

УДК 631.445.53

## ВТОРИЧНОЕ ЗАСОЛЕНИЕ ХИМИЧЕСКИ МЕЛИОРИРОВАННЫХ СОЛОНЦОВ И ЕГО ПОСЛЕДСТВИЯ

© 2019 г. Н. В. Семендяева<sup>a, b, \*</sup>, Н. И. Добротворская<sup>a</sup>, Н. В. Елизаров<sup>a, c</sup>

<sup>a</sup>Сибирский научно-исследовательский институт земледелия и химизации сельского хозяйства Сибирского Федерального научного центра агробиотехнологий РАН, п. Краснообск, Новосибирск, 630501 Россия

<sup>b</sup>Новосибирский государственный аграрный университет, ул. Добролюбова, 160, Новосибирск, 630039 Россия

<sup>c</sup>Институт почвоведения и агрохимии СО РАН, пр. Академика Лаврентьева, 8/2, Новосибирск, 630090 Россия

\*e-mail: semendyeva@ngs.ru

Поступила в редакцию 17.01.2019 г.

После доработки 29.03.2019 г.

Принята к публикации 24.04.2019 г.

В полевом стационарном опыте, заложенном в 1986 г., на солонцах корковых гидроморфных Барабинской равнины во влажном 2013 г. при резком поднятии уровня грунтовых вод с 250 до 50 см зафиксировано вторичное засоление. В профиле почв установлено увеличение содержания легкорастворимых солей и величины рН. Изменился характер засоления. В почвенном поглощающем комплексе возросло содержание обменного натрия. После снижения уровня грунтовых вод происходило рассоление мелиорированных солонцов и частичное восстановление положительного действия гипса. При этом в почвенном поглощающем комплексе контрольного варианта преобладали катионы  $Mg^{2+}$ , а в мелиорированных солонцах  $Ca^{2+}$ . Данный процесс необходимо учитывать при мелиорации солонцов в производстве, так как положительный эффект гипсования сохраняется после вторичного засоления.

**Ключевые слова:** грунтовые воды, состав поглощенных оснований, Salic Gleyic Solonetz, Sodic Soil

**DOI:** 10.1134/S0032180X19110091

### ВВЕДЕНИЕ

Засоленные почвы, в том числе солонцы (Salic Gleyic Solonetz) [30] и солонцеватые, широко распространены во многих странах мира [15, 18]. Общая площадь засоленных почв мира составляет около 950 млн га [9]. Они встречаются на территории более 100 стран, однако наибольшие массивы сосредоточены в степях, полупустынях и пустынях. Являясь интразональными почвами, солонцы в различных зонах отличаются по генезису, свойствам и методам мелиорации, что требует различных подходов к их освоению, рациональному использованию и борьбе с засолением [18, 28, 29, 31–33].

В сельскохозяйственных угодьях юга Западной Сибири засоленные почвы занимают 17.6% территории, в том числе среди пахотных – 8.4% [8]. Наибольшие площади солонцов и их комплексов с другими почвами встречаются в Новосибирской и Омской областях. Сотрудниками научно-исследовательских учреждений Западной Сибири разработаны и внедрены приемы улучшения солонцов в пашне, сенокосах и пастбищах: химическая мелиорация солонцов – на пашне [1, 5, 21]; послойная обработка – на сенокосах и пастбищах [12, 27]; землевание, фитомелиоративные меро-

приятия [10, 11, 14], самомелиорация [26] – на всех видах сельскохозяйственных угодий.

Наиболее дорогостоящим и трудоемким приемом мелиорации является химический, разработанный Гедройцем [3]. Сущность его состоит в том, что из почвенного поглощающего комплекса (ППК) кальцием мелиоранта (гипса или фосфогипса) вытесняется обменный натрий. Данный прием хоть и затратный, но наиболее эффективный и долговременный [6, 7, 16, 22].

Определенный интерес в этом направлении представляют работы Оборина [16] по химической мелиорации корковых, средних и глубоких луговых солонцов, выполненные в неорошаемых условиях южной лесостепи Челябинской области на территории Троицкого учебно-опытного лесного хозяйства Пермского государственного университета. Исследования проводили в течение 1932–1956 гг. Установлено, что гипсование солонцов в данной зоне является высокоэффективным мелиоративным приемом с длительным периодом действия. Наблюдения в течение 24 лет позволили вскрыть ряд особенностей действия химической мелиорации на солонцах с близким залеганием минерализованных грунтовых вод.

