелиоративного действия, однако в профиле солонцов данного варианта обменного натрия содержалось несколько меньше, чем в контроле.

Таблица 24

Содержание натрия общего в водной вытяжке и обменного в профиле мелиорированных многонатриевых солонцов, июнь 2013 г.

Вариант	Глубина, см	Общий	В водной вытяжке	Обменный	В водной вытяжке	Обменный
		ммоль-экв/100 г почвы			% от общего	
1	2	3	4	5	6	7
Контроль (без гипса)	0–20	10,9	0,5	10,4	4,6	95,4
	20–40	16,3	1,5	14,8	9,2	90,8
	40–60	14,4	2,0	12,4	13,9	86,1
	60–80	15,2	2,0	13,2	13,2	86,8
	80–100	15,8	2,0	13,8	12,7	87,3
Гипс 11 т/га	0–20	7,0	0,7	6,3	10,0	90,0
	20–40	16,1	1,9	14,2	11,8	88,2
	40–60	17,3	2,2	15,1	12,7	87,3
	60–80	12,8	2,2	10,6	17,2	82,8
	80–100	10,4	2,0	8,4	19,2	80,8

1	2	3	4	5	6	7
Гипс 45 т/га	0–20	2,7	0,7	2,0	25,9	74,1
	20–40	5,1	1,0	4,1	19,6	80,4
	40–60	4,9	1,7	3,2	34,7	65,3
	60–80	7,2	2,0	5,2	27,8	72,0
	80–100	9,3	2,1	7,2	22,6	77,4
Гипс 56 т/га	0–20	2,0	0,7	1,3	35,0	65,0
	20–40	2,6	1,0	1,6	38,5	61,5
	40–60	3,8	1,3	2,5	34,2	65,8
	60–80	4,9	1,6	3,3	32,7	67,3
	80–100	4,6	2,0	2,6	43,5	56,5

Несмотря на значительный подъем грунтовых вод, в мелиорированных вариантах с полной (45 т/га) и повышенной (56 т/га) нормами гипса содержание общего и обменного натрия было в несколько раз меньше, чем в контроле. Следовательно, положительное действие гипса сохранялось даже при вторичном засолении.

В малонатриевом солонце изменение содержания натрия в водной вытяжке и в обменной форме отличалось от многонатриевого. Из данных табл. 25 видно, что содержание общего натрия в 2013 г. в контроле было значительно меньше, чем в многонатриевом, и примерно одинаковым с вариантом гипса 18 т/га (норма по Гедройцу). Практически весь натрий находился в водной вытяжке, а доля обменного была незначительной. В нижних слоях контрольного варианта его содержание составляло 2,3–2,4 ммоль-экв/100 г почвы, в варианте с гипсом 18 т/га в слое 60–80 см – 1,3, а в остальных слоях его количество было ниже 0,6 ммоль-экв/100 г почвы.

Для сравнения в табл. 25 приводятся данные этого же периода по содержанию натрия в целинном участке многонатриевого солонца и в многолетней залежной зональной почве – лугово-черноземной. В профиле целинного солонца содержание натрия не имело существенных отличий от контрольного варианта в опыте (см. табл. 23), а в луго-

во-черноземной количество общего натрия невысокое. На долю обменного приходилось около 15 % от общего количества натрия.

Таблица 25

**Содержание общего, водорастворимого и обменного натрия
в профиле почв, июнь 2013 г.**

Вариант	Глубина, см	Об-щий	в водной вытяжке	обмен- ный	в водной вытяжке	обмен- ный
		ммоль-экв/100 г почвы			% от общего	
Солонец малонатриевый						
Контроль (без гипса)	0–20	3,9	3,4	0,5	87,2	12,8
	20–40	6,8	6,6	0,2	97,1	2,9
	40–60	5,7	5,3	0,4	93,0	7,0
	60–80	5,8	3,5	2,3	60,3	39,7
	80–100	5,3	2,9	2,4	54,7	45,3
Гипс 18 т/га	0–20	3,6	3,0	0,6	83,3	16,7
	20–40	4,9	4,8	0,1	98,0	2,0
	40–60	5,2	4,6	0,6	88,5	11,5
	60–80	5,4	4,0	1,3	74,1	25,9
	80–100	5,4	4,9	0,5	90,7	9,3
Солонец корковый многонатриевый						
Целина	0–10	13,6	0,8	12,8	5,9	94,1
	10–20	17,0	2,5	14,4	14,7	85,3
	20–40	13,2	2,3	10,9	17,4	82,6
Лугово-чернозёмная почва						
Залежь	0–20	1,2	0,8	0,4	66,7	33,3
	20–40	2,0	1,7	0,3	85,0	15,0

Весной 2015 г. произошло значительное снижение количества общего натрия во всех вариантах солонца многонатриевого, включая целину, по сравнению с 2013 г., что обусловлено большим количеством осадков в зимне-весенний период (136–178 % от нормы) и снижением уровня грунтовых вод до 90–120 см, которые в совокупности оказывали непосредственное влияние на почвообразовательный процесс (табл. 26).

В профиле целинного солонца коркового многонатриевого, а также в контроле и в варианте с гипсом в дозе 11 т/га

обнаружено примерно одинаковое количество всех форм натрия, тогда как в вариантах с дозами гипса 45 и 56 т/га его количество несколько уменьшилось по сравнению с 2013 г. (табл. 24).

В осенний период 2015 г. содержание общего натрия было примерно одинаковым в контроле и в варианте с дозой гипса 45 т/га, за исключением слоя 0–20 см, в котором в мелиорированных солонцах количество обменного натрия составило 2,1 ммоль-экв/100 г почвы, что в 2,5 раза меньше, чем в контроле. В нижних слоях этого варианта количество обменного натрия находилось в пределах 4,1–4,8 ммоль-экв/100 г почвы, что свидетельствует о возможном усилении солонцеобразовательного процесса. В варианте с дозой гипса 56 т/га содержание обменного натрия находилось в интервале 1,0–2,4 ммоль-экв/100 г почвы, что ниже критического уровня.

Таблица 26

Общий, водорастворимый и обменный натрий в солонцах корковых в 2015 г., ммоль-экв/100 г почвы

Июнь			Сентябрь		
Натрий					
общий	водорастворимый	обменный	общий	водорастворимый	обменный
1	2	3	4	5	6
Солонец корковый мелиорированный многонатриевый					
Контроль					
3,34	1,10	2,24	8,97	3,56	5,41
5,50	1,49	4,01	-8,36	2,97	5,39
5,32	1,76	3,56	6,60	2,75	3,85
4,40	1,49	2,91	5,85	2,57	3,28
3,74	1,36	2,38	4,44	1,65	2,79
Гипс 11 т/га					
5,10	1,27	3,83	Не опр.		
7,44	2,04	5,40			
6,60	2,53	3,47			
6,12	1,65	4,47			
5,76	1,65	4,11			

<i>Гипс 45 т/га</i>					
1,89	0,50	1,39	4,92	2,80	2,12
2,64	0,60	2,04	8,14	4,00	4,14
4,00	1,38	2,62	8,14	3,33	4,81
5,50	2,04	3,46	6,69	2,31	4,38
4,62	1,60	3,46	5,32	2,18	3,14
<i>Гипс 56 т/га</i>					
2,80	0,50	2,30	1,67	0,64	1,03
3,83	0,60	3,23	2,37	0,79	1,58
3,20	1,05	2,15	3,08	1,21	1,87
4,40	1,60	2,80	3,87	1,45	2,42
4,18	1,60	2,56	3,74	1,69	2,05
Солонец корковый. Целина					
2,20	1,10	1,10	Не опр.		
3,83	1,65	2,18			
7,83	3,67	4,16			
4,62	3,14	1,48			
4,62	2,31	2,31			

Таким образом, после вторичного засоления почвенного профиля мелиорированных солонцов многонатриевых в 2013 г. в последующие годы (2014 и 2015) происходило постепенное опускание уровня залегания минерализованных грунтовых вод. Это способствовало некоторой промывке легкорастворимых солей из профиля и уменьшению содержания общего натрия. Однако в контрольном варианте и в варианте с внесением 45 т/га гипса количество общего натрия было примерно одинаковым, что свидетельствует о снижении мелиоративного эффекта. В варианте с высокой дозой гипса (56 т/га) действие химической мелиорации пока продолжается.

Содержание натрия общего, водорастворимого и обменного весьма динамично как по годам, так и в течение одного отдельно взятого вегетационного периода. Так, при снижении уровня грунтовых вод с июня по сентябрь в контрольных вариантах почв выросло количество водорастворимого

и обменного натрия (см. табл. 25). В слоях 0–20 и 20–40 см обменного натрия в ППК больше, чем в нижележащем слое 80–100 см (5,4 и 2,8 ммоль-экв/100 г почвы соответственно). Подобная тенденция сохранилась и в варианте 45 т/га, однако в слое 0–20 см содержание обменного натрия осенью составило 2,1, а ниже по профилю 4,4–4,8 ммоль-экв/100 г почвы, т.е. даже больше, чем в контроле. В варианте с повышенной дозой гипса (56 т/га) содержание обменного водорастворимого натрия к осени продолжало снижаться по сравнению с июнем, что свидетельствовало о сохранении действия гипса.

Оценивая общую динамику натрия в исследуемый период, можно сделать вывод о том, что при высоком поднятии минерализованных грунтовых вод в мелиорированных солонцах прослеживается тенденция к затуханию действия одноразового внесения гипса через 29 лет после внесения, хотя по сравнению с контролем и продолжают наблюдаться некоторые его проявления. Чем выше доза мелиоранта и длительнее ее воздействие на ППК солонцов, тем устойчивее становится мелиоративный процесс и окультуривание солонцов в целом.

6.3. Обоснованность расчёта доз мелиорантов для солонцов по содержанию натрия

В Западной Сибири для расчета доз гипсосодержащих мелиорантов используются два метода. В первом и самом распространенном случае доза гипса рассчитывается по содержанию обменного натрия в солонцовом горизонте (Гедройц, 1912; Антипов-Каратаев, 1953, и др.). Второй метод – «донасыщения» – основан на учете количества кальция, который могут поглотить из насыщенного раствора солонец и несолонцеватая почва (Соколовский, 1938; Schoonover, Aldrich, 1951; Березин и др., 1971, и др.)

Использование обменного натрия в качестве расчетного показателя представляет определенные трудности. Как свидетельствуют полученные нами данные, он значительно варьирует во времени и пространстве (Семендяева, 1984). Поэтому при проведении химической мелиорации одна и та же доза гипса взаимодействует с солонцами различной степени солонцеватости. Высокую подвижность данного элемента отмечал Г.Н. Самбур (1963), который считал, что натрий в солонцах, определяемый суммарно, неодинаково токсичен для культурных растений. Значительная часть его более прочно связана с ППК и менее способна к гидролизу, тогда как другая (активная) часть легче гидролизуеться и оказывает токсичное воздействие на растения. По Г.Н. Самбур, данное явление необходимо учитывать при расчете доз гипса. Расчет доз мелиорантов следует вести только на активную часть натрия. В свою очередь, А.М. Можейко (1946) придерживался мнения о том, что «ионы натрия в солонцах способны к перемещению из более ответственных участков поверхности в менее ответственный – в смысле придания почве солонцовых свойств».

Наши исследования по обоснованию расчетных доз мелиорантов на солонцах (Семендяева, Добротворская, 2005) показали, что для условий Западной Сибири наиболее эффективной является полная доза гипса, рассчитанная по методу К.К. Гедройца. Альтернативные подходы к расчету доз мелиорантов используются в Омской области (Березин и др., 1973; Воропаева, 2010). З.И. Воропаевой (2010), в частности, экспериментально доказана экономическая эффективность расчета доз гипса для мелиорации солонцов по разнице между количеством поглощенного солонцом кальция и вытесненного из ППК магния ($\text{ммоль-экв}/100 \text{ г почвы}$).

По мнению многих исследователей, при расчете доз мелиорантов для солонцов необходимо использовать только

средние образцы почвы в связи с сильной вариабельностью содержания натрия (Муратова, 1970; Бобров, 1973; Галеев, 1994, и др.). По данным Р.Ф. Галеева (1994), для расчета доз гипса по содержанию натрия в мелиорируемом слое луговых солонцов необходимо количественно оценить его изменение во времени под действием гидротермических факторов в конкретных природно-климатических условиях, а также обосновать количество отбираемых образцов, чтобы полученное среднее содержание натрия достаточно точно характеризовало данный массив солонцов. При обследовании участка для закладки опыта на многонатриевом солонце установлены значительные колебания по содержанию обменного натрия – от 7 до 23 ммоль-экв/100 г почвы (20–60 % от емкости катионного обмена), что превышает размеры градации классификации по данному признаку. Общее среднее исходных образцов, взятых из слоя 0–20 см (из 24 определений), составило 16,9 ммоль-экв/100 г почвы. Количество отобранных образцов влияет как на величину среднего содержания натрия в почве, так и на вероятность максимальной ошибки. Как видно из данных табл. 27, при отборе образцов в количестве 7 штук в произвольном порядке размах вариации вариационного ряда уменьшается, а возможность максимальной ошибки становится маловероятной. При этом минимум и максимум приближаются к общему среднему. Вариабельность показателя по обменному натрию в слое 0–20 см можно уменьшить в результате механических обработок. В данном опыте коэффициент вариации снизился после закладки опыта (вспашки) на 2–3 %.

Гидротермические условия влияют на процессы испарения и накопления почвенной влаги, что является причиной временной изменчивости содержания натрия в почвенном профиле солонцов, особенно в слое 0–20 см.

**Оценка вероятности максимальной ошибки при отборе
почвенных образцов в количестве от 1 до 7 на участке солонца
многонатриевого (Галеев, 1994)**

Количество образцов	Минимум	Максимум	Размах вариационного ряда	Количество возможных комбинаций	Вероятность максимальной ошибки
1	10	26	16,0	24	1 из 24
2	10,6	24,6	14,0	275	1 из 275
3	11,1	23,7	12,6	2023	1 из 2023
4	11,3	22,9	11,6	10625	1 из 10625
5	11,6	22,3	10,7	42503	1 из 42503
6	11,9	21,9	10,0	134595	1 из 134595
7	14,0	21,6	7,6	346103	1 из 346103

Наши наблюдения свидетельствуют о том, что в дождливый вегетационный период в слое 0–20 см содержание общего натрия снижалось, а в засушливые вегетационные периоды, наоборот, возрастало. В осенних образцах содержание общего натрия возросло по сравнению с весенними на 2–8%. Пределы колебания натрия в иллювиальном горизонте солонцов луговых корковых обусловлены уровнем залегания, минерализацией и соотношением катионов в грунтовых водах, как было обсуждено ранее. Наличие четко выраженного микрорельефа, трещиноватости, биологических воздействий и т.д. вызвало пространственную пестроту показателей по содержанию водорастворимого и обменного натрия (Витман, 1975; Семендяева, 1984, и др.)

Р. Ф. Галеевым (1994) на данном опытном участке многонатриевого солонца выявлено закономерное распределение натрия в пространстве и установлено, что если образцы отбирать по двум взаимно-перпендикулярным линиям поля, средний образец достаточно точно будет характеризовать изучаемый массив солонца по содержанию натрия. Вблизи опытного участка Р. Ф. Галеевым были заложены два опыта на целине для сравнения содержания общего натрия сред-

него образца и среднего, полученного в результате анализа каждого образца. Площадь каждого участка приблизительно равнялась 200 м². С одного участка было отобрано 8 образцов из слоя 0–20 см. Среднее содержание отдельных определений составило 4,9 ммоль-экв/100 г почвы общего натрия при варьировании 18%. Содержание натрия в среднем образце 4,8 ммоль-экв/100 г почвы. Со второго участка отобрано 5 образцов. Показатели по натрию в среднем образце и средние отдельных определений совпали. На основании полученных данных эксперимента видно, что отбирать и анализировать целесообразно средний образец.

Проведенные исследования показали, что нет четкой границы между обменным и общим натрием. Для расчета доз кальцийсодержащих мелиорантов следует использовать показатель общего натрия. Подробный анализ данных позволил Р. Ф. Галееву (1994) по влиянию возрастающих доз гипса на вытеснение натрия в солончах различной степени солонцеватости построить линию зависимости оптимальных норм мелиоранта от содержания общего натрия в мелиорируемом слое (рис. 19).

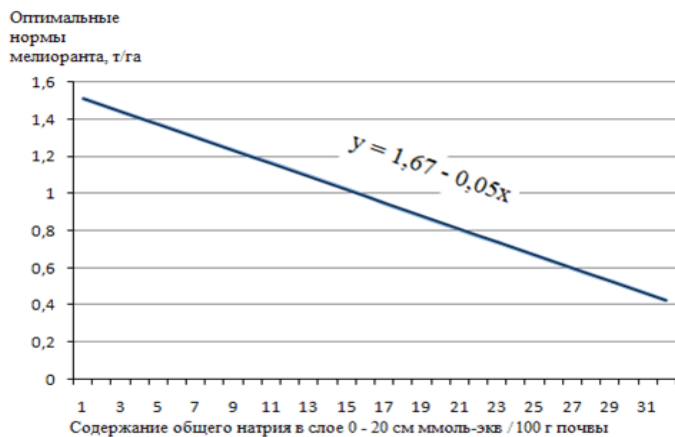


Рис. 19. Зависимость оптимальных норм гипса от содержания общего натрия в слое 0–20 см (Галеев, 1994)

После тщательного отбора почвенных образцов в поле в них следует определить содержание общего натрия, затем, используя выявленную зависимость, рассчитать оптимальную норму мелиоранта. На графике видно, что оптимальные нормы мелиоранта линейно зависят от содержания общего натрия в слое 0–20 см с высоким коэффициентом детерминации (0,951). Отбор почвенных образцов для расчета доз мелиоранта необходимо проводить в августе – сентябре.

Таким образом, нами установлено, что при вовлечении солонцов в пашню даже без внесения мелиорантов произошло снижение общего натрия (общего и водорастворимого), причем, чем больше общего натрия содержалось в профиле, тем легче он вымывался. После прекращения использования солонцов в пашне содержание натрия в контроле (без гипса) постепенно восстановилось до исходного в течение 10 лет. Уменьшенная доза гипса (1/4 от полной нормы) оказывала непродолжительное мелиоративное действие, и плодородие данных вариантов приблизилось к контрольным.

Вытеснение обменного натрия из ППК солонцов при мелиорации – процесс постепенный и долговременный, продолжающийся в течение десятков лет. При внесении полной расчетной дозы из ППК вытесняется практически весь обменный натрий, замещаясь на кальций мелиоранта при условии, что грунтовые воды находятся не выше 250 см (критическая глубина залегания для данных почв).

При подъеме минерализованных грунтовых вод в профиле солонцов резко возросло содержание общего натрия, главным образом за счет обменных форм, в контрольных вариантах и в варианте с пониженной дозой гипса оно было значительно выше, чем в мелиорированных вариантах. После снижения уровня грунтовых вод содержание

общего натрия в профиле солонцов снова уменьшилось. Полные и повышенные дозы гипса при вторичном засолении способствовали сохранению мелиоративного эффекта. Последующее опускание грунтовых вод и промывка профиля почвы атмосферными осадками способствовали снижению общего натрия во всех вариантах. В связи с тем, что использование обменного натрия в качестве расчетного показателя доз гипса представляет определенные трудности из-за его динамичности, взятие почвенных образцов необходимо проводить в августе – сентябре, так как к осени содержание общего натрия возрастает. При этом отбирать следует средние образцы, составленные из семи или более индивидуальных образцов, по двум взаимно-перпендикулярным линиям.

7. БИОЛОГИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ ЦЕЛИННЫХ И МЕЛИОРИРОВАННЫХ СОЛОНЦОВ

Биологическая активность почвы – это совокупность протекающих в ней биологических процессов, способность всех живых организмов почвы осуществлять процессы разложения и синтеза веществ. Определяется количественным и качественным составом почвенных организмов (бактерий, актиномицетов, микроскопических грибов, водорослей, червей и др.), их ферментативной активностью и является наиболее существенным показателем почвенного плодородия.

Солонцы характеризуются как почвы, достаточно активные в микробиологическом отношении. В 1 г солонцов методом прямого микроскопирования обнаруживается до 1 млрд микробных клеток (Кононова, 1967). Показано, что обрабатываемые солонцы имеют более высокую численность микроорганизмов, чем черноземы южный и выщелоченный. Активность гидролитических и окислительно-восстановительных ферментов и нитратонакопление в них выше в 2 раза и более, чем в черноземах (Рязанова, 1984). Определяется это, по мнению авторов, отличиями в подвижности гумуса и его дисперсности. В то же время целлюлозолитическая активность солонцов содово-сульфатного типа засоления примерно в 3–5 раз ниже, чем в зональных лугово-черноземных солонцеватых почвах (Хасанова, 2015).

Солонцовые почвы богаты азотфиксаторами и актиномицетами (Гришко, 2010). Относительно высокая биогенность засоленных почв обусловлена развитием в них специфического по видам комплекса микроорганизмов. Так, из засоленных почв Турции выделено 95 штаммов экстремально галофильных архей (Озкан, 2006). В условиях засоления лучше растут галотолерантные бактерии *Bacillus* и *Micrococcus*, развивающиеся даже при 20%-м содержании соли в среде, а не галофильные бактерии *Halobacterium*

и *Halococcus* (Лысак и др., 1994). Имеются данные (Лапыгина и др., 2002), что почвенные бактерии характеризуются устойчивостью к кратковременному действию насыщенных растворов солей. Чувствительнее к солевому стрессу бактерии, находящиеся в оптимальных условиях культивирования. В засушливых условиях их численность ингибируется солями меньше. Более устойчивы к засолению бациллы и нокардии, а грамтрицательные бактерии (кроме скользящих), в том числе азотобактер, в таких условиях выживают плохо. Этим, по-видимому, объясняется широкое распространение в засоленных почвах группы *Nocardia rubra* (Саданов, 1984). Актиномицеты также устойчивы к засолению и способны интенсивно развиваться в почве при 10%-м содержании NaCl. При этом видовой состав актиномицетов генетически засоленных и незасоленных почв существенно отличается. Например, в солонцах Украины доминируют стрептомицеты *Streptomyces violaceomaculatus* (сек. *Roseus*) и *St. aerionidulus* (сек. *Cinereus*), а в черноземах – *St. violaceomaculatus* (сек. *Roseus*), *St. sporotherbeus* (сек. *Azureus*), *St. aerionidulus* (сек. *Cinereus*), *St. enduracidicus* (сек. *Cinereus*) и *St. grisinus* (сек. *Cinereus*) (Гришко, 2010).

Что касается микрофлоры солонцов Западной Сибири, то ее ресурсы активно исследовались в Институте почвоведения и агрохимии СО РАН и Омском СХИ в 60–70-е гг. XX в. в трех почвенно-климатических зонах юга Сибири. Для зон характерно разное распределение осадков: в лесостепной Барабе, по средним многолетним данным, выпадает 372, в степной Северной Кулунде – 313, Центральной Кулунде – 248 мм осадков, что в значительной мере определяет продуктивность природных ландшафтов и жизнедеятельность микроорганизмов. Поэтому солонцы и солончаки Западной Сибири, расположенные в разных почвенно-климатических зонах, обладают различной биологической ак-

тивностью, выражающейся в вариациях всех групп микроорганизмов и в их своеобразном распределении. Наиболее высокая численность микроорганизмов в солонцах приурочена к горизонту А, в котором обнаружено наибольшее видовое разнообразие бактерий, актиномицетов и грибов. По профилю обилие микроорганизмов в солонцах снижается, но в Западной Сибири это происходит не так плавно, как в европейской части РФ (Клевенская и др., 1970).

В Барабе наибольшей биогенностью обладает средне-столбчатый солонец, затем высоко- и корково-столбчатый (Кузнецова, 1957). Численность актиномицетов от средне-столбчатых к корковым солонцам меняется незначительно, что можно объяснить высокой гумусностью верхнего слоя коркового солонца и солеустойчивостью этой группы микробов (Сидоренко, 1962). Отмечен рост числа актиномицетов от солонцов Барабы к солонцам Северной и Центральной Кулунды, где на них приходится почти половина общей численности микроорганизмов.

Содержание бактерий в солонцах увеличивается в противоположном направлении, от Центральной Кулунды к северу. В солонцах Барабы они становятся полными доминантами. Относительное количество спорообразующих бактерий, наоборот, в Барабе снижается (Лапыгина и др., 2002). В солонцах наблюдается значительное увеличение количества микобактерий, способных лучше многих других микроорганизмов переносить неблагоприятные условия окружающей среды. Их численность особенно возрастает в горизонте В.

В солонцах отмечается большое бактериальное разнообразие. В Барабе А. И. Сидоренко (1962) выделил и определил 107 видов бактерий, в том числе из рода *Pseudomonas* – 24, *Bacterium* – 12, из рода *Chromobacterium* – 5, *Bacillus* – 15, *Mycobacterium* – 26, *Micrococcus* – 8 видов. Вниз по про-

филю видовое богатство как у спорообразующих форм, так и у неспороносных бактерий уменьшается. В солонцах северной Кулунды видовой состав спорообразующих бактерий беднее: обнаружено всего 5 видов рода *Bacillus* (Дударева, 1962). Видовое разнообразие актиномицетов в солонцах Барабы тоже выше, чем в солонцах северной Кулунды: 24 вида против 15. В солонцах Северного Казахстана выявлено 9 видов актиномицетов (Клевенская, 1970). Среди микроскопических грибов в солонцах Сибири наиболее часто и обильно встречаются роды *Penicillium*, *Mucor*, *Aspergillus* и *Trichoderma*. В глубокостолбчатых солонцах Барабы не обнаружены виды *Aspergillus* и *Trichoderma*, но найдены *Acrostalagmus cinnabarinus*, *Mortierella alpine*, *Torula alboconvoluta*, *Popularia sphaeropsis*, *Myrothecium roridum*, *Cladosporium* и др.

В солонцах Центральной Барабы и Центральной Кулунды широко распространены микроорганизмы, участвующие в превращениях фосфора. Для микроорганизмов, растущих на среде Gerretsen'a – Муромцева с трехкальциевым фосфатом, а также расщепляющих органофосфаты на среде Менкиной, замечена закономерность: увеличение активности при снижении общей численности. Микробы из солонцов Барабы преимущественно выделяются на среде с нуклеином натрия, а из солонцов Центральной Кулунды – на среде с минеральными фосфатами. Это дало возможность предположить, что в солонцах Барабы преобладающая форма фосфатов – органическая, тогда как в сухостепной зоне – минеральная (Клевенская и др., 1970).

Разное действие засоления на почвенные микроорганизмы в разных почвенно-климатических зонах связано с количеством осадков, запасами гумуса и физико-химическими свойствами солонцов. В сухостепной зоне (Центральная Кулунда) сформировались почвы с низким содержанием гуму-

са (1,5–3 %), а постоянный дефицит влаги увеличивает и без того высокую концентрацию почвенного раствора в солонцах. Поэтому численность микроорганизмов в солонцах и солончаках здесь всегда ниже, чем в зональных каштановых почвах. В степной и лесостепной зоне в солонцах гораздо больше гумуса (5–8 %) и значительно лучше режим увлажнения, что благоприятно сказывается на микроорганизмах. Их численность в солонцах и солончаках в 1,5–2 раза превышает обилие микроорганизмов в других почвах (Клевенская и др., 1970).

Солонцы Северной Кулунды резко отличаются от других по развитию десульфофикаторов. В них десульфофикаторы обнаруживаются редко. Среднестолбчатые солонцы Барабы, более гумусированные и тяжелые по гранулометрическому составу, характеризуются выраженными анаэробными условиями и имеют высокий титр десульфофикаторов. Развитием десульфофикаторов объясняется до некоторой степени содовое засоление в Барабе (Дударева, 1962).

Динамика численности микроорганизмов в солонцах связана с увлажнением почвы и характером поступления и превращения органического вещества. Установлен июльский спад и увеличение численности большинства групп микроорганизмов весной и осенью (Дударева, 1962; Сидоренко, 1962). Н. С. Пономарева (цит. по: Клевенская и др., 1970) связывала динамику аммонификаторов в солонцах с развитием растительного покрова, отмечая максимумы в период их развития и в пору созревания. Большая динамичность микрофлоры солонцов свидетельствует о многообразии проявления микробиологической деятельности во времени.

На основании вышеприведенного можно выделить особенности микробных ресурсов в солонцах Западной Сибири (Клевенская и др., 1970):

1. Солонцы, расположенные в различных почвенно-климатических зонах, обладают разной биогенностью, выражающейся в заметных вариациях численности всех групп микроорганизмов и в своеобразном распределении их относительного числа. Наиболее высокая численность микроорганизмов приурочена к горизонту А. Здесь же обнаружено наибольшее видовое разнообразие бактерий, актиномицетов и грибов.

2. Относительное количество бактерий увеличивается от солонцов Центральной Кулунды к Северной Кулунде, а в солонцах Барабы эта группа уже доминирует. Противоположная закономерность отмечена у актиномицетов. В Центральной Кулунде эта группа достигает половины общей численности микроорганизмов. Относительное количество спорообразующих бактерий также возрастает от Барабы к Центральной Кулунде.

3. Зональные микробиологические особенности солонцов отчетливо проявляются при сравнении с типичными почвами. В лесостепи и степи биогенность солонцов гораздо выше, чем окружающих почв. В зоне сухих степей численность микроорганизмов в солонцах ниже, чем в зональных почвах.

Целинные солонцовые почвы в Западной Сибири в основном используются как кормовые угодья. Включение солонцов в пашню связано с их химической мелиорацией гипсом и фосфогипсом. На микрофлору корковых солонцов гипс сразу после внесения влияет отрицательно, ухудшая азотный и фосфатный режимы и ослабляя активность разложения клетчатки. Угнетает нитрификацию в корковом и глубоко-столбчатом солонцах Барабы в первые годы и совместное внесение гипса и навоза. При этом значительно увеличивается число денитрифицирующих бактерий и азотфиксаторов рода *кlostридиум*, являющихся анаэро-

бами. В последующие годы отмечено стимулирующее действие гипса и гипса с навозом уже на аэробную микрофлору солонцов, особенно на численность целлюлозолитических микроорганизмов. Изменяется их видовой состав и распределение по генетическим горизонтам (Семендяева, 2002).

Дальнейшее развитие микрофлоры связано с изменением солевого режима мелиорированных солонцов. И. А. Троценко (2008) отмечает, что в конце послемелиоративного периода (который, согласно автору, в условиях Западно-Сибирской низменности наступает после пятилетнего действия гипса и длится в течение 10–15 лет) в верхнем слое мелиорированных солонцов на фоне периодического подъема грунтовых вод проявляется увеличение количества обменного Na^+ и уменьшение доли обменного Ca^{2+} . Это меняет экологические условия жизнедеятельности микрофлоры и влияет на биохимическую активность почвы.

Для показателей биохимической активности корковых солонцов Барабы постмелиоративное действие фосфогипса зависит от дозы мелиоранта. Через 28 лет после гипсования мало- и многонатриевого солонцов это четко проявляется в динамике уреазной и протеазной активности. Ферменты уреазы и протеазы широко распространены в почвах, где они катализируют реакцию гидролитического расщепления органических соединений, определяя интенсивность мобилизационных процессов и таким образом участвуя в обогащении почвы доступными для растений питательными веществами (Хазиев, 1990).

В солонцах уреазная активность играет бóльшую, чем в других почвах, роль в деструкции органических остатков, что связано с увеличением содержания аккумулирующих уреазу фульвокислот (Fernandez et al., 2009).

В мелиорированном 45 т/га гипса многонатриевом солонце отмечается усиление уреазной активности, проявляю-

щееся увеличением концентрации выделившегося аммиака (рис. 20), что в интерпретации автора методики Т.В. Аристовской (Аристовская, Чугунова, 1989) означает усиление общей биологической активности почвы.

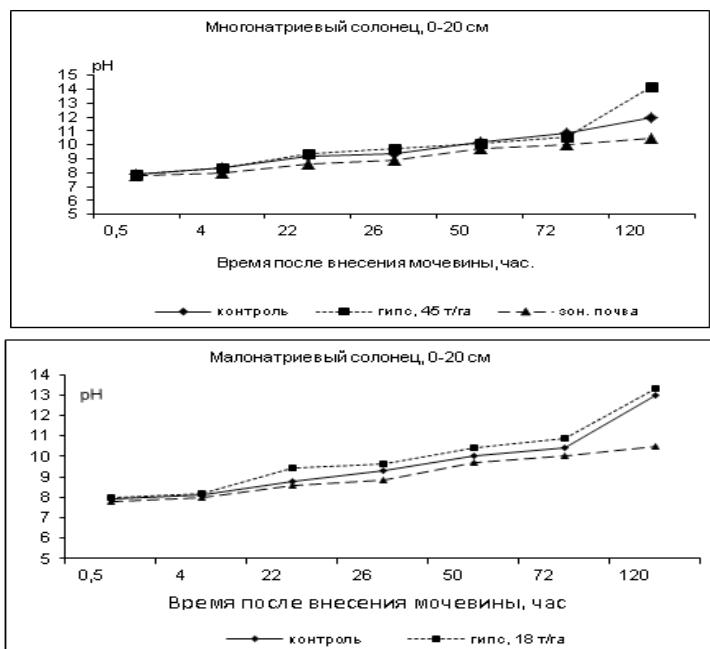


Рис. 20. Уреазная активность мелиорированного коркового солонца через 28 лет после гипсования

Меньшая доза мелиоранта, 18 т/га гипса, внесенная в малонатриевый солонец, не влияет на уреазную активность его верхнего слоя.

О том же свидетельствуют данные по изменению протеолитической активности солонцов, приведенные в табл. 28, где показано, что под влиянием мелиорации интенсивность разложения желатины в отдаленном последствии существенно увеличивается (от 2 до 7,5 раза) только в случае многонатриевого солонца с 45 т/га гипса.

**Активность разложения белка в мелиорированном
и немелиорированном солонце многонатриевом
(по % разжижения желатины через 3 суток)**

Вариант	Слой почвы 0 – 20 см**	Слой почвы 20 – 40 см
Целина	20,2	10,2
Контроль	5,7	16,3
Гипс, 45 т/га	43,3*	6,0
Зональная почва, лугово-черноземная	9,3	9,7

* $P_{0,10}$ по сравнению с контролем. ** В целине анализировали слой почвы 0–7 см.

Отдаленный эффект одноразового внесения гипса в солонец корковый проявляется также в достоверном влиянии на трофическую и таксономическую структуру микробного сообщества его поверхностных слоев. В первую очередь это касается эколого-трофических групп микроорганизмов, состав и разнообразие которых определяются азотсодержащими веществами почвы.

В мелиорированных солонцах возрастает численность аммонификаторов, высвобождающих азот легкоминерализуемых органических остатков. В многонатриевом солонце это достоверно выявляется в слое 0 – 20 см (табл. 29), в малонатриевом – в виде тенденции в обоих слоях почвы (табл. 30), но в отдельные годы здесь в слое 20 – 40 см может наблюдаться превосходство обилия аммонификаторов мелиорированного солонца над контрольным до двух раз.

Многочисленными и активными в минерализационном отношении в вариантах с фосфогипсом становятся аэробные представители семейств Bacillaceae и Pseudomonadaceae.

Содержание автотрофных нитрификаторов в верхнем слое многонатриевого солонца и его иммобилизационная активность (судя по соотношению КАА к МПА) через

28 лет после внесения гипса не отличаются от целины, а в слое 20 – 40 см превосходят целинную почву в 1,7 – 2,3 раза. Это свидетельствует об активизации в последствии гипсования микробного высвобождения аммиачного азота в солонцовом горизонте почвы.