Установлено, что гипсование солонцов вызвало вытеснение  $\text{Na}^+$  и  $\text{Mg}^{2+}$  из ППК гор. А и В1 и замещение их кальцием гипса. Продукты обмена в виде солей ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ) из верхних горизонтов удалялись в нижние, вплоть до грунтовых вод (при среднегодовом количестве осадков около 300 мм). Это способствовало повышению урожайности зерновых культур и многолетних трав в течение всего периода наблюдений (1933–1955 гг.). В своей работе А.И. Оборин особое внимание уделял солевому режиму в связи с изменением погодных условий. На 14-й год действия гипса (1946) началось поднятие уровня грунтовых вод (УГВ), что вызвало вторичное засоление верхних гор. А и В1 солонцов. Гипсование, улучшая водные свойства иллювиального горизонта солонцов, способствовало большей подвижности легкорастворимых солей по профилю мелиорированных почв по сравнению с контролем. При близком стоянии минерализованных грунтовых вод в верхних горизонтах мелиорированных солонцов накапливалось больше легкорастворимых солей, чем в негипсованных. Произошло вторичное засоление, которое в значительной степени снизило наблюдавшийся ранее положительный эффект от гипсования – увеличилось содержание обменных  $\text{Na}^+$  и  $\text{Mg}^{2+}$ , ухудшились свойства мелиорированных солонцов, что снизило прибавку урожая сельскохозяйственных культур.

Опыты А.И. Оборина показали, что при длительном действии гипса на солонцы луговые с близким залеганием грунтовых вод (1–2.5 м) при их “пульсации” возникают процессы засоления и рассоления, приводящие к осолонцеванию–рассолонцеванию профиля мелиорированного солонца, и соответственно снижению урожайности сельскохозяйственных культур. В таких условиях одновременно с гипсованием необходимо применять другие меры, предупреждающие вторичное засоление и осолонцевание – посев соле- и солонцустойчивых многолетних трав, лесоразведение, безотвальную обработку и др.

О.З. Еремченко [6, 7] были восстановлены опыты А.И. Оборина и продолжены наблюдения. Установлено, что на фоне повторяющихся процессов рассоления и засоления положительное действие химической мелиорации снижалось. Это зависело от типа засоления и мощности гор. А. В мелких и средних солонцах сульфатного засоления на фоне безотвальной обработки последствий гипсования продолжалось более 7–11 лет и около 8 – на отвальной. В глубоких гидрокарбонатных и корковых хлоридно-сульфатных солонцах – более 28 лет, а в средних гидрокарбонатных – более 50 лет. Химическая мелиорация солонцов луговых (гидроморфных) на фоне естественного увлажнения повысила урожайность культур в

среднем на 2–6, а совместно с удобрениями – до 10 и более ц к. ед./га.

Длительные исследования по изучению эффективности химической мелиорации солонцов малонатриевых в Омской области проводили Березин [1] и его ученики [4]. Ими установлено, что на 18-ый год после гипсования средняя урожайность яровой пшеницы возросла почти в 3 раза по сравнению с контролем, тогда как на 10-ый год последствий – только на 50%, то есть с годами действие разового внесения гипса в дозе 12 т/га затухало, а увеличивалось.

Наши исследования, проведенные в северной лесостепи Новосибирской области (АО “Кабинетное” Чулымского района) на солонцах корковых средненатриевых смешанного типа засоления, также подтверждают длительность эффекта одноразового внесения гипса [23]. В течение 15 лет не было обнаружено вторичного засоления, хотя УГВ за это время подвергался значительным колебаниям. Подобная закономерность сохранялась и в опытах на многонатриевых солонцах, в которых проводятся систематические наблюдения за длительностью действия одноразового внесения гипса, уровнем залегания и степенью минерализации грунтовых вод и изменением свойств мелиорированных солонцов.

Цель исследований – выявить изменения физико-химических свойств, происходящих в профиле мелиорированных солонцов корковых многонатриевых после резкого подъема УГВ, и изучить их солевой режим после вторичного засоления.

## ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Исследования проводили в микроделяночном опыте в северо-восточной лесостепи Барабинской равнины в АО “Кабинетное” Чулымского района Новосибирской области. Экспериментальные площадки расположены 55.080833° N, 81.206667° E. Почвы – химически мелиорированные солонцы корковые гидроморфные черноземно-луговые высокосолончаковатые сульфатно-содовые слабо- и средnezасоленные глубококарбонатные с высоким содержанием натрия в иллювиальном (солонцовом) горизонте в целинном состоянии.

Опыт заложен в 1986 г. Р.Ф. Галеевым на плоском межгрядном пространстве с ярко выраженным микрорельефом в виде мелких блюдцеобразных понижений [2]. УГВ подвержен сезонной и многолетней динамике и изменялся по годам от 40 до 350 см. Минерализация грунтовых вод составляла от 1.5 до 2.0 г/л. Закладка опыта проходила следующим образом: на территории будущего опытного участка предварительно разбивали делянки площадью 4 м<sup>2</sup> (2 × 2 м) с расстоянием

между делянками 1 м. Повторность опыта – четырехкратная.