Таблица 29

Отдаленное последствие мелиорации гипсом солонца коркового малонатриевого для микроорганизмов круговорота азота

Эколого-трофическая группа	Целина	Контроль	Гипс 18 т/га	Зональная почва
<i>Слой 0–20 см**</i>				
Аммонификаторы, млн КОЕ/г сухой почвы	25,9	24,1	51,9*	19,7
Азотфиксаторы, % обрастания комочков почвы	86,7	97,2	100	29,2*
Нитрификаторы, тыс/г почвы	2,3	2,2	1,9	3,1*
Денитрификаторы, млн/г почвы	1,6	15,0*	4,0*	1,6
Коэффициент минерализации	7,3	8,7	6,4	13,5
<i>Слой 20–40 см</i>				
Аммонификаторы, млн КОЕ/г сухой почвы	14,1	17,0	16,3	86,0*
Азотфиксаторы, % обрастания комочков почвы	100	100	81,2	42,8*
Нитрификаторы, тыс/г почвы	1,2	2,3*	2,0	3,6*
Денитрификаторы, млн/г почвы	3,5	0,8*	4,0	2,0
Коэффициент минерализации	12,6	31,1*	28,7*	7,2

* $P_{0,1}$ по сравнению с целиной. ** В целине анализировали слой почвы 0–7 см.

Следствием улучшения агрофизических свойств мелиорированного малонатриевого солонца является снижение численности олигонитрофильных микроорганизмов (рис. 21) и активизация аэробных азотфиксаторов в слое 0 – 20 см (табл. 30).

Таблица 30

**Отдаленное последствие мелиорации гипсом малонатриевого
коркового солонца для микроорганизмов круговорота азота**

Эколого-трофическая группа	Контроль	Гипс, 18 т/га	Зональная почва
<i>Слой 0–20 см</i>			
Аммонификаторы, млн КОЕ/г сухой почвы	22,6	29,1	19,7
Азотфиксаторы, % обрастания комочков почвы	42,8	80,0*	29,2
Нитрификаторы, тыс/г почвы	9,5	7,0	3,1
Денитрификаторы, млн/г почвы	25,0	15,0	1,6*
Коэффициент минерализации	24,4	20,9	13,5
<i>Слой 20–40 см</i>			
Аммонификаторы, млн КОЕ/г сухой почвы	8,4	10,6	86,0*
Азотфиксаторы, % обрастания комочков почвы	92,0	89,2	42,8*
Нитрификаторы, тыс/г почвы	2,8	2,2	3,6
Денитрификаторы, млн/г почвы	2,0	2,0	2,0
Коэффициент минерализации	47,3	34,7	7,2*

* $P_{0,1}$ по сравнению с контролем.

В мелиорированных солонцах наблюдается снижение численности денитрификаторов и соответственно снижение потерь газообразного азота. Численность денитрификаторов в верхнем слое мелиорированного малонатриевого солонца уменьшается в сравнении с контролем с 25,0 млн/г почвы до 15,0, многонатриевого – с 15,0 млн/г почвы до 4,0. В условиях модельного опыта, где в отсутствие растений в течение года поддерживались оптимальная влажность почвы и температура 20 – 22 °С, отличия в обилии денитрификаторов между контрольным вариантом и почвой с постмелиоративным эффектом становятся еще более выраженными. В контрольном многонатриевом солонце их численность достигает 140 млн/г, в промелиорированном остается в пределах 4,0 млн.

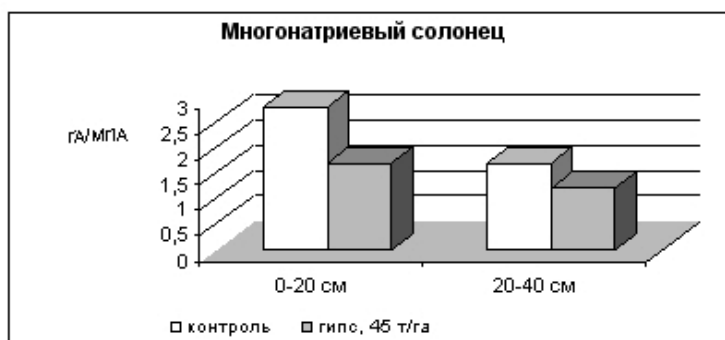


Рис. 21. Изменение олиготрофности мелиорированных гипсом корковых солонцов

Все это можно рассматривать как положительное действие приема гипсования, в результате чего высвобождение газообразного азота из солонцов приближается к уровню зональной черноземно-луговой почвы, где численность денитрификаторов составляет 1,5 – 3,0 млн/г почвы.

В итоге перечисленных изменений в мелиорированных солонцах возрастает количество доступного азота, что снижает степень их олиготрофности (коэффициент олиготрофности) (рис. 21). Олиготрофность отражает соотношение между микроорганизмами, довольствующи-

щимися в почве остаточными количествами азота (выделяются на голодном агаре), и микроорганизмами, растущими на богатых азотом средах (выделяются на мясопептонном агаре).

В последствии гипсования, изменившего агрофизические и химические свойства почвы, существенно меняется обеспеченность солонцов не только доступным азотом, но и углеродом, показателем чего является численность микроорганизмов – деструкторов сложных органических веществ. В почве заметно увеличивается обилие актиномицетов (в 1,8 – 1,9 раза), которые являются активными гидролитами, и снижается пул олигокарбофильных микроорганизмов, численность которых бывает высокой в бедных органическими остатками почвах (табл. 31, рис. 22). Недостаток углерода олигокарбофилы компенсируют, разлагая соединения гумуса. Для малонатриевого солонца снижение численности этой эколого-трофической группы составляет 2,1, для многонатриевого – 1,5 раза.

Таблица 31

Изменение численности актиномицетов в солонцах корковых при длительном последствии гипса, млн КОЕ /г сухой почвы

Солонец	Целина	Кон- троль	Гипс, т/га		Зональная почва
			45	18	
Слой 0–20 см**					
Многонатриевый	14,6	22,9*	29,1*		45,0*
Малонатриевый	Не опр.	37,8		55,2*	45,0
Слой 20–40 см					
Многонатриевый	16,4	31,9*	23,8*		33,0*
Малонатриевый	Не опр.	39,3		93,1*	33,0

* $P_{0,1}$ по сравнению с целиной для многонатриевого солонца и с контролем для малонатриевого.** В целине анализировали слой почвы 0–7 см.

Общим последствием гипсования для обоих изученных солонцов становится не только увеличение численности актиномицетов, но и снижение их биоразнообразия. Домини-

нантами среди актиномицетов в немелиорированной почве являются представители четырех секций рода *Streptomyces*: *Cinereus*, *Roseus*, *Azureus* и *Albus*, а в мелиорированном солонце преимущественно доминируют представители серий двух секций – *Cinereus* и *Roseus* с серым и оранжевым воздушным мицелием.

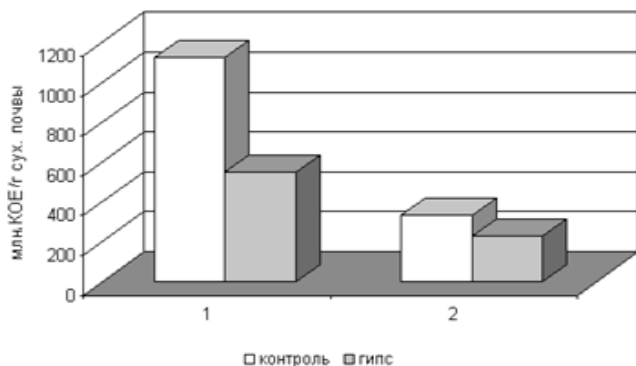


Рис. 22. Изменение численности олигокарбофильных микроорганизмов в слое 0–20 см корковых солонцов при 25-летнем действии гипса:

1 – солонец малонатриевый (18 т/га гипса); 2 – солонец много-
натриевый (45 т/га гипса)

В последствии химической мелиорации становится существенно меньше, чем в контроле, целлюлозолитических микроорганизмов, выделяемых на среде Гетчинсона (их обилие падает в 2 раза) и микроскопических почвенных грибов. В малонатриевом солонце численность микромицетов уменьшается в 1,3 – 3,2, в многонатриевом – в 1,2 – 4,5 раза. Более значимое снижение грибов в малонатриевом солонце происходит в верхнем слое почвы, в многонатриевом – в нижнем. Грибы успешно минерализуют трудноразлагаемые остатки, имеющие в составе значительную долю целлюлоз и гемицеллюлоз, например, одревесневшую растительность. Факт уменьшения чис-

ленности грибов на мелиорированных участках тоже говорит о смене характера фитоценоза через 25 – 28 лет после гипсования, а значит, о факте коренного преобразования коркового солонца.

Выраженный эффект последействия химической мелиорации на микробное сообщество корковых солонцов проявляется в нарушении его таксономической структуры (рис. 23, 24).

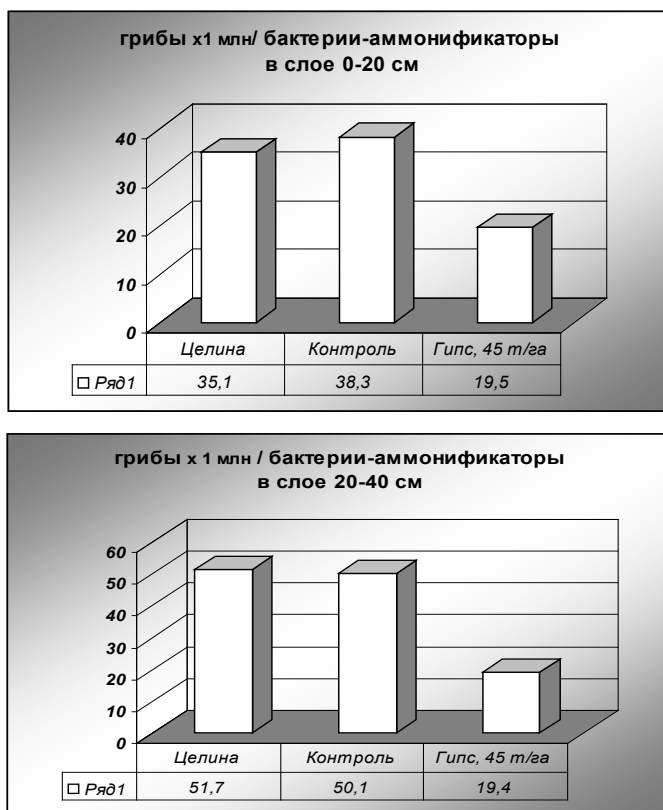


Рис. 23. Нарушение соотношения микромицетов и бактерий-минерализаторов в корковом солонце в отдаленном последействии после гипсования

Наиболее чувствительным показателем такого нарушения становится соотношение численности почвенных грибов и бактерий, что связано как со снижением в мелиорированном солонце разрушителей целлюлозы – микромицетов, так и с повышением обилия бактерий-минерализаторов и бактерий-иммобилизаторов азота. Увеличение доли бактерий в структуре микрофлоры свидетельствует об изменении характера растительного сообщества в сторону накопления его биомассы и разнообразия видов и создания оптимальной для бактерий влажности.

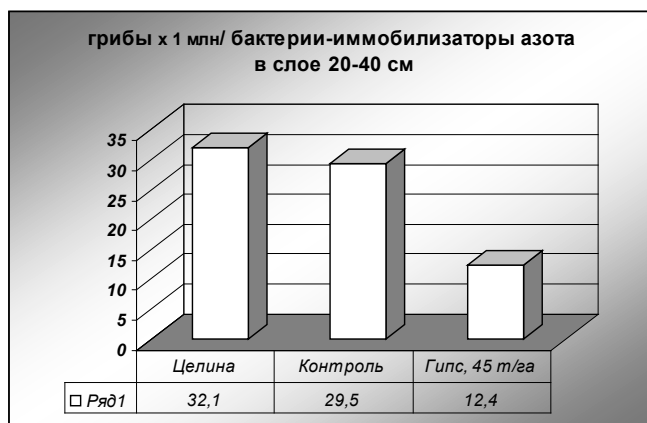


Рис. 24. Нарушение соотношения микромицетов и бактерий-иммобилизаторов азота в корковом солонце в отдаленном последствии после гипсования

Сдвиги под влиянием гипсования в таксономической структуре микробного сообщества характеризуют возросшее значение в деструкции органического вещества бактериальной флоры, которая, как известно, продуцирует ряд биологически активных веществ, стимулирующе воздействующих на растительность. В итоге в последствии мелиорации мы выявили существенное снижение фитотоксичности почвы (табл. 32).

Таблица 32

Последствие мелиорации гипсом на фитотоксичность коркового солонца

Вариант	Слой почвы, см	Параметры роста редиса Жара, см	
		длина корней	длина проростков
Малонатриевый солонец			
Контроль	0–20	9,0	10,7
Гипс 18 т/га		13,5	14,6
Контроль	20–40	8,7	7,9
Гипс 18 т/га		14,3	14,0
Многонатриевый солонец			
Контроль	0–20	5,5	4,2
Гипс 45 т/га		11,6	14,1
Контроль	20–40	5,4	3,1
Гипс 45 т/га		9,9	10,5
НСР ₀₅		1,1	1,3
Степень влияния по Снедекору, %		68.2	77.8

О ней в первую очередь свидетельствует снижение ростовых процессов тест-объекта фитотоксичности – редиса – в сравнении с контрольной почвой. Из количественной оценки морфологических показателей тест-объекта явствует, что внесение гипса 22 года назад, наоборот, привело к достоверной стимуляции роста корней и проростков редиса, причем от 27 до 70 %, т.е. значимо, снизило фитотоксичность солонцов.

Эффект сохранился и в последующее десятилетие. Мелиорированный солонец благоприятствовал росту и развитию редиса. При дозе гипса 11 т/га биомасса 10 его растений составляла 2,9 г, при дозе 45 т/га – 3,9 г, в то время как в целине только 0,8, а в контроле – 1,3 г (НСР_{0,5} 0,06 г). Длина корневой системы и ростков соответственно увеличивалась с 13,9 до 36,1 (НСР₀₅ 12,6) и с 9,8 до 30,4 мм (НСР₀₅ 3,5).

Снижение фитотоксичности солонцовой почвы в 1,7–3,7 раза, несомненно, было вызвано длительным действием гипса, что доказывает доля влияния фактора, вычисленная по Снедекору. Для всхожести она составила 0,73, для

корневой системы – 0,54, высоты ростков – 0,96, биомассы тест-растения – 0,9.

Еще одна важная сторона влияния гипса на биологическую активность солонцов – это изменение направленности микробиологических процессов трансформации органического вещества в сторону развития дернового процесса. О нем судили по предложенному В. Д. Мухой (1980) коэффициенту трансформации: $P_m = (M_{ПА} + KAA) \times (M_{ПА} / KAA)$. В мелиорированных солонцах растительные остатки стали в 1,8–2,3 раза быстрее трансформироваться в органическое вещество почвы, чем в контрольном корковом солонце (рис. 25).

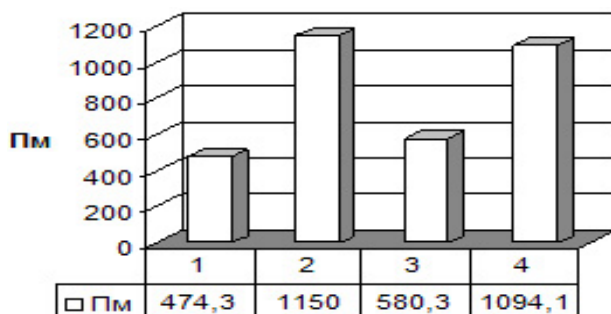


Рис. 25. Отдаленное последствие гипса на трансформацию органического вещества в корковых солонцах:

1 – солонец малонатриевый; 2 – солонец малонатриевый, гипс 18 т/га; 3 – солонец многонатриевый; 4 – солонец многонатриевый, гипс 45 т/га

Гипсование повлияло не только на содержание натрия в верхнем слое почвы, но и на концентрацию анионов, характерных для смешанного сульфатно-карбонатного типа засоления. Характер таких изменений в микробиологическом круговороте серы мелиорированных солонцов показан в табл. 33 на примере сульфатредуцирующих бактерий (прямой путь восстановительных процессов)

и разнообразных групп анаэробных микроорганизмов (косвенный путь).

Сульфатредуцирующие бактерии используют SO_4^{2-} как источник энергии и могут расти только в тех средах, где достаточно этого аниона. Поэтому выделение данной группы актуально для солонцов со смешанным сульфатно-карбонатным типом засоления. Эффект химической мелиорации для сульфатредуцирующих бактерий, так же как для многих уже рассмотренных эколого-трофических групп микроорганизмов, зависел от дозы внесенного гипса. В малонатриевом солонце с гектарной нормой 18 т гипса уменьшение численности сульфатредуцентов отмечалось в 1,7 раза и только в слое почвы 0–20 см, а в многонатриевом солонце с 45 т/га гипса – в обоих слоях почвы. Оно было и более значимым – в 4,4–5,4 раза, что свидетельствует о снижении в составе солонца коркового в отдаленном последствии гипсования содержания сульфат-ионов.

Таблица 33

Микрофлора круговорота серы в корковом солонце через 25 лет после гипсования (модельный опыт)

Вариант	Восстановление серы, тыс/г почвы			
	косвенное, анаэробные аммонификаторы, МПБ		прямое, сульфатвосста- навливающие бактерии, среда Старкей	
	Слой 0–20 см	Слой 20–40 см	Слой 0–20 см	Слой 20–40 см
<i>Малонатриевый солонец</i>				
Контроль	0,45	0,35–45,0	14,8	1,9
Гипс 18 т/га	0,25	0,15–30,0	8,8	2,0
<i>Многонатриевый солонец</i>				
Контроль	0,15	2,5–15,0	7,4	3,8
Гипс 45 т/га	0,08	0,4–9,5	1,7	0,7
<i>Зональная почва</i>				
Лугово-черно- земная почва	Не опр.	0,15–0,30	2,7	2,0

Анаэробные микроорганизмы, восстанавливающие серосодержащие вещества косвенным путем, минерализуют белковые соединения животного происхождения и соединения серы, попадающие в почву с осадками, и восстанавливают их в конечном итоге до сероводорода. Данные табл. 33 свидетельствуют, что численность и этой группы восстановителей серы после внесения гипса в корковые солонцы тоже существенно снижалась: в слое 0–20 см многонатриевого и малонатриевого солонцов – в 1,8–1,9 раза. В нижнем слое большее снижение наблюдалось в многонатриевом солонце: в 1,6–6,3 раза против 1,5–2,3 в малонатриевом, что, по-видимому, тоже связано с бóльшей дозой внесенного гипса. Таким образом, внесение гипса привело к тому, что восстановительная ветвь круговорота серы в мелиорированном солонце стала функционировать слабее, чем в контроле, а значит, условия аэрации и воздухообмена в почве улучшились.

Таким образом, мелиорация корковых солонцов гипсом существенно изменила их биологические свойства. К 30 годам после гипсования в микробном сообществе солонцов возросло значение сапрофитной микрофлоры, осуществляющей деструкцию легкоразлагаемых растительных остатков, азотфиксаторов и актиномицетов – гидролитиков и снизилась доля олигонитрофильных микроорганизмов. Гипсование корковых солонцов привело к нарушению таксономической структуры микробного сообщества, уменьшению доли грибов и снижению общей фитотоксичности. При этом в верхних слоях измененных корковых солонцов по сравнению с контролем активизировались микробиологические процессы превращения растительных остатков в органическое вещество почвы.

8. ПИТАТЕЛЬНЫЙ РЕЖИМ СОЛОНЦОВ БАРАБИНСКОЙ РАВНИНЫ ПРИ ОДНОРАЗОВОМ ВНЕСЕНИИ ГИПСА

Нами установлено, что химическая мелиорация солонцов, улучшая физические и физико-химические свойства, не всегда положительно сказывается на их пищевом режиме (Семендяева и др., 1993). Поэтому гипсование корковых солонцов целесообразно проводить с одновременным внесением азотных и фосфорных удобрений, которые создают фонд доступных элементов питания для растений.

8.1. Нитратный азот в солонцах при химической мелиорации

Исследованиями учёных Сибири (Кочергин, 1961, 1983; Бурлакова, 1957; Жежер, 1970; Николаева, 1973; Славнина, 1974; Кочегарова, 1976; Гамзиков, 1981; Гамзиков и др., 1985; Помазкина, 1985, и др.) установлено, что основным источником азота для растений в почве является нитратный азот. В основу диагностики обеспеченности сельскохозяйственных культур азотом положено содержание его нитратной формы в слое почвы 0–40 см. Установлено, что содержание и запасы нитратного азота в значительной степени зависят от предшествующей культуры севооборота, гидро-термических условий года и многих других. В годы с большим количеством осадков нитратный азот накапливается не только в верхних, но и в нижних горизонтах почвы. При последующем дефиците влаги в почве он может подниматься с восходящим током влаги в верхние слои почвы и служить источником азота для растений.

По мнению Н. В. Орловского (1941), солонцовость почвы при высокой гумусности может до известного предела улучшать условия азотного питания растений, так как повышенная щёлочность почвенного раствора или наличие

структурности почвы содействуют жизнедеятельности бактерий, мобилизующих почвенный азот.

Многонатриевый корковый солонец, прогипсованный в 1986 г., до 1995 г. использовали в севообороте «пар – озимая рожь – пшеница – овёс – овёс», а с 1996 г. на опытном участке произрастает донник. Содержание нитратного азота перед закладкой опыта (1986 г.) в слое 0–20 см, определённое по методу Грандваль-Ляжу (Агрохимические ..., 1975), и обеспеченность им растений в слое 0–40 см – очень низкие (рис. 26). Внесение двойного суперфосфата в дозах 90 кг д.в/га в 1986 г. и 40 кг д.в/га в 1990–1995 гг. в качестве фона во всех вариантах опыта повышало содержание азота в контроле (без гипса) в 3–5 раз. Это обусловлено невысоким выносом азота, небольшими урожаями сельскохозяйственных культур в данном варианте, с одной стороны, и усилением минерализации почвенного азота под действием обработки почвы и внесения суперфосфата – с другой. Летом 2013 г. содержание нитратного азота в слое 0–20 см контрольного варианта в 2,4 раза превышало его исходный уровень (1986 г.).

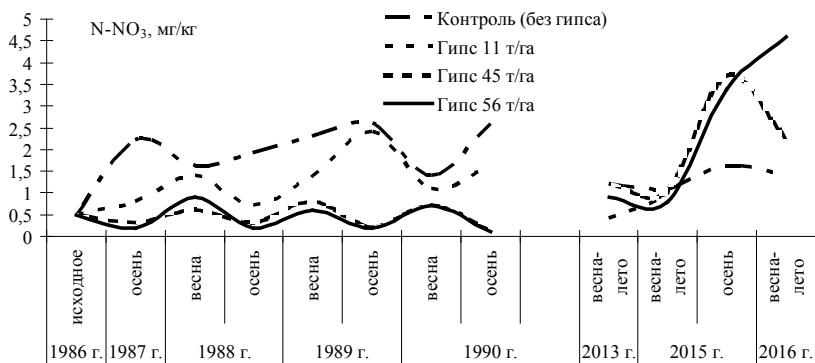


Рис. 26. Изменение содержания нитратного азота в слое 0–20 см коркового многонатриевого солонца при одноразовом внесении гипса

Внесение фосфорных удобрений на фоне химической мелиорации солонца коркового многонатриевого возрастающими дозами гипса снизило содержание нитратного азота в пахотном слое (0–20 см) во все годы исследований за счёт выноса азота большей урожайностью. Причём количество азота в почве уменьшалось с ростом дозы гипса. Через 30 лет после разового внесения мелиоранта наибольшее содержание нитратного азота было отмечено в варианте с дозой гипса 56 т/га.

Распределение содержания и запасов нитратного азота по профилю многонатриевого солонца при его гипсовании представлено в табл. 34. Уменьшение нитратного азота вниз по профилю может быть обусловлено снижением гумуса и биологической активности почвы. Большое количество осадков, выпавших в 2013 г., способствовало миграции нитратного азота по профилю и накоплению его в метровой толще. При этом запасы азота в вариантах со всеми дозами гипса незначительно превышали исходные (1986 г.) и под целиной и были в 1,7–1,9 раза меньше, чем в контроле (без гипса).

Весной 2015 г. наименьшие запасы нитратного азота в метровой толще отмечены при внесении гипса 56 т/га. Они более чем в 2 раза меньше по сравнению с целиной. В августе, в связи с опусканием грунтовых вод с глубины 100 до 170 см (табл. 35), содержание нитратного азота и его запасы возросли более чем в 2 раза в вариантах с гипсом, превышая почти в 2 раза контроль, но обеспеченность растений азотом оставалась низкой и очень низкой.

С увеличением дозы мелиоранта содержание нитратов в грунтовых водах солонца коркового многонатриевого также уменьшалось. Весной 2015 г. их количество в контроле было в 3–5 раз больше, чем в вариантах с гипсом, а максимальное – в целине (см. табл. 34). В поверхност-

ных водах рядом с опытом и в лесном колке содержание нитратов составило 3,4 и 3,7 мг/л соответственно. Весной 2016 г. грунтовые воды во всех вариантах опыта залегали на глубине 110 см.

Таблица 34

**Распределение содержания нитратного азота в солонцах
при однократном внесении гипса**

Слой, см	Исходное содержа- ние, 1986 г.	Вариант				Целина
		контроль (без гипса)	гипс, т/га			
			11 (18) *	45	56	
1	2	3	4	5	6	7
Солонец корковый многонатриевый						
2013 г., июнь						
0–20	0,5/1,3	1,2/3,1	0,4/1,0	1,2/2,4	0,9/1,8	0,6/ 1,6
20–40	0,4/1,0	1,3/3,5	0,5/1,3	0,4/0,9	0,7/1,6	0,4/1,0
40–60	0,4/1,2	0,7/2,0	0,6/1,6	0,4/1,0	0,3/0,7	0,4/1,2
60–80	0,3/0,9	0,6/1,8	0,5/1,4	0,4/1,0	0,3/0,7	0,4/1,2
80–100	0,3/1,0	0,4/1,3	0,5/1,5	0,6/1,6	0,5/1,2	0,3/1,0
0–100	5,4	11,7	6,8	6,9	6,0	6,0
2015 г., июнь						
0–20	Не опр.	1,0/2,6	0,9/2,2	1,0/2,0	0,8/1,6	2,0/5,2
20–40	«	0,6/1,6	0,7/1,9	0,8/1,9	0,8/1,8	1,4/3,8
40–60	«	0,7/2,0	0,7/1,9	0,6/1,4	0,6/1,4	1,3/3,7
60–80	«	0,4/1,2	0,6/1,7	0,9/2,2	0,7/1,7	1,0/2,9
80–100	«	0,6/1,9	0,6/1,8	0,6/1,6	0,7/1,7	0,6/1,9
0–100	«	9,3	9,5	9,1	8,2	17,5
2015 г., август						
0–20	Не опр.	1,6/4,2	Не опр.	3,7/7,5	3,4/6,9	2,0/5,2
20–40	«	1,4/3,8	«	3,0/7,0	3,0/6,9	1,4/3,8
40–60	«	1,3/3,7	«	2,8/6,7	3,1/7,3	1,3/3,7
60–80	«	0,0/0,0	«	0,0/0,0	0,0/0,0	1,0/2,4
80–100	«	0,0/0,0,0	«	0,00,0	0,0/0,0	0,6/1,9
0–100	«	11,7	«	21,2	21,1	17,0
2016 г., май						
0–20	Не опр.	1,4/3,9	Не опр.	2,2/5,7	4,6/12,0	2,7/7,0
20–40	«	1,8/4,9	«	3,4/9,3	5,0/13,6	2,3/6,3
40–60	«	1,9/5,5	«	1,6/4,6	2,9/8,4	1,6/4,6
60–80	«	2,4/9,9	«	1,7/4,7	2,0/5,8	2,1/12,0
80–100	«	1,8/5,8	«	1,5/4,9	1,8/5,8	1,8/5,8
0–100	«	30,0	«	29,2	45,6	35,7

1	2	3	4	5	6	7
Солонец корковый малонатриевый						
<i>2013 г., июнь</i>						
0–20	Не опр.	0,4/1,0	1,3/2,6			Не опр.
20–40	«	1,1/2,9	0,7/1,7			«
40–60	«	0,3/0,8	0,4/1,0			«
60–80	«	0,2/0,6	0,2/0,5			«
80–100	«	0,3/0,8	0,0/0,0			«
0–100	«	6,1	5,8			«

Примечание. В числителе – содержание нитратного азота, мг/кг; в знаменателе – запасы нитратного азота, кг/га.

* В многонатриевом солонце – 11 т/га, в малонатриевом – 18 т/га.

Содержание нитратов в вариантах с гипсом более чем в 2 раза превышало контроль. В целине оно в 1,8 раза больше, чем в контроле, и примерно такое же, как с дозой гипса 56 т/га.

Через 30 лет мелиоративного действия гипса (май 2016 г.) наибольшее содержание нитратного азота в слое 0–20 см коркового многонатриевого солонца отмечено при внесении гипса в дозе 56 т/га, которое более чем в 3 и 1,7 раза превышало контроль и целину соответственно. Обеспеченность им в слое 0–40 см соответствовала низкой в вариантах с гипсом и очень низкой в контроле и целине. Наибольшие запасы нитратного азота в метровой толще накапливались в варианте с гипсом в дозе 56 т/га, наименьшие – в дозе 45 т/га и контроле.

Внесение гипса 32 года назад в дозе 18 т/га в корковый малонатриевый солонец, использование его в пашне (1981–1995 гг.), а затем в залежи (1996–2013 г.) в 2013 гг. при близком уровне залегания грунтовых вод увеличивало содержание нитратного азота в слое 0–20 см почти в 3 раза (см. табл. 34). Обеспеченность азотом в слое 0–40 см была очень низкой, а его запасы как в слое 0–40, так и 0–100 см примерно одинаковы в почве обоих вариантов.

**Глубина залегания грунтовых вод в солонце корковом
многонатриевом и содержание в них нитратов**

Год	Вариант				Целина
	Контроль (без гипса)	гипс, т/га			
		11	45	56	
Глубина залегания грунтовых вод, см					
2015, весна	90,0	100,0	100,0	120,0	
2015, осень	170	170	170	170	170
2016, весна	110	Не опр.	110	110	110
Нитраты, мг/л					
2015, весна	2,6	1,0	0,5	0,7	3,4
2016, весна	1,2	Не опр.	Не опр.	2,5	2,2

Следовательно, растения на гипсованных солонцах нуждаются в ежегодном внесении азотных удобрений. Подобные результаты получены на гипсованных луговых и лугово-степных корковых солонцах смешанного типа засоления Омской области и свидетельствуют о необходимости дополнительного внесения азота и фосфора в разных соотношениях (Пономарёва, Конторина, 1974).

8.2. Фосфатный режим корковых солонцов при внесении гипса

Согласно представлениям многих исследователей (Соколов, 1950; Адерихин, 1970; Кук, 1975; Блэк, 1973; Гинзбург, 1981; Антипина, 1991; Христенко, 2004; Кушниренко, Брагин, 2005), минеральные фосфаты почвы по степени их участия в фосфорном питании растений представлены тремя большими группами, которые находятся между собой в постоянном обмене и динамическом равновесии.

1. Фосфаты почвенного раствора, полностью доступные растениям. Предполагают, что они интенсивно используются растениями в начальный период их роста и развития (Соколов, 1950; Карпинский, Замятина, 1958; Гинзбург, 1981; Olsen, Sommers, 1982, и др.). Важный показатель этой

фракции фосфора – фактор «интенсивности» (I), который характеризует степень подвижности запаса растворимых фосфатов почвы и выражается или величиной активной концентрации фосфат-ионов, извлекаемых слабосолевыми и водными вытяжками из твёрдой фазы почвы, или показателем энергии, необходимой для перехода фосфатов из твёрдой фазы почвы в раствор (фосфатный потенциал).

2. Фосфаты, способные в определённых условиях (главным образом при нарушении фосфатного равновесия между твёрдой и жидкой фазами почвы – при выносе фосфора растениями, внесении фосфорных удобрений) переходить путём самодиффузии в почвенный раствор. Они характеризуют общее «количество», «запас» подвижных фосфатов почвы, её фосфатную ёмкость (Q). Этот резерв почвенных фосфатов длительное время снабжает растения фосфором и определяется экстракцией разведёнными кислотами и щелочами, хроматографическим и другими методами. Величина фосфатного потенциала может служить одной из характеристик фосфатного режима почв (методы Кирсанова – ГОСТ 26207–91, Чирикова – ГОСТ 26204–91, Мачигина – ГОСТ 26206–91 и др.).

3. Труднорастворимые фосфаты, заключённые в минеральном скелете почвы в первичных и вторичных минералах. Они не участвуют в кинетическом обмене между твёрдой и жидкой фазами почвы. Это нерастворимый или фиксированный почвенными коллоидами фосфор, как правило, окклюдированный гидратами полутораоксидов, карбонатами, гипсом, т.е. находящийся не на поверхности, а во внутренних частях молекул почвенных минералов. В большинстве случаев эта фиксация обратима, и в определённых условиях фосфор может снова перейти в обменную форму, например, при чередовании увлажнения и иссушения коллоидов, растворяющего действия гумусовых соединений и т.п. Данная

фракция фосфора является резервом, пополняющим запасы фосфатов поверхности твёрдой фазы почвы.

Основным источником фосфорного питания растений в начальный период их роста и развития служит его легкодоступная форма (степень подвижности фосфора – I) (Карпинский, Замятина, 1958).

Ряд исследователей (Аникст, 1963; Заяц, 1972; Кирюшин и др., 1975; Зубарева, Парфёнов, 1982) указывали на ухудшение фосфатного режима солонцов при гипсовании, что сказывается на снижении легкодоступного фосфора (I).

Нами ранее в лабораторных и полевых опытах установлена такая же закономерность (Галеева, 1991; Семендяева и др., 1992, 1993). С увеличением дозы гипса содержание легкодоступного фосфора в солонце корковом многонатриевом уменьшалось во все годы исследований в 1,1–2,6 раза за счёт выноса фосфора растениями и связывания фосфат-иона катионом кальция гипса в менее доступные формы (табл. 36). При этом обеспеченность растений данной формой фосфора существенно превышала оптимальную за счёт внесения в почву двойного суперфосфата в 1986 г. (90 кг д.в/га) и в 1990–1995 гг. (40 кг д.в/га).

Таблица 36

Влияние однократного внесения гипса и фосфорных удобрений на динамику легкодоступного фосфора (I) в корковых солонцах, мг P_2O_5 /кг почвы (слой 0–20 см)

Год	Вариант				Целина
	контроль (без гипса)	гипс, т/га			
		11 (18) *	45	56	
1	2	3	4	5	6
Солонец корковый многонатриевый					
1986, исходное	2,3	1,6	1,1	1,7	Не опр.
1987, осень	3,7	2,8	1,6	1,2	«
1988, весна	2,7	2,8	2,8	1,0	«
1988, осень	3,1	1,9	0,9	0,9	«
1989, весна	2,2	2,0	1,6	1,6	«

Окончание табл. 36

1	2	3	4	5	6
1989, осень	2,8	1,8	1,3	1,2	«
1990, весна	2,8	3,0	1,3	1,4	«
1990, осень	2,5	1,8	1,1	1,3	«
2013, весна-лето	0,2	0,2	0,9	0,2	1,8
2015, весна	0,2	0,5	0,9	0,4	0,5
2015, осень	0,0	Не опр.	0,6	0,0	Не опр.
2016, весна	0,7	«	2,0	1,7	4,3
<i>Грунтовые воды, мг/л</i>					
2015, весна	0,4	0,1	0,4	0,2	Не опр.
2016, весна	0	0	0	0	0
<i>Солонец корковый малонатриевый</i>					
2013, весна-лето	1,0	1,8	Не опр.	Не опр.	Не опр.

*В многонатриевом солонце – 11 т/га, в малонатриевом – 18 т/га.

Позже, в условиях длительного отсутствия применения фосфорных удобрений (1996–2013 гг.), содержание легкодоступного фосфора в слое 0–20 см залежи коркового многонатриевого солонца было низким в контроле и вариантах со всеми дозами гипса, кроме 45 т/га, где оно было повышенным и очень высоким под целиной.

В июне 2015 г. содержание этой формы фосфора с увеличением дозы гипса с 11 до 45 т/га возрастало, превышая в 3–6 раз таковое в контроле. Обеспеченность им изменялась от средней до повышенной, а в контроле – низкая. Под целиной содержание легкодоступного фосфора высокое. Ближе к осени он был обнаружен в почве только в варианте с дозой гипса 45 т/га, где обеспеченность им была средней.

В солонце корковом малонатриевом содержание легкодоступного фосфора соответствовало высокой обеспеченности. В варианте с гипсом (18 т/га), внесённым 32 года назад, его количество почти в 2 раза превышало контроль (см. табл. 36).

В грунтовых водах содержание легкодоступного фосфора весной 2015 г. в вариантах со всеми дозами гипса было высоким, кроме 11 т/га. В поверхностных водах, отобран-

ных рядом с опытом, оно среднее, а в лесном колке – высокое (0,1 и 0,4 г/л соответственно). Весной следующего года этой формы фосфора в грунтовых водах не было обнаружено совсем.

По мере развития корневой системы культурных растений, на более поздних стадиях их роста и развития, особое значение в их питании приобретает подвижный фосфор (фосфатная ёмкость Q – по Мачигину; ГОСТ 26206–91).

Содержание подвижного фосфора (Q) при закладке опыта на солонцах корковых многонатриевых в 1986 г. было низким, что побудило нас внести фосфорные удобрения в дозе 90 кг д.в./га. Разовое внесение возрастающих доз гипса в корковый многонатриевый солонец на фоне фосфорных удобрений увеличивало в 1,1–2,5 раза количество подвижного фосфора в слое 0–20 см (табл. 37). При этом за период 1986–1989 гг. за счёт выноса урожаем оно было ниже оптимального значения, а на 4–5-й год внесения мелиоранта и фосфорных удобрений (P_{40}) достигало и превышало его.

Длительное отсутствие применения удобрений (1996–2013 гг.) на фоне одноразового внесения гипса 30 лет назад снизило содержание подвижного фосфора в 2013 г. за счёт выноса его травами. Обеспеченность им была очень низкой и низкой, в то время как в целине – средней (см. табл. 37).

В июне 2015 г. при высоком стоянии грунтовых вод содержание подвижного фосфора существенно возросло во всём профиле почвы, но при этом было очень низким в контроле и при дозе гипса 11 т/га, средним – при 56 т/га и повышенным – при 45 т/га и в целине. Ближе к осени, в связи с выносом фосфора травами, его содержание очень низкое в контроле и варианте с гипсом 45 т/га и среднее – с гипсом 56 т/га.

Таблица 37

**Влияние однократного внесения гипса и фосфорных удобрений
на динамику подвижного фосфора в солонцах корковых,
мг P_2O_5 /кг почвы (слой 0–20 см)**

Год	Вариант				Целина
	контроль (без гипса)	гипс, т/га			
		11 (18) *	45	56	
Солонец корковый многонариевый					
1986, исходное	16,0	11,9	14,4	14,7	Не опр.
1987, осень	35,2	34,9	25,7	31,7	«
1988, весна	24,8	21,9	22,0	24,0	«
1988, осень	22,9	19,4	17,3	21,1	«
1989, весна	36,7	37,4	49,2	50,5	«
1989, осень	39,6	41,8	41,2	45,0	«
1990, весна	41,9	47,6	45,0	48,4	«
1990 осень	38,5	34,3	38,4	39,6	«
2013, весна-лето	1,5	2,4	12,4	3,2	20,6
2015, весна	3,4	7,6	45,2	26,6	34,0
2015, осень	2,6	Не опр.	7,8	17,2	Не опр.
Солонец корковый малонариевый					
2013, весна-лето	10,2	12,4	Не опр.	Не опр.	Не опр.

*В многонариевом солонце – 11 т/га, в малонариевом – 18 т/га.

Содержание подвижного фосфора в корковом малонариевом солонце в 2013 г. было очень низким. Однократное внесение гипса в дозе 18 т/га незначительно повышало количество этой формы фосфора в слое 0–20 см, но обеспеченность им была низкой (см. табл. 37).

С. М. Драчёвым (1928), Ю. А. Кудеяровой и Г. В. Поляковой (1971) дано понятие буферности почв по отношению к фосфору. Буферность почв характеризует способность системы противостоять изменениям под влиянием внешних факторов и определяется отношением доступных запасов фосфора (Q , мг/100 г почвы) к равновесной концентрации фосфора в почвенном растворе или интенсивности (I , мг P_2O_5 /л). При широком отношении этих показателей система «работает на себя», т. е. происходит значительное поглоще-

ние фосфора почвой, которая выступает как конкурент растению. Поэтому коэффициенты использования P_2O_5 растениями из удобрений очень низкие. Узкое отношение $Q : I$ в почве создаёт благоприятные условия для питания сельскохозяйственных культур фосфором.

Согласно данным многолетних исследований Л. П. Антипиной (1989, 1991), наличие солей натрия и магния в засоленных почвах Барабинской равнины определяет повышенную интенсивность запасов фосфора в них – 0,2 мг/л и благоприятный качественный состав его минерального фонда ($Q : I = 92$).

В исходном состоянии солонец многонатриевый корковый обладал хорошими условиями питания растений фосфором (табл. 38). Гипсование, несмотря на применение фосфорных удобрений (P_{90}), с увеличением дозы мелиоранта ухудшало фосфатное состояние солонца. В конце первой ротации севооборота «пар – озимая рожь – пшеница – овёс – овёс» (1989–1990 гг.) лучшие условия питания растений фосфором складывались в варианте с гипсом 11 т/га и контроле. Гипс, внесённый в повышенных дозах, уменьшал доступность фосфора связыванием его с кальцием гипса. В этой связи, начиная со второй ротации севооборота (1991–1995 гг.), ежегодно вносили фосфорные удобрения (P_{40}).

В дальнейшем, при переходе пашни в залежь (1996–2015 гг.), фосфатное состояние корковых многонатриевых солонцов заметно ухудшалось в варианте без гипсования. В вариантах с мелиорантом в 2013 г. создавались лучшие условия для питания растений фосфором (см. табл. 38). В начале лета 2015 г. при близком стоянии грунтовых вод повышалась растворимость почвенных фосфатов, которые активно поглощала почва. Наилучшие условия питания растений фосфором складывались в варианте с гипсом 11 т/га

и в контроле. В вариантах с большими дозами гипса и в целине отмечено ухудшение условий питания растений фосфором. Несмотря на это, фосфатное состояние почвы в этих вариантах определяло благоприятный качественный состав их минерального фонда. К осени легкодоступный фосфор, а значит и лучшее фосфатное состояние почв, отмечены только в варианте с гипсом в дозе 45 т/га, что связано с выносом фосфора биомассой донника, а также опусканием грунтовых вод.

Таблица 38

Изменение фосфатного состояния (Q : I) корковых солонцов при гипсовании и внесении фосфорных удобрений, слой 0–20 см

Год	Вариант				Целина
	контроль (без гипса)	гипс, т/га			
		11 (18) *	45	56	
Солонец корковый многонатриевый					
1986, исходное	5	4	6	4	Не опр.
1987, осень	5	8	8	15	«
1988, весна	5	6	9	14	«
1988, осень	4	6	10	13	«
1989, весна	8	10	16	14	«
1989, осень	7	8	16	18	«
1990, весна	8	9	19	20	«
1990 осень	9	11	20	17	«
2013, весна-лето	15	5	3	9	6
2015, весна	11	8	25	34	34
2015, осень	Не опр.	Не опр.	7	Не опр.	Не опр.
Солонец корковый малонатриевый					
2013, весна-лето	5	4	Не опр.	Не опр.	Не опр.

Примечание. *В многонатриевом солонце – 11 т/га, в малонатриевом – 18 т/га.

В корковых малонатриевых солонцах наблюдались хорошие условия питания растений фосфором. Гипсование поддерживало фосфатное состояние почв даже по истечении 32 лет.

Следовательно, одноразовое внесение гипса в корковый многонатриевый солонец 30 лет назад на фоне применения

фосфорных удобрений приводит к резкому дефициту азота при глубоком залегании грунтовых вод и увеличивает его содержание при близком стоянии их к поверхности. Наилучшие условия азотного питания растений складываются при внесении гипса в дозе 45 т/га. При этом обеспеченность растений азотом очень низкая, что требует обязательного внесения азотных удобрений. Содержание легкодоступного и подвижного фосфора при гипсовании уменьшается. Оптимальное фосфатное состояние в почве складывается также при внесении гипса в дозе 45 т/га, при которой сохранялись более благоприятные условия для питания сельскохозяйственных культур фосфором.

Одноразовое внесение гипса в дозе 18 т/га в корковый малонатриевый солонец 32 года назад при использовании его в пашне и последующем переходе почвы в залежь в течение 18 лет более чем в 3 раза повышало содержание нитратного азота по сравнению с контролем. При этом обеспеченность им растений была очень низкой. Количество легкодоступного и подвижного фосфора при гипсовании малонатриевого солонца возрастало, улучшая условия питания растений фосфором, но обеспеченность им также была низкой.

8.3. Обменный калий в солонцах при гипсовании

Достаточное содержание калия в почве уменьшает поражаемость растений болезнями и повреждаемость вредителями, повышает устойчивость их к полеганию, заморозкам и повышенным температурам, неблагоприятным условиям водного режима. Сбалансированное калийное питание растений повышает качество продукции, уменьшает потери при хранении, способствует более экономному расходованию растениями влаги, азота и фосфора при формировании единицы товарной урожайности (Важенин, 1959; Пчёлкин,

1966; Ониани, 1981; Якименко, 2003; Державин, 2007; Середа и др., 2009).

Потребность всех культур в калийных удобрениях и их эффективность проявляется обычно только при одновременном достаточном внесении азотных и фосфорных удобрений (Муравин, 2004).

Одноразовое внесение возрастающих доз гипса в корковый многонатриевый солонец увеличивало содержание обменного калия по всему профилю (табл. 39). В слое 0–20 см 18-летней залежи (1996–2013 гг.) наибольшим оно было в варианте с внесением гипса в дозе 11 и 56 т/га и во всех вариантах соответствовало средней обеспеченности калием. Под целиной содержание обменного калия наибольшее и соответствовало высокой обеспеченности.

Дальнейшее нахождение гипсованных многонатриевых солонцов в залежи под донником способствовало накоплению обменного калия как в слое 0–20 см, так и в профиле почвы. В июне 2015 г. содержание калия в слое 0–20 см изменялось в пределах «повышенное – высокое», за исключением варианта с гипсом 11 т/га. Наибольшим оно было в варианте с гипсом 45 т/га и близким к таковому в целине. К уборке донника количество обменного калия больше всего уменьшалось в вариантах с гипсом 56 и 45 т/га, что связано с его выносом наибольшей урожайностью зелёной массы. В контроле, наоборот, содержание обменного калия возрастало за счёт меньшего выноса урожайностью. Обеспеченность растений обменным калием во всех вариантах повышенная.

Разовое внесение гипса в дозе 18 т/га в малонатриевый корковый солонец при использовании его в течение 15 лет в пашне, а затем в залежи уменьшало содержание обменного калия. Обеспеченность им растений изменялась от повышенной до средней.

Таблица 39

**Распределение содержания обменного калия в профиле корковых
солонцов при однократном внесении гипса (K_2O , мг/кг)**

Слой, см	Вариант				Целина
	контроль (без гипса)	гипс, т/га			
		11 (18) *	45	56	
Солонец корковый многонариевый					
2013 г., июнь					
0–20	232,0	280,0	238,0	266,0	428,0
20–40	204,0	244,0	256,0	254,0	214,0
40–60	178,0	192,0	214,0	212,0	176,0
60–80	172,0	184,0	180,0	178,0	Не опр.
80–100	164,0	190,0	168,0	200,0	«
2015 г., июнь					
0–20	332,0	272,0	407,0	364,0	393,0
20–40	287,0	209,0	347,0	265,0	340,0
40–60	310,0	294,0	347,0	272,0	364,0
60–80	272,0	287,0	304,0	250,0	272,0
80–100	258,0	287,0	287,0	287,0	279,0
2015 г., август					
0–20	364,0	Не опр.	333,0	310,0	Не опр.
20–40	294,0	Не опр.	279,0	304,0	«
40–60	304,0	Не опр.	333,0	265,0	«
60–80	279,0	Не опр.	250,0	272,0	«
80–100	272,0	Не опр.	258,0	250,0	«
Солонец корковый малонариевый					
2013 г., июнь					
0–20	338,0	256,0			Не опр.
20–40	410,0	254,0			«
40–60	334,0	276,0			«
60–80	242,0	200,0			«
80–100	210,0	182,0			«

Примечание. Исходное содержание K_2O (1986 г.) в слое 0–20 см – 17,0 в слое 20–40 см – 224,0 мг/кг.

*В многонариевом солонце – 11 т/га, в малонариевом – 18 т/га.

9. ВЛИЯНИЕ МЕЛИОРАЦИИ НА УРОЖАЙНОСТЬ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР

На многонатриевом корковом солонце за счёт большего содержания обменного натрия урожайность озимой ржи и пшеницы в контроле была на порядок меньше, чем овса на малонатриевом (табл. 40, 41). С увеличением продолжительности использования почвы в пашне урожайность последующих культур севооборота (овса) в контроле возрастала в 2,5–5 раз. Это обусловлено не только улучшением агрономических свойств солонца в процессе использования в пашне, но и биологией овса, обладающего повышенной солонце- и солеустойчивостью.

Таблица 40

Влияние одноразового внесения гипса в корковый многонатриевый солонец на урожайность сельскохозяйственных культур, ц/га

Год	Сельскохозяйственная культура		Контроль (без гипса)	Доза гипса, т/га		
				11	45	56
1987	Озимая рожь	Пашня	0,3	<u>3,5</u> 3,2	<u>7,7</u> 7,4	<u>9,5</u> 9,2
1988	Пшеница		0,7	<u>3,5</u> 2,8	<u>10,6</u> 9,9	<u>12,2</u> 11,5
1989	Овёс		1,7	<u>3,6</u> 1,9	<u>6,6</u> 4,9	<u>9,5</u> 7,8
1990	Овёс		1,6	<u>3,9</u> 2,3	<u>13,4</u> 11,8	<u>13,2</u> 11,6
2008	Донник с 1996 г.	Залежь	17,3	<u>23,8</u> 6,5	<u>44,5</u> 27,2	<u>65,0</u> 47,7
2012			3,5	<u>4,4</u> 0,9	<u>10,8</u> 7,3	<u>26,8</u> 23,3
2013			19,3	<u>26,6</u> 7,3	<u>35,4</u> 16,1	<u>41,3</u> 22,0
2015			28,2	<u>23,6</u> –4,6	<u>65,7</u> 37,5	<u>70,6</u> 42,4
2016			13,1	<u>28,4</u> 15,3	<u>32,0</u> 18,9	<u>44,0</u> 30,9

Примечание: В числителе – урожайность; в знаменателе – прибавка к контролю.

Внесение возрастающих доз гипса в многонатриевый корковый солонец на порядок и более повышало урожайность культур севооборота во все годы исследований. Наибольшая и достоверная прибавка урожайности культур севооборота получена при внесении гипса в дозах 56 и 45 т/га. Урожайность донника на длительной залежи при всех дозах одноразового внесения гипса зависела от тепло- и влагообеспеченности вегетационного периода. Так, в 2008 г., оптимальном по тепло- и влагообеспеченности, наибольшая урожайность донника получена при внесении гипса в дозе 56 т/га. При этом в других вариантах она также была высокой и в 1,4 и 2,6 раза превышала контроль. В 2012-м – жарком и засушливом году, урожайность донника была в 2,4–5,5 раза меньше, чем в 2008 г., и возрастала с увеличением дозы, а наибольшая прибавка получена в варианте с гипсом 56 т/га. Вегетационный период 2013 г. был тёплым и избыточно увлажнённым, наибольшая прибавка урожайности также получена в варианте с внесением гипса 56 т/га (25 % к контролю).

Вовлечение коркового малонатриевого солонца в пашню, улучшая его физические, физико-химические свойства и доступность элементов питания, повышало урожайность овса (см. табл. 41). С увеличением длительности использования почвы в пашне урожайность возрастала на 20–30 %. Внесение гипса в дозе 18 т/га повышало урожайность овса на 11–49 %. Наименьшая прибавка урожайности при гипсовании малонатриевого солонца получена в 1989 г., который характеризовался резким дефицитом осадков (в 1,7 раза меньше среднемноголетних) и повышенной температурой (на 0,9 °C выше среднемноголетней).

При переходе пашни в течение 18 лет в залежь мелиоративный эффект одноразового внесения гипса в корковый малонатриевый солонец сохранялся, урожайность естественных трав здесь превышала контроль на 34–40 %.

Следовательно, наибольшая эффективность одnorазового внесения гипса на корковых мало- и многонатриевых солонцах проявлялась как в пашне, так и длительное время сохранялась в последующей залежи, резко повышая урожайность естественных трав и донника.

Таблица 41

Влияние одnorазового внесения гипса в корковый малонатриевый солонец на урожайность сельскохозяйственных культур, ц/га

Год	Сельскохозяйственная культура		Контроль (без гипса)	Гипс 18 т/га	Прибавка*
1987	Овёс	Пашня	11,4	16,9	$\frac{5,5}{48}$
1988	Овёс		13,2	20,4	$\frac{6,7}{49}$
1989	Овёс		14,9	16,6	$\frac{1,7}{11}$
1990	Овёс		Не учтена		Не учтена
2012	Естественные травы 18 лет (сено)	Залежь	27,3	36,6	$\frac{9,3}{34}$
2013			19,9	22,8	$\frac{3,0}{15}$

* Прибавка урожайности к контролю: в числителе – ц/га, в знаменателе –%.

Гипсование малонатриевого коркового солонца, проведённое 32 года назад, способствовало существенному увеличению содержания нитратного азота, повышению легкодоступного и подвижного фосфора, создавая лучшие условия питания растений фосфором, хотя обеспеченность растений элементами питания оставалась низкой. Это требует обязательного внесения азотных и фосфорных удобрений. Количество обменного калия при гипсовании уменьшалось, а обеспеченность им растений изменялась от повышенной до средней.

Одноразовое внесение гипса в многонатриевый корковый солонец 30 лет назад, наоборот, уменьшило содержание нитратного азота, снижало содержание легкодоступного

и подвижного фосфора, обеспеченность ими была низкой. Следовательно, возделывание культурных растений на корковых многонатриевых гипсованных солонцах требует обязательного внесения азотных и фосфорных удобрений. Содержание обменного калия в залежи при гипсовании изменялось от средней до повышенной обеспеченности.

Полученные данные свидетельствуют о более выраженном мелиоративном эффекте в малонатриевом солонце, что обусловлено меньшим содержанием в нём обменного натрия.

Наибольшая эффективность однократного внесения гипса на корковых мало- и многонатриевых солонцах проявлялась как в пашне, так и длительное время сохранялась в последующей залежи, повышая с увеличением дозы гипса урожайность естественных трав и донника в 1,4–3,8 раза в нормальный по тепло- и влагообеспеченности год и в 1,4–8,5 раза – в жаркий и засушливый. В тёплый и избыточно увлажнённый год разница в урожайности между вариантами была незначительной.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Барабинская равнина (Бараба) занимает 65,5 % территории Новосибирской области, или около 11 700 тыс. га. Для неё характерны гривно-равнинный рельеф с чётко выраженным микрорельефом, близкое залегание и значительная амплитуда колебания (до 3 м и более) уровня минерализованных грунтовых вод как по годам, так и в течение одного вегетационного периода, бессточность территории, карбонатность и засоленность почвообразующих пород.

Грунтовые воды принимают активное участие в почвообразовательном процессе. Тип засоления их различный и изменяется с севера на юг от гидрокарбонатного и содового до смешанного и нейтрального. С увеличением сухости климата и засоленности пород степень минерализации грунтовых вод возрастает. Данные природные особенности вызывают развитие солончакового, солонцового, осолодевшего, глеевого и других почвообразовательных процессов, которые накладываются на ведущие зональные процессы (подзолообразовательный и дерновый), формируя сложный, комплексный почвенный покров.

Солонцами, солонцеватыми почвами и их комплексами представлены 3686,2 тыс. га почвенного покрова территории, которые не образуют сплошных массивов, а формируются пятнами различной величины и конфигурации среди зональных почв и входят в состав пашни, сенокосов и пастбищ. Солонцы обладают отрицательными физическими и физико-химическими свойствами и снижают плодородие всего массива. По запасам питательных веществ они потенциально плодородны и при окультуривании позволяют получать на них высокие и устойчивые урожаи сельскохозяйственных культур хорошего качества. Солонцы являются одним из резервов сельскохозяйственного производства, повышению плодородия которых в 1970–

1996 гг. уделялось большое внимание как в научном, так и в практическом плане.

Освоение солонцов в Барабе проводилось в нескольких направлениях. На сенокосах и пастбищах внедрялась их послойная обработка, которая позволяла повысить урожайность сена сеяных солеустойчивых трав на 10–15 ц/га в течение 5–6 лет. Химическая мелиорация, проводимая на пашне в лесостепной зоне, позволила надолго и значительно повысить плодородие солонцов. Урожайность зерновых культур устойчиво возрастала на 8–10 ц/га, а силосных – на 100 ц/га и более. В степной зоне применялась самомелиорация (плантажная и ярусная вспашка) – вовлечение в пахотный слой внутрипочвенных скоплений карбонатов и гипса. Они оказывают такое же мелиоративное действие, как и внесенный гипс. В Алтайском крае для улучшения свойств солонцов применяли землевание.

Наиболее эффективным и долговременным приемом повышения плодородия солонцов, особенно в пашне, является химическая мелиорация – внесение гипса и фосфогипса. На территории Новосибирской области за период с 1984 по 1996 г. промелиорировано около 36 тыс. га солонцов, Омской области – около 250 тыс. га.

Изучение длительности действия однократного внесения различных доз гипса на солонцах корковых много- и малонатриевых показало, что мелиоративный эффект сохранялся в течение 30–35 лет и оказывал существенное влияние на изменение морфологического профиля мелиорированных солонцов, в то время как в немелиорированных солонцах при переходе их в течение 20 лет из пашни в залежь в их бывшем пахотном горизонте восстановился солонцовый иллювиальный столбчато-ореховатый горизонт. Скорость его восстановления в много- и малонатриевых солонцах примерно одинакова. Гипс, внесённый в дозах

45 и 56 т/га, способствовал созданию пахотного горизонта ($A_{\text{пах}}$) комковато-зернистой структуры, оказывал длительное положительное влияние на весь 100-сантиметровый профиль солонца.

Под действием одноразового внесения гипса в профиле солонцов произошли изменения в перераспределении механических элементов гранулометрического состава – уменьшилось содержание илистой фракции и физической глины. Солонцы корковые эволюционировали в тип луговых и чернозёмно-луговых почв различной степени солончаковатости и солонцеватости. Мелиоративный эффект возрастал с увеличением дозы гипса (мелиоранта).

При внесении повышенных доз гипса физические свойства много- и малонатриевых солонцов (плотность твердой фазы, плотность почвы и общая пористость) находились в интервале, оптимальном для возделывания сельскохозяйственных культур.

При вовлечении солонцов в сельскохозяйственный оборот содержание гумуса в слое 0–20 см за счёт усиления процессов минерализации гумусовых веществ снижалось. При длительном залужении корковых мелиорированных солонцов (более 20 лет) содержание в них гумуса увеличилось до 5%, а в варианте без внесения гипса оно составляло 3,6%. Тип гумуса в слоях 0–20 и 20–40 см пахотного солонца в контроле и целинного – фульватный (соотношение $C_{\text{г.к.}} : C_{\text{ф.к.}} = 0,3$), а в вариантах с гипсом – фульватно-гуматный и приближался к типу гумуса зональной лугово-чернозёмной почвы. В варианте без внесения гипса во фракционном составе гумуса 10% от общего содержания углерода приходилось на фракцию ГК-2 (ГК, связанные с кальцием). В мелиорированных солонцах с увеличением дозы гипса процентное содержание данной фракции возросло практически в 2 раза и более (18–28% от общего содержания углерода). Наибольшее

содержание негидролизуемого остатка отмечено в целинном солонце корковом (33,5–60,6% от общего содержания углерода в почве). При сельскохозяйственном использовании его количество уменьшилось как в контроле, так и в вариантах с мелиорантом. В лугово-черноземной солонцеватой почве негидролизуемый остаток составил 13–14%.

Положительное действие гипса в солонцах продолжало сохраняться в течение 30–35 лет и более после его внесения при сравнительно одинаковом уровне залегания грунтовых вод (глубже 2,5 м) и в залежном состоянии. В первые годы взаимодействия мелиоранта с почвой в ней интенсивно протекал процесс обмена катионов натрия в ППК на катионы кальция гипса. Это способствовало резкому увеличению содержания солей, в первую очередь, сульфатов натрия, которые, передвигаясь по профилю, достигали грунтовых вод и увеличивали их минерализацию. В последующие годы при сравнительно стабильном уровне залегания минерализованных грунтовых вод усиливалось рассоление профиля мелиорированных солонцов.

При резком подъёме грунтовых вод (до 50 см) произошло вторичное засоление почвенного профиля. В малонатриевых солонцах оно выражено сильнее, чем в многонатриевых, так как в них более интенсивно протекали мелиоративные процессы, создавая условия для более существенного поглощения солей. При этом в мелиорированных солонцах содержание общего и обменного натрия в 5–7 раз меньше, чем в контроле. Между солевым составом грунтовых вод и водной вытяжки мелиорированных солонцов, от нижних слоев к верхним, установлена тесная корреляционная связь ($r_{xy} = 0,91–0,99$). В годы с избыточным увлажнением в слоях 0–20 и 20–40 см корреляция между этими показателями заметно снижалась за счёт промывки почвы атмосферными осадками ($r_{xy} = 0,24–0,57$).

При вовлечении солонцов в пашню даже без внесения мелиорантов происходило снижение общего натрия (обменного и водорастворимого). Чем больше натрия содержалось в профиле, тем легче он вымывался. После прекращения использования солонцов в пашне содержание натрия в контроле в течение 10 лет постепенно восстановилось до исходного. Низкая доза гипса (1/4 от полной нормы) оказала слабое мелиоративное действие, поэтому плодородие почвы в этом варианте было на уровне контроля.

Вытеснение обменного натрия из ППК солонцов при мелиорации – процесс постепенный и длительный, продолжающийся в течение десятков лет. Кальций гипса, внесённого в почву в дозе, рассчитанной на полное вытеснение обменного натрия, практически полностью удаляет его из ППК солонцов при залегании грунтовых вод не выше 250 см. При поднятии грунтовых вод в профиле солонцов возрастает содержание общего натрия, главным образом за счёт обменных форм. В контрольных вариантах и в вариантах с небольшой дозой гипса оно значительно выше, чем в вариантах с гипсом. После снижения уровня грунтовых вод содержание общего натрия в профиле уменьшалось. В вариантах с повышенными дозами гипса при вторичном засолении мелиоративный эффект сохранялся. Последующее опускание грунтовых вод и промывка профиля атмосферными осадками уменьшали содержание натрия во всех вариантах.

Использование в качестве расчётного показателя доз гипса обменного натрия представляет определённые трудности из-за его динамичности. Поэтому отбор почвенных образцов рекомендуется проводить в августе – сентябре, в связи с тем, что содержание общего натрия в это время возрастает. Следует отбирать средние образцы, составленные из семи или более индивидуальных образцов, собранных по двум взаимно-перпендикулярным линиям.

Одноразовое внесение гипса в солонцы усиливает их биогенность. В мелиорированных солонцах в 1,5–2 раза возрастает обилие отдельных групп микроорганизмов, накапливающих доступные для растений азот- и углеродсодержащие вещества, уменьшая численность олигонитрофилов и 27–70 % фитотоксинов. В слое 0–20 см активизируется микробиологическое превращение растительных остатков в органическое вещество, что свидетельствует об усилении дернового процесса. В мелиорированных солонцах восстановительная ветвь круговорота серы функционирует слабее, чем в контроле, что снижает содержание токсичных сульфат-ионов в слое 0–40 см. Улучшаются условия аэрации и воздухообмена.

Одноразовое внесение гипса в солонцы корковые при использовании их в пашне и в последующей залежи повышает в них содержание нитратного азота по сравнению с контролем более чем в 3 раза, но при этом обеспеченность им растений остаётся очень низкой. Количество легкодоступного и подвижного фосфора возрастает, но обеспеченность им также низкая. Обеспеченность растений обменным калием изменялась от повышенной до средней. Поэтому для повышения урожайности сельскохозяйственных культур на мелиорированных солонцах необходимо внесение азотных и фосфорных удобрений.

Гипс, внесённый 30 лет назад, повышал урожайность как сельскохозяйственных культур в пашне, так и донника в залежный период. Урожайность последнего возрасла с увеличением дозы гипса. В отдельные годы прибавка сбора сена к контролю составляла 127–144 %.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Агрофизические* методы исследования почв. – М.: Наука, 1966. – 258 с.
2. *Агрохимические* методы исследования почв / отв. ред. А. В. Соколов. – М.: Наука, 1975. – 656 с.
3. *Адерихин П. Г.* Фосфор в почвах и земледелии центрально-чернозёмной полосы / П. Г. Адерихин. – Воронеж: Изд-во ВГУ, 1970. – 248 с.
4. *Аникст Д. М.* Подвижность фосфора в солонцовых почвах Заволжья: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук / Д. М. Аникст. – М., 1963. – 18 с.
5. *Антипина Л. П.* Проблема фосфора в земледелии Западной Сибири / Л. П. Антипина // Сб. научн. тр. / ВАСХНИЛ. Сиб. отд-ние. – Новосибирск, 1989. – С. 110–128.
6. *Антипина Л. П.* Фосфор в почвах Сибири: автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук. / Л. П. Антипина. – Омск, 1991. – 32 с.
7. *Антипов-Каратаев И. Н.* Вопросы происхождения и географического распространения солонцов / И. Н. Антипов-Каратаев // Мелиорация солонцов в СССР. – М.: Изд-во АН СССР, 1953. – 266 с.
8. *Аристовская Т. В.* Экспресс-метод определения биологической активности почвы / Т. В. Аристовская, М. В. Чугунова // Почвоведение. – 1989. – № 11. – С. 142–147.
9. *Атлас* Новосибирской области / Федерал. служба геодезии и картографии России. – М.: Роскартография, 2002. – 56 с.
10. *Атлас* Омской области / Федерал. служба геодезии и картографии России. – М.: Роскартография, 1997. – 56 с.
11. *Базилевич Н. И.* Почвы черноземной зоны засушливой, умеренно-засушливой и колючной степи / Н. И. Базилевич, П. И. Шаврыгин // Почвы Алтайского края. – М.: Изд-во АН СССР, 1954. – Т. 42. – С. 172–273.
12. *Базилевич Н. И.* Геохимия почв содового засоления / Н. И. Базилевич. – М.: Наука, 1965. – 351 с.

13. *Структура, функционирование, эволюция системы биогеоценозов Барабы* / Н.И. Базилевич, Р.В. Ковалев [и др.] – Новосибирск: Наука, 1974. – Т. 1. – 307 с.; 1976. – Т. 2. – 496 с.

14. *Балашова Л.П.* Качественный состав гумуса солонцов равнинной левобережной части Алтайского края: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук / Л.П. Балашова. – Новосибирск, 1972. – 16 с.

15. *Березин Л.В.* Определение доз гипса для мелиорации солонцов методом донасыщения / Л.В. Березин, Н.Д. Градобоев, В.Ф. Градобоева // Химия в сельском хозяйстве. – 1971. – № 7. – С. 73–74.

16. *Березин А.В.* Определение доз гипса для мелиорации солонцов методом донасыщения / Л.В. Березин, В.Ф. Градобоев, В.С. Елкина // Почвы Омской области и эффективность удобрений: науч. тр. ОмСХИ. – 1973. – Т. 113. – С. 33–38.

17. *Березин Л.В.* Целесообразно ли повторно гипсовать солонцовые почвы? / Л.В. Березин // Сибирский фермер. – 2003. – № 8. – С. 12–15.

18. *Березин Л.В.* Мелиорация и использование солонцов Сибири / Л.В. Березин. – Омск, 2005. – 206 с.

19. *Березин Л.В.* Нерешенные вопросы солонцовой проблемы / Л.В. Березин // Развитие почвоведения и проблемы рационального использования почв Сибири: материалы междунар. науч.-практ. конф. – Омск, 2013. – С. 39–45.

20. *Бобров В.А.* Вариабельность основных морфологических и мелиоративных параметров солонцов в связи с некоторыми вопросами методики почвенно-мелиоративного обследования и проектирования мероприятий / В.А. Бобров // Новое в мелиорации солонцов. – Омск, 1973. – С. 21–22.

21. *Богданов Н.И.* Особенности почвенного покрова и эволюция почв Западной Сибири: учеб. пособие / Н.И. Богданов. – Омск: ОмСХИ, 1977. – 60 с.

22. *Бурлакова Л. М.* Динамика подвижных форм азота в чернозёмно-луговой и серой лесной почвах / Л. М. Бурлакова // Тр. Том. ун-та. – 1957. – Т. 140. – С. 202–213.

23. *Блэк К. А.* Растение и почвы / К. А. Блэк. – М.: Колос, 1973. – 392 с.

24. *Вагина Т. А.* Луга Барабы / Т. А. Вагина. – Новосибирск, 1962. – 197 с.

25. *Вагина Т. А.* Генезис и структура солонцовых степей Барабы / Т. А. Вагина // Степная растительность Сибири и некоторые черты ее экологии. – Новосибирск, 1982. – С. 108–111.

26. *Вадюнина А. Ф.* Методы исследований физических свойств почв и грунтов / А. Ф. Вадюнина, З. А. Корчагина. – М.: Высш. шк., 1973. – 398 с.

27. *Важенин И. Г.* О формах калия в почве и калийном питании растений / И. Г. Важенин, Г. И. Карасёва // Почвоведение. – 1959. – № 3. – С. 11–21.

28. *Витман Р. А.* Химизм засоления и некоторые вопросы происхождения солонцов Омской области: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. / Р. А. Витман. – Омск, 1973. – 21 с.

29. *Витман Р. А.* Роль грунтовых вод в солонцовом почвообразовательном процессе / Р. А. Витман // Тр. ОмСХИ. – 1975. – Т. 140. – С. 35–37.

30. *Волков И. А.* О возрасте верхней толщи западной части Обь-Иртышского междуречья / И. А. Волков, В. С. Волкова, Е. Е. Гуртовая // Плейстоцен Сибири и смежных областей. – М.: Наука, 1973. – С. 40–46.

31. *Воропаева З. И.* Особенности солевого режима и динамики обменных оснований мелиорированных солонцов Западной Сибири: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук / З. И. Воропаева. – Новосибирск, 1990. – 22 с.

32. *Воропаева З. И.* К обоснованию выбора экономически целесообразного метода расчета доз мелиорантов на со-

лонцах с различным содержанием натрия / З.И. Воропаева // Почвоведение. – 2010. – № 1. – С. 106–115.

33. *Воропаева З.И.* Изменение свойств коркового солонца содового засоления при проведении однократной и повторной мелиорации фосфогипсом / З.И. Воропаева, И.А. Троценко, А.И. Парфенов // Почвоведение. – 2011. – № 3. – С. 346–357.

34. *Галеев Р.Ф.* Влияние уровня грунтовой воды на засоление и осолонцевание профиля солонца при химической мелиорации / Р.Ф. Галеев // Науч.-техн. бюл. / СибНИИЗХим СО РАСХН. – 1991. – Вып. 1. – С. 17–29.

35. *Галеева Л.П.* Фосфатный режим солонцов лесостепной зоны Барабинской низменности при гипсовании и внесении минеральных удобрений: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук / Л.П. Галеева. – Новосибирск, 1991. – 18 с.

36. *Галеева Л.П.* Влияние возрастающих доз гипса на свойства и продуктивность многонатриевых солонцов Барабы / Л.П. Галеева, Р.Ф. Галеев // Материалы научных чтений, посвященных 100-летию закладки первых полевых опытов И.И. Жилинским. – Новосибирск, 1997. – С. 40–42.

37. *Галеева Л.П.* Изменение питательного режима и продуктивность солонцов Барабы при одноразовом внесении гипса / Л.П. Галеева // Инновации и продовольственная безопасность. – 2015. – № 4 (10). – С. 9–17.

38. *Галеева Л.П.* Питательный режим солонцов Барабы при разовом внесении гипса / Л.П. Галеева // Отражение био-гео-антропосферных взаимодействий в почвах и почвенном покрове: материалы VI Всерос. науч. конф. с междунар. участием ТГУ. – Томск, 2015. – С. 167–170.

39. *Галеева Л.П.* Нитратный режим и продуктивность солонцов Барабы при одноразовом внесении гипса / Л.П. Галеева // Почва как связующее звено функционирования при-

родных и антропогенно-преобразованных экосистем: материалы IV Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 85-летию кафедры почвоведения и оценки земельных ресурсов ИГУ и Дню Байкала / ФГБОУ ВО «ИГУ». – Иркутск: Изд-во ИГУ, 2016. – С. 358–362.

40. *Гамзиков Г. П.* Азот в земледелии Западной Сибири / Г. П. Гамзиков. – М.: Наука, 1981. – 268 с.

41. *Гамзиков Г. П.* Баланс и превращение азота удобрений / Г. П. Гамзиков, Г. И. Кострик, В. Н. Емельянова. – Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1985. – 160 с.

42. *Гедройц К. К.* Коллоидная химия в вопросах почвоведения / К. К. Гедройц // Журнал опытной агрономии. – 1912. – Ч. III. – С. 13–28.

43. *Гедройц К. К.* Солонцы, их происхождение, свойства и мелиорация / К. К. Гедройц // Избр. соч. – М.: Сельхозиздат, 1932. – Т. 1. – 141 с.

44. *Гедройц К. К.* Солонцы, их происхождение, свойства и мелиорация / К. К. Гедройц // Избр. соч. – М.: Сельхозиздат, 1955. – Т. 3. – С. 299–355.

45. *Генезис*, эволюция, свойства, мелиорация и использование засоленных почв Предалтайской провинции: монография / И. Т. Трофимов [и др.]; под общ. ред. И. Т. Трофимова. – Барнаул: Изд-во АГАУ, 2009. – 222 с.

46. *Гиндемит А. М.* Свойства малонатриевых солонцов лесостепной зоны Омского Прииртышья: дис. ... канд. биол. наук / А. М. Гиндемит. – Омск, 2012. – 113 с.

47. *Гинзбург К. Е.* Фосфор основных типов почв СССР / К. Е. Гинзбург. – М., 1981. – 242 с.

48. *Градобоев Н. Д.* Качественный состав гумуса солонцов лесостепной зоны Омской области и степень солонцеватости их / Н. Д. Градобоев, Е. Н. Коровицкая, А. И. Парфенов // Докл. сиб. почвоведов к IX Междунар. конгр. почвоведов. – Новосибирск, 1968. – С. 141–148.

49. *Градобоев Н.Д.* Опыт мелиорации солонцовых почв Омской области / Н.Д. Градобоев, А.С. Мигуцкий, Л.В. Березин. – Омск: Зап.-Сиб. кн. изд-во, 1973. – 30 с.

50. *Градобоев Н.Д.* К вопросу о генезисе почв солонцового комплекса Западной Сибири / Н.Д. Градобоев // Тр. ОмСХИ. – 1974. – Т. 125. – С. 3–6.

51. *Гришко В.Н.* Структурно-функциональные особенности сообщества актиномицетов в некоторых черноземах и засоленных почвах Украины / В.Н. Гришко, О.В. Сыщикова // Почвоведение. – 2010. – № 2. – С. 221.

52. *Горшенин К.П.* Почвы южной части Сибири (от Урала до Байкала) / К.П. Горшенин. – М.: Изд-во АН СССР, 1955. – 591 с.

53. *Девярых В.А.* Генетические особенности почв солонцового комплекса северо-западного Прикаспия (на примере Джаныбекского стационара АН СССР): автореф. дис. ... канд. с.-х. наук / В.А. Девярых. – М., 1970. – 18 с.

54. *Державин Л.М.* Интегрированное применение агрохимических средств в зерновом хозяйстве / Л.М. Державин // Агрохимия. – 2007. – № 12. – С. 3–17.

55. *Докучаев В.В.* Русский чернозем / В.В. Докучаев // Соч. – М.: Изд-во АН СССР, 1949. – Т. 1. – 495 с.

56. *Драчёв С.М.* К изучению мобильности фосфатов / С.М. Драчев. // Науч. агроп. журн. – 1928. – № 9. – С. 21–26.

57. *Дударева Т.Е.* Микрофлора солонцов Северной Кулунды: автореф. дис. ... канд. биол. наук / Т.Е. Дударева. – Томск, 1962. – С. 146.

58. *Еремченко О.З.* Химическая мелиорация солонцов Зауралья: автореф. дис. ... канд. биол. наук / О.З. Еремченко. – Новосибирск, 1986. – 16 с.

59. *Ерёменко О.З.* Природно-антропогенные изменения солонцовых почв в Южном Зауралье / О.З. Ерёменко. – Пермь: Изд-во Перм. ун-та, 1997. – 317 с.

60. Жежер А.Я. Программа экспедиции И.И. Жилинского по освоению Барабы и ее реализация / А.Я. Жежер // Мелиорация и водное хозяйство. – 1995. – № 3. – С. 2–9.

61. Жежер Л.В. Условия азотного питания яровой пшеницы и регулирование их внесением удобрений на чернозёмах Омской области и Алтайского края: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук / Л.В. Жежер. – Новосибирск, 1970. – 18 с.

62. Зайцева Ю.А. Причины формирования засоленных лугово-черноземных почв юга Омской области / Ю.А. Зайцева, Я.Р. Рейнгард, Л.Н. Мищенко // Развитие почвоведения и проблемы рационального использования почв Сибири. – Омск: ЛИТЕРА, 2013. – С. 55–60.

63. Засоленные почвы России / отв. ред. Л.Л. Шишов, Е.П. Панкова. – М.: Академкнига, 2006. – 854 с.

64. Заяц А.Н. Об азотном и фосфорном питании растений на солонцах в связи с внесением больших доз гипса и хлористого кальция // Тр. Харьков. с.-х. ин-та. – 1972. – № 143. – С. 124–134.

65. Зубарева Р.Д. Длительность действия гипса на лугово-чернозёмном корковом сульфатно-содовом солонце / Р.Д. Зубарева, Н.И. Парфёнов // Продуктивность сельскохозяйственных культур на засоленных почвах Западной Сибири. – Омск, 1962. – С. 66–74.

66. Использование фосфогипса для мелиорации солонцов Западной Сибири, Зауралья и Северного Казахстана: рекомендации / ВАСХНИЛ. Сиб. отд-ние. СибНИИЗХим. – Новосибирск, 1980. – 20 с.

67. Карпинский Н.П. Фосфатный уровень почвы / Н.П. Карпинский, В.Б. Замятина // Почвоведение. – 1958. – № 11. – С. 27.

68. Качинский Н.А. Механический и микроагрегатный состав почвы, методы его изучения. – М.: Изд-во АН СССР, 1958. – 200 с.

69. *Кирюшин В. И.* Поглощение фосфатов удобрений почвами солонцового комплекса и доступность их растениям / В. И. Кирюшин, М. А. Трефилова // Агропочвоведение и мелиорация солонцов: тр. ВНИИЗХ. – Целиноград, 1975. – С. 165–168.

70. *Кирюшин В. И.* Солонцы и их мелиорация. – Алма-Ата: Кайнар, 1975. – 175 с.

71. *Классификация* и диагностика почв России. – Смоленск: Ойкумена, 2004. – 342 с.

72. *Клевенская И. Л.* Микрофлора почв Западной Сибири / И. Л. Клевенская, Н. Н. Наплекова, Н. И. Гантимурова. – Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1970. – 224 с.

73. *Кленов Б. М.* Гумус почв Западной Сибири / Б. М. Кленов. – М.: Наука, 1981. – 144 с.

74. *Ковда В. А.* Происхождение и режим засоленных почв / В. А. Ковда. – М.: Изд-во АН СССР, 1947. – Т. 2. – 375 с.

75. *Ковда В. А.* Проблемы Барабинской низменности / В. А. Ковда // Тр. Почв. ин-та АН СССР. – 1954. – Т. 44. – С. 157–186.

76. *Кононова М. М.* Изменение биологии почвы / М. М. Кононова, Ф. Пенман // Орошение и дренаж засоленных почв. – М.: Наука, 1967. – С. 204.

77. *Константинов М. Д.* Создание культурных сенокосов и пастбищ на комплексных солонцовых почвах Западной Сибири / М. Д. Константинов, В. А. Кшнякин, В. А. Сяглов, В. Х. Яковлев // Сб. науч. тр. ВИК. – 1979. – Вып. 21. – С. 205–210.

78. *Константинов М. Д.* Агробиологический метод мелиорации солонцов Южного Урала и Западной Сибири. – Новосибирск, 2000. – 358 с.

79. *Константинов М. Д.* Системы использования комплексных солонцовых почв / М. Д. Константинов, Т. Г. Ломова // Земледелие. – 2007. – № 4. – С. 5–7.

80. *Константинов М.Д.* Фитомелиоративные луговые севообороты на солонцовых почвах Западной Сибири / М.Д. Константинов, Т.Г. Ломова, М.А. Кухарь / Рос. акад. с.-х. наук Сиб. регион. отд-ние. Сиб. НИИ кормов. – Новосибирск, 2011. – 104 с.

81. *Коробова Л.Н.* Трансформация микробного сообщества солонцов при длительном действии гипса и фитомелиоративных севооборотов / Л.Н. Коробова, А.Д. Карпова // Антропогенная трансформация природной среды / Перм. гос. ун-т. – Пермь, 2010. – Т. 1, ч.1. – С. 386–391.

82. *Кочегарова Н.Ф.* Формы азота и азотный режим чернозёмов Омской области: автореф. дис. ... канд. биол. наук / Н.Ф. Кочегарова. – Новосибирск, 1976. – 18 с.

83. *Кочергин А.Е.* Определение потребности сельскохозяйственных растений в азотных удобрениях на чернозёмах Сибири / А.Е. Кочергин // Сб. науч. тр. СибНИИ-ИСХ. – Омск. – 1961. – № 6. – С. 14–19.

84. *Кочергин А.Е.* Фосфатный фонд почв и его доступность растениям / А.Е. Кочергин // Почвы Западной Сибири и повышение их плодородия. – Омск: ОмСХИ, 1961. — С. 12–19.

85. *Кудеярова Ю.А.* Степень снижения активности иона H_2PO_4 под растениями и её восстановление в почвах с различной фосфатной буферной способностью / Ю.А. Кудеярова, Г.В. Полякова // Агрохимия. – 1971. – № 12. – С. 19–28.

86. *Кузнецова Т.Е.* К характеристике микрофлоры средних солонцов / Т.Е. Кузнецова // Вопросы освоения целинных и залежных земель Западной Сибири: Тр. Биол. ин-та. – Новосибирск, 1957. – Вып. 3. – С. 217–225.

87. *Кузьмина М.С.* Растительность Барабы / М.С. Кузьмина // Исследования Барабинской низменности как объекта сельскохозяйственного использования: тр. Почв. ин-та

им. В.В. Докучаева. – М.: Изд-во АН СССР, 1952. – Т. 36. – С. 106–171.

88. *Кук Дж.* Системы удобрения для получения максимальных урожаев: пер. с англ. / Дж. Кук. – М.: Колос, 1975. – 416 с.

89. *Кулебакин П.Г.* Послойная обработка солонцов Барабинской низменности / П.Г. Кулебакин. – Новосибирск: Наука, 1980. – 149 с.

90. *Курачев В.М.* Засоленные почвы Западной Сибири / В.М. Курачев, Т.Н. Рябова. – Новосибирск: Наука, 1981. – 152 с.

91. *Кушниренко Ю.Д.* Фосфатный режим выщелоченного чернозёма и продуктивность севооборота при длительном применении удобрений / Ю.Д. Кушниренко, В.Н. Брагин // Агрохим. вестн. – 2005. – № 2. – С. 16–18.

92. *Лапыгина Е.В.* Устойчивость комплекса почвенных бактерий к солевому шоку / Е.В. Лапыгина, Л.В. Лысак, Д.Г. Звягинцев // Микробиология. – 2002. – Т. 71, № 2. – С. 171–175.

93. *Лапач С.Н.* Статистические методы в медико-биологических исследованиях с использованием Excel / С.Н. Лапач, А.В. Чубенко, П.Н. Бабич. – 2-е изд., перераб. и доп. – Киев: МОРИОН, 2001. – 408 с.

94. *Левина Т.П.* Палеоботаническая характеристика голоценового торфяника в районе мыса Каргинского на р. Енисей / Т.П. Левина, В.П. Никитин // Плейстоцен Сибири и смежных областей. – М.: Наука, 1973. – С. 80–85.

95. *Лысак Л.В.* Бактериальные сообщества солончаков / Л.В. Лысак, Д.В. Трошин, И.Ю. Чернов // Микробиология. – 1994. – Т. 63, № 4. – С. 721–729.

96. *Мигуцкий А.С.* Пути освоения и повышения плодородия солонцовых почв Западной Сибири / А.С. Мигуцкий. – М.; Целиноград: Колос, 1986. – 152 с.

97. *Можейко А. М.* Взаимодействие гипса с коллоидным комплексом солонцеватых почв / А. М. Можейко // Зап. Харьк. с.-х. ин-та. – 1946. – Т. 5 (13). – С. 199–224.

98. *Можейко А. М.* Солонцовые почвы южной части Среднего Приднестровья и их культурное состояние: дис. ... д-ра с.-х. наук. / А. М. Можейко. – Харьков, 1963. – 460 с.

99. *Молоканов В. А.* Агротехнические основы возделывания донника на солонцах Барабинской низменности: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук / В. А. Молоканов. – Новосибирск, 1975. – 18 с.

100. *Муравин Э. А.* Агрохимия / Э. А. Муравин. – М.: КолосС, 2004. – 384 с.

101. *Муратова В. С.* Варьирование засоления почв в пределах одного разреза (на примере анализа почвенных растворов) / В. С. Муратова // Почвоведение. – 1970. – № 9. – С. 107–117.

102. *Муха В. Д.* Макро- и микроморфологические признаки почв и культурное почвообразование / В. Д. Муха // Бюл. почв. ин-та ВАСХНИЛ. – 1981. – № 28. – С. 16.

103. *Назарчук А. Г.* Мелиорация солонцов землеванием / А. Г. Назарчук. – М.: Колос, 1995. – 94 с.

104. *Непряхин Е. М.* Почвы Томской области / Е. М. Непряхин. – Томск: Изд-во Том. ун-та, 1977. – 439 с.

105. *Николаева Н. М.* Режим минеральных форм азота в выщелоченных чернозёмах колючей степи и типичной лесостепи Алтайского края: автореф. дис. канд. с.-х. наук / Н. М. Николаева. – Барнаул, 1973. – 20 с.

106. *Озкан Б.* Характеристика экстремально галофильных архей, выделенных из засоленных местообитаний в различных районах Турции / Б. Озкан [и др.] // Микробиология. – 2006. – Т. 75, № 6. – С. 849–856.

107. *Ониани О. Г.* Агрохимия калия / О. Г. Ониани. – М.: Наука, 1981. – 200 с.

108. *Орловский Н.В.* Минеральные удобрения // Засоленные почвы Западной Сибири. – Новосибирск, 1941. – С. 47–54.

109. *Орловский Н.В.* Землевание пятен солонцов черноземом как доступный прием коренной мелиорации / Н.В. Орловский // За сельскохозяйственное освоение Барабы: сб. тр. Убин. опыт.-мелиоратив. станции. – Новосибирск, 1946. – Вып. 1. – С. 87–134.

110. *Орловский Н.В.* Исследования по генезису, солевому режиму и мелиорации солонцов и других засоленных почв Барабинской низменности / Н.В. Орловский // Тр. почв. ин-та им. В.В. Докучаева. – М., 1955. – Т. 17. – С. 226–408.

111. *Орловский Н.В.* Подбор кормовых трав и травосмесей для засоленных гривных земель Барабы и основные вопросы их агротехники / Н.В. Орловский // За сельскохозяйственное освоение Барабы: сб. тр. Убин. опыт.-мелиоратив. станции. – Новосибирск, 1982. – Вып. 1. – С. 39–85.

112. *Панин П.С.* Процессы засоления и рассоления почв / П.С. Панин, И.Б. Долженко, В.И. Чуканов. – Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1976. – 174 с.

113. *Панин П.С.* Генезис и мелиорация солонцов Барабы / П.С. Панин, Т.Н. Елизарова, А.М. Шкаруба. – Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1977. – 190 с.

114. *Панов Н.П.* Качественный состав гумусовых веществ почв солонцового комплекса и их изменение под влиянием лесных насаждений и длительного освоения / Н.П. Панов, П. Кваги, М. Рабич // Мелиорация солонцов. – 1968. – Ч. 1. – С. 154–164.

115. *Покрасс Е.П.* Основные черты геоморфологии и элементы геологии Барабинской низменности / Е.П. Покрасс, Н.И. Базилевич // Тр. Почв. ин-та им. В.В. Докучаева. – 1954. – Т. 42. – С. 5–103.

116. *Полевой определитель почв* / под ред. Н. И. Полу-
па. – Киев: Урожай, 1981. – 320 с.

117. *Половицкий И.Я* Минералогическая характери-
стика илистой фракции солонцов Северного Казахстана
/ И.Я. Половицкий, В.П. Стрельченко, В.М. Володин // *Почвоведение*. – 1969. – № 6. – С. 107–113.

118. *Полынов Б.Б.* Избранные труды / Б.Б. Поли-
нов. – М.: АН СССР, 1956. – С. 515–562.

119. *Помазкина Л.В.* Агрохимия азота в таёжной зоне
Прибайкалья / Л.В. Помазкина. – Новосибирск: Наука. Сиб.
отд-ние, 1985. – 176 с.

120. *Пономарёва Н.С.* Влияние гипса на нитратный ре-
жим хлоридно-сульфатных солонцов центральной лесосте-
пи Омской области / Н.С. Пономарёва, В.Д. Конторина // *Генезис солонцов и влияние удобрений на величину и каче-
ство урожая*. – Омск: ОмСХИ, 1974. – С. 33–42.

121. *Почвенно-климатический атлас Новосибирской об-
ласти*. – Новосибирск: Наука, 1978. – 121 с.

122. *Практикум по агрохимии* / под ред. В.Г. Мине-
ева. – М.: Изд-во МГУ, 2001. – 687 с.

123. *Пудовкина Т.А.* Содержание и состав гумуса почв
черноземно-солонцовых комплексов надпойменных террас
р. Алей / Т.А. Пудовкина // *Химическая мелиорация и удо-
брение почв Западной Сибири*. – Омск, 1976. – Т. 150. –
С. 37–43.

124. *Пчелкин В.У.* Почвенный калий и калийные удо-
брения / В.У. Пчёлкин. – М.: Колос, 1966. – 336 с.

125. *Рихтер Г.Д.* Рельеф и геологическое строение За-
падной Сибири / Г.Д. Рихтер // *Природные условия и есте-
ственные ресурсы СССР*. – М.: Изд-во АН СССР, 1963. –
С. 19–70.

126. *Розанов Б.Г.* Морфология почв: учеб. для студен-
тов вузов по спец. «Почвоведение» / Б.Г. Розанов; Моск.

гос. ун-т им. М.В. Ломоносова. – М.: Академ. проект, 2004. – 431 с.

127. *Рязанова Г.И.* Биологическая активность основных почв черноземной зоны Северного Казахстана: дис.. канд. биол. наук / Г.И. Рязанова. – Шортанды, 1984. – 202 с.

128. *Саданов А.К.* Микробиологические процессы в засоленных почвах Акдалинского массива орошения при внесении мелиорантов: дис. ... канд. биол. наук / А.К. Саданов. – Алма-Ата, 1984. – 190 с.

129. *Самбур Г.Н.* Подвижность обменного натрия и обоснование норм гипса при мелиорации солонцов / Г.Н. Самбур // Почвоведение. – 1963. – № 11. – С. 35–46.

130. *Семендяева Н.В.* Особенности формирования солонцов лесостепной зоны Западной Сибири / ВАСХНИЛ. Сиб. отд-ние. – Новосибирск, 1984. – С. 26–36.

131. *Семендяева Н.В.* Изменение содержания натрия в солонцах при длительном действии различных доз гипса / Н.В. Семендяева, Р.Ф. Галеев, Е.Ю. Ковалевская // Науч.-техн. бюл. / ВАСХНИЛ. Сиб. отд-ние. – Новосибирск, 1987. – Вып. 26. – С. 3–11.

132. *Семендяева Н.В.* Фосфатный режим луговых солонцов Барабы при гипсовании и внесении минеральных удобрений / Н.В. Семендяева, Л.П. Галеева, С.С. Аверкина // Агрохимия. – 1992. – № 8. – С. 34–43.

133. *Семендяева Н.В.* Влияние возрастающих доз мелиорантов и удобрений на плодородие солонцов / Н.В. Семендяева, Л.П. Галеева, Р.Ф. Галеев // Сиб. вестн. с.-х. науки. – 1993. – № 2. – С. 74–80.

134. *Семендяева Н.В.* Химическая мелиорация гидроморфных солонцов Западной Сибири // Почвоведение. – 1998. – № 8. – С. 974–979.

135. *Семендяева Н.В.* Природно-антропогенные изменения свойств солонцов северной лесостепи Западной Си-

бири / Н.В. Семендяева, В.Г. Шелонько, А.В. Шелонько // Материалы регион. науч. студ. конф., посвящ. 65-летию НГАУ. – Новосибирск, 2002. – С. 46–47.

136. *Семендяева Н.В.* Свойства солонцов Западной Сибири и теоретические основы химической мелиорации / Н.В. Семендяева; ред. А.Н. Власенко. – Новосибирск, 2002. – 157 с.

137. *Семендяева Н.В.* Трансформация генетического профиля солонцов Барабинской низменности при длительном действии гипса / Н.В. Семендяева, Е.А. Анашкина // Сиб. вестн. с.-х. науки. – 2007. – № 8. – С. 5–11.

138. *Семендяева Н.В.* Длительность действия одноразового внесения гипса на свойства и плодородие солонцов Барабинской низменности / Н.В. Семендяева // Аграрная наука – сельскому хозяйству: IV Междунар. науч.-практ. конф. – Барнаул, 2009. – С. 439–441.

139. *Семендяева Н.В.* Изменение некоторых свойств солонцов Барабинской низменности при 20–25-летнем действии гипса / Н.В. Семендяева // Почвоведение. – 2009. – № 8. – С. 1–8.

140. *Семендяева Н.В.* Изучение почв в поле: учеб.-метод. пособие / Н.В. Семендяева, Л.П. Галеева, А.Н. Мармулев; Новосиб. гос. аграр. ун-т. – 2-е изд., доп. и перераб. – Новосибирск, 2009. – 61 с.

141. *Семендяева Н.В.* Агроэкологические особенности процессов солепередвижения в солонцах Барабинской низменности / Н.В. Семендяева // Сиб. вестн. с.-х. науки. – 2011. – № 9–10. – С. 12–17.

142. *Семендяева Н.В.* Изменение физических свойств солонцов Барабинской низменности при длительном действии гипса / Н.В. Семендяева, Н.В. Елизаров // Вестн. НГАУ. – 2012. – № 1 (22). – С. 38–41.

143. *Семендяева Н.В.* К вопросу генезиса солонцов юга Западной Сибири / Н.В. Семендяева // Почва как свя-

зующее звено функционирования природных и антропогенно-преобразованных экосистем: IV Междунар. науч.-практ. конф. – Иркутск, 2016. – С. 194–198.

144. *Семендяева Н. В.* Теоретические и практические аспекты химической мелиорации солонцов Западной Сибири / Н. В. Семендяева, Н. И. Добротворская. – Новосибирск, 2005. – 156 с.

145. *Семендяева Н. В.* Изменение физических свойств солонцов Барабинской низменности при длительном действии гипса / Н. В. Семендяева, Н. В. Елизаров // Вестн. НГАУ. – 2012. – № 1 (22). – С. 38–41.

146. *Сеньков А. А.* Галогенез степных почв (на примере Ишимской равнины) / А. А. Сеньков. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2004. – 152 с.

147. *Середа Н. А.* Тенденции изменения плодородия чернозёмов Южного Урала при различных системах удобрений / Н. А. Середа, Р. И. Баязитова, М. В. Нафикова // Достижения науки и техники АПК. – 2009. – № 11. – С. 36–39.

148. *Сибирцев Н. М.* Избранные сочинения / Н. М. Сибирцев. – М.: Сельхозгиз, 1957. – Т. 1. – 345 с.

149. *Сидоренко А. И.* Микрофлора целинных и осваиваемых солонцов Барабы / А. И. Сидоренко // Вопросы освоения солонцов Кулунды и Барабы: Тр. Биол. ин-та. – Новосибирск, 1962. – Вып. 9. – С. 127–147.

150. *Система* земледелия на пахотных солонцовых комплексах Зауралья и Западной Сибири: рекомендации. – Новосибирск, 1990. – 30 с.

151. *Скипин Л. Н.* Совершенствование приемов мелиоративного освоения солонцов Западной Сибири / Л. Н. Скипин // Генезис и мелиорация почв солонцовых комплексов. – М., 2008. – С. 160–170.

152. *Славнина Т. П.* Азот в земледелии Томского Приобья / Т. П. Славнина // Земельные ресурсы Сибири. – Новосибирск: Изд-во Наука СО АН, 1974. – С. 121–128.

153. *Сляднев А.П.* Агроклиматические ресурсы Барабы / А.П. Сляднев. – Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1970. – С. 20–41.

154. *Сляднев А.П.* О проблемах почвенной климатологии в Западной Сибири / А.П. Сляднев // Докл. сиб. почвоведов к X Междунар. конгр. почвоведов. – Новосибирск: Наука, 1974. – С. 54–71.

155. *Сляднев А.П.* Циклические изменения агроклиматических условий в южных широтах Западной Сибири и продуктивность зерновых культур / А.П. Сляднев // Природные ресурсы Сибири. – Новосибирск: Наука, 1976. – С. 153–168.

156. *Смоленцев Б.А.* Пространственная и функционально-генетическая характеристика почвенных комбинаций Барабинской равнины / Б.А. Смоленцев, О.В. Воложжина // Сиб. экол. журн. – 2004. – Т. 11, № 3. – С. 355–367.

157. *Соколов А.В.* Агрохимия фосфора / А.В. Соколов. – М.; Л.: Изд-во АН СССР, 1950. – 152 с.

158. *Соколов В.И.* Приемы улучшения солонцовых почв Северной Кулунды / В.И. Соколов, В.И. Пастух, П.И. Шаврыгин // Мелиорация солонцов. – М., 1972. – Ч. 2. – С. 209–217.

159. *Соколовский А.Н.* Курс сельскохозяйственного почвоведения / А.Н. Соколовский. – Харьков: Сельхозиздат, 1938. – 336 с.

160. *Сорокин О.Д.* Прикладная статистика на компьютере / О.Д. Сорокин. – 2-е изд. – Новосибирск: ГУП РПО СО РАСХН, 2009. – 222 с.

161. *Сребрянская П.И.* Явления сезонного замерзания и оттаивания почв Центральной Барабы / П.И. Сребрянская // Тр. Почв. ин-та им В.В. Докучаева. – 1954. – Т. 42. – С. 172–273.

162. *Стройнов В.К.* Мелиоративные приемы повышения продуктивности малоплодных солонцовых почв

в Западной Сибири / В.К. Стройнов, В.Г. Колебер // Проблемы рационального использования малопродуктивных земель. – Омск, 2009. – С. 140–144.

163. *Сэги Й.* Методы почвенной микробиологии / Й. Сэги. – М.: Колос, 1983. – 295 с.

164. *Сысо А.И.* Закономерности распространения химических элементов в почвообразующих породах и почвах Западной Сибири / А.И. Сысо. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2007. – 277 с.

165. *Трофимов И.Т.* Кормовые культуры на засоленных почвах / И.Т. Трофимов. – Барнаул, 1982. – 80 с.

166. *Троценко И.А.* Изменение мелиоративных показателей многонатриевых солонцов лесостепной зоны Ишим-Иртышского междуречья при разовом и повторном гипсовании: дис. ... канд. биол. наук / И.А. Троценко. – Омск, 2008. – 167 с.

167. *Убогов В.И.* Влияние соединений гумуса на солонцеватость почвы Западной Сибири, их свойства и способы улучшения / В.И. Убогов. – Омск, 1984. – С. 32–42.

168. *Угланов И.Н.* Мелиорируемая толща почв и пород юга Западной Сибири. – Новосибирск: Наука, 1981. – 193 с.

169. *Федоткин В.А.* Влияние мелиоративных обработок и гипса на плодородие солонцовых земель / В.А. Федоткин, А.И. Бородин, Л.Н. Скипин // Науч.-техн. бюл. / ВАСХНИЛ. Сиб. отд-ние. – 1981. – Вып. 29. – С. 47–51.

170. *Хасанова Р.Ф.* Экологическое состояние засоленных почв Башкирского Зауралья / Р.Ф. Хасанова // Вестн. Оренбург. гос. ун-та. – 2015. – № 6 (181). – С. 143–145.

171. *Хмелев В.А.* Земельные ресурсы Новосибирской области и пути их рационального использования / В.А. Хмелев, А.А. Танасиенко; отв. ред. В.М. Курачев; Рос. акад. наук. Сиб. отд-ние, Ин-т почвоведения и агрохимии. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2009. – 349 с.

172. *Христенко А. А.* Уровень динамического равновесия фосфатных систем пахотных почв / А. А. Христенко // *Агрохимия*. – 2004. – № 5. – С. 78–84.

173. *Шаврыгин П. И.* Солевой режим почв и почвенных растворов центральной части Барабы / П. И. Шаврыгин // *Тр. Почв. Ин-та АН СССР*, 1954. – Т. 42. – С. 104–171.

174. *Шлевкова Е. М.* Гумусовое состояние почв солонцового комплекса / Е. М. Шлевкова // *Физикохимия почв и их плодородие*. – М., 1998. – С. 132–138.

175. *Якименко В. Н.* Калий в агроценозах Западной Сибири / В. Н. Якименко. – Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2003. – 231 с.

176. *Якименко В. Н.* Эффективность уровня калийного питания картофеля // *Плодородие*. – 2005. – № 5. – С. 11–13.

177. *Яковлев В. Х.* Повышение плодородия и продуктивности солонцов Западной Сибири / В. Х. Яковлев. – Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1989. – 131 с.

178. *Biochemical properties and barley yield in a semiarid Mediterranean soil amended with two kinds of sewage sludge* / J. M. Fernández, C. Plaza, J. C. García-Gil, A. Polo // *Applied Soil Ecology*. – 2009. – Vol. 42 (1). – P. 18–24.

179. *Caims R. R.* Les soils solonetziques et leur question / R. R. Caims, W. E. Bowser // *Agricultural Canada*. – 1980. – Publ. 1391. – P. 1–39.

180. *Chawla K. L.* Effect of gypsum fineness on the reclamation of sodic soils / K. L. Chawla, I. P. Abrol // *Agricultural Water Management*. – 1982. – Vol. 5, N1. – P. 41–50.

181. *Olsen S. R.* Phosphorus / S. R. Olsen, L. E. Sommers // *Methods of soil analysis. Part 2*. – Madison, Wisconsin: Am. Soc. Agron., Soil Sci. Soc. Am., 1982. – P. 403–430.

182. *Schoonover W. R.* Gypsum and other Sulfur materials for soil conditioning / W. R. Schoonover, D. G. Aldrich – Berkley. – 1951. – 47 p.

183. *Shou-ren Jhao*. The genetic characteristics and comprehensive management of alkalized soils in China semi-humid region in the warm temperate zone. Moscow, 1991 / Jhao Shou-ren, Jhu Shou – quan // Сб. работ междунар. симп. в Волгограде, 9–15 сент. 1991 г. – М.: Изд-во Ин-та им. В. В. Докучаева, 1991. – С. 203–210 (на англ. языке).

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
1. ПРИРОДНЫЕ ФАКТОРЫ ПОЧВООБРАЗОВАНИЯ БАРАБИНСКОЙ РАВНИНЫ И ИХ ВЛИЯНИЕ НА ФОРМИРОВАНИЕ ПОЧВЕННОГО ПОКРОВА	5
1.1. Геолого-геоморфологическое строение территории...	6
1.2. Почвообразующие породы	8
1.3. Климатические условия	9
1.4. Поверхностные, грунтовые и подземные воды, их динамика и солевой состав	13
1.5. Растительный покров и его воздействие на почво- образовательный процесс	15
1.6. Почвенный покров	19
2. СВОЙСТВА СОЛОНЦОВ БАРАБИНСКОЙ РАВНИНЫ, ВИДЫ ИХ МЕЛИОРАЦИИ И СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕН- НОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ	28
2.1. Происхождение и свойства солонцов и солонцо- вых комплексов	29
2.2. Агромелиоративная группировка солонцов и со- лонцовых комплексов и виды мелиорации	36
2.3. Изученность проблемы длительности действия химической мелиорации солонцов	43
3. ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ СОЛОН- ЦОВ БАРАБИНСКОЙ РАВНИНЫ	48
3.1. Объекты и методы исследований	49
3.2. Погодные условия лет исследований	55
4. ИЗМЕНЕНИЕ СВОЙСТВ СОЛОНЦОВ ПРИ ДЛИТЕЛЬ- НОМ ДЕЙСТВИИ РАЗОВОГО ВНЕСЕНИЯ ГИПСА	58
4.1. Изменение морфологического профиля солонцов ..	58
4.2. Влияние гипсования на гранулометрический и ми- кроагрегатный состав мелиорированных солонцов ..	65

4. 3. Физические свойства солонцов после длительного действия гипса	74
4.4. Изменения качественного состава гумуса в длительно мелиорированных солонцах	79
5. ДИНАМИКА СОЛЕВОГО СОСТАВА ГРУНТОВЫХ ВОД И МЕЛИОРИРОВАННЫХ СОЛОНЦОВ БАРАБИНСКОЙ РАВНИНЫ	88
5.1. Динамика уровня залегания и солевого состава грунтовых вод	89
5.2. Изменение солевого состава мелиорированных солонцов в течение 30-летнего периода действия гипса	94
6. ДИНАМИКА НАТРИЯ В ПРОФИЛЕ МЕЛИОРИРОВАННЫХ СОЛОНЦОВ	103
6.1. Изменение содержания натрия в профиле мало- и многонатриевых солонцов при внесении гипса ...	103
6.2. Влияние уровня залегания минерализованных грунтовых вод на содержание натрия в мелиорированных солонцах	110
6.3. Обоснованность расчёта доз мелиорантов для солонцов по содержанию натрия	115
7. БИОЛОГИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ ЦЕЛИННЫХ И МЕЛИОРИРОВАННЫХ СОЛОНЦОВ	122
8. ПИТАТЕЛЬНЫЙ РЕЖИМ СОЛОНЦОВ БАРАБИНСКОЙ РАВНИНЫ ПРИ ОДНОРАЗОВОМ ВНЕСЕНИИ ГИПСА	142
8.1. Нитратный азот в солонцах при химической мелиорации	142
8.2. Фосфатный режим корковых солонцов при внесении гипса	147
8.3. Обменный калий в солонцах при гипсовании	155

Семендяева Нина Вячеславовна
Елизаров Николай Владимирович
Галеева Любовь Павловна
Коробова Лариса Николаевна

**ДЛИТЕЛЬНОСТЬ ДЕЙСТВИЯ ХИМИЧЕСКОЙ
МЕЛИОРАЦИИ НА СВОЙСТВА СОЛОНЦОВ
БАРАБИНСКОЙ РАВНИНЫ**

Монография

Под общей редакцией
д-ра с.-х. наук, проф. Н. В. Семендяевой

Редактор *Т. К. Коробкова*
Компьютерная верстка *В. Н. Зенина*

Подписано в печать 27 июня 2017 г. Формат 60 × 84^{1/16}.
Объем 9,0 уч.-изд. л., 11,9 усл. печ. л. Тираж 500 экз.
Изд. № 28. Заказ № 1826.

Отпечатано в Издательском центре НГАУ «Золотой колос»
630039, Новосибирск, ул. Добролюбова, 160, каб. 106.
Тел. (383) 267-09-10. E-mail: 2134539@mail.ru