Из каждой делянки вынимали слой почвы 0–20 см (будущий пахотный горизонт) и вручную перемешивали с соответствующей дозой мелиоранта. В делянку, из которой вынималась почва, по периметру заделывали пленку на глубину 30–40 см, после чего в нее помещали почву, перемешанную с мелиорантом (гипсом). Пленку заделывали с небольшим поверхностным напуском, во избежание поверхностного и бокового стоков. Тот же прием повторили на контрольных делянках, но без внесения мелиоранта. Расположение делянок рендомезированное.

Исходные данные пахотного слоя перед закладкой опыта: гранулометрический состав легко- или среднеглинистый, емкость катионного обмена (ЕКО) – 44.7 смоль(экв)/кг почвы, величина рН колебалась от 7.2 до 9.3, содержание обменного  $\text{Na}^+$  в среднем составляло 16.9 смоль(экв)/кг или 47.7% от ЕКО.

Дозы гипса рассчитаны по методу Гедройца на полное вытеснение натрия из ППК (45 т/га), а также 0.25 нормы (11 т/га), 1.25 нормы (56 т/га) и контроль (без гипса) [14]. После отбора буром почвенных образцов скважины заливали парафином во избежание дренажа. В течение всего периода наблюдений (1987–2017) отбор почвенных образцов проводили послойно через 20 см до глубины 100 см.

До 1994 г. на делянках возделывали следующий севооборот: пар черный–озимая рожь–пшеница–овес–овес. На делянках ежегодно проводили зяблевую вспашку на глубину 20 см; весной – предпосевную обработку и посев зерновых культур. Все работы проводили вручную. С 1994 г. опытный участок находился под залежью, но перед этим на делянках была посеяна смесь донника с люцерной. В настоящее время люцерна выпала, а донник продолжает произрастать самосевом.

В 2006 г. на одной из повторностей вскрыли делянки и выкопали почвенные разрезы на глубину 100 см и более. На них в предыдущие годы вели детальные наблюдения, позволяющие в настоящее время выявить изменения свойств солонцов.

Изучение вскрытых морфологических профилей солонцов показало, что в контроле пахотный горизонт представлял собой смесь горизонтов А0, А1 и В1 со значительным преобладанием солонцового. Он имел глыбисто-столбчатую структуру с глянцем на гранях структурных отдельностей. После прекращения механических обработок более чем за 20-летний залежный период столбчатая структура восстановилась внутри пахотного слоя коркового солонца, переходя книзу в ореховато-призмовидную, то есть произошло восстановление природно-естественных связей. Причем из

пахотного коркового солонца формировался именно корковый солонец.

Внесение 0.25 нормы по Гедройцу (11 т/га гипса) обеспечило лишь мелиорирование слоя в 7 см. Глубже начали формироваться фрагменты столбчатого солонцового горизонта. Полные дозы гипса (45 и 56 т/га) создали пахотный горизонт рыхлый комковато-зернистой структуры. Эффект длительного действия гипса проявился и в нижних горизонтах профиля. Чем выше доза гипса, тем выше и устойчивее мелиоративный эффект.

Почвенные образцы отбирали в трехкратной повторности и анализировали каждый отдельно, а затем рассчитывали средний показатель. Определяли обменные основания по Молодцову и состав водной вытяжки в соотношении почва : вода 1 : 5 по общепринятым методикам [19]. Общий натрий представлен суммой обменного и водорастворимого. Статистическую обработку данных, полученных в результате исследований, выполняли в программе Microsoft Office Excel 2007. При сравнении средних значений данных двух выборок применяли *t*-критерий Стьюдента для уровня достоверности 95%.

#### *Погодные условия лет исследований*

Климат Барабинской равнины резко континентальный с продолжительной холодной зимой (5–5.5 мес.), жарким и коротким летом (3–3.5 мес.) и резкими перепадами температур 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, что способствует развитию процессов осолодения и заболачивания. Обнаженная поверхность сильно промерзает и оттаивает лишь к середине мая. Зимой бывают оттепели, особенно в ноябре и декабре. Лето теплое. В июле–августе выпадает значительное количество осадков, которые часто носят ливневый характер. Среднегодовое количество осадков 350 мм. Коэффициент увлажнения изменялся от 0.8 до 1.2. Резко выраженные вековые и более короткие ритмические изменения климата способствовали чередованию процессов засоления и рассоления почв, пространственному перемещению в ландшафтах зон максимального соленакопления, усилению солонцеватости и рассоления почв.

Вегетационные периоды за годы исследований на территории проведения опыта в основном были теплыми и даже жаркими и большей частью увлажненными, что повлияло на растворимость внесенного гипса, свойства солонцов и урожайность сельскохозяйственных культур. На этом фоне резко выделяются погодные условия 2013 г. – они были влажными: в мае–июне выпало 129 мм осадков (в 2 раза больше нормы), а в августе –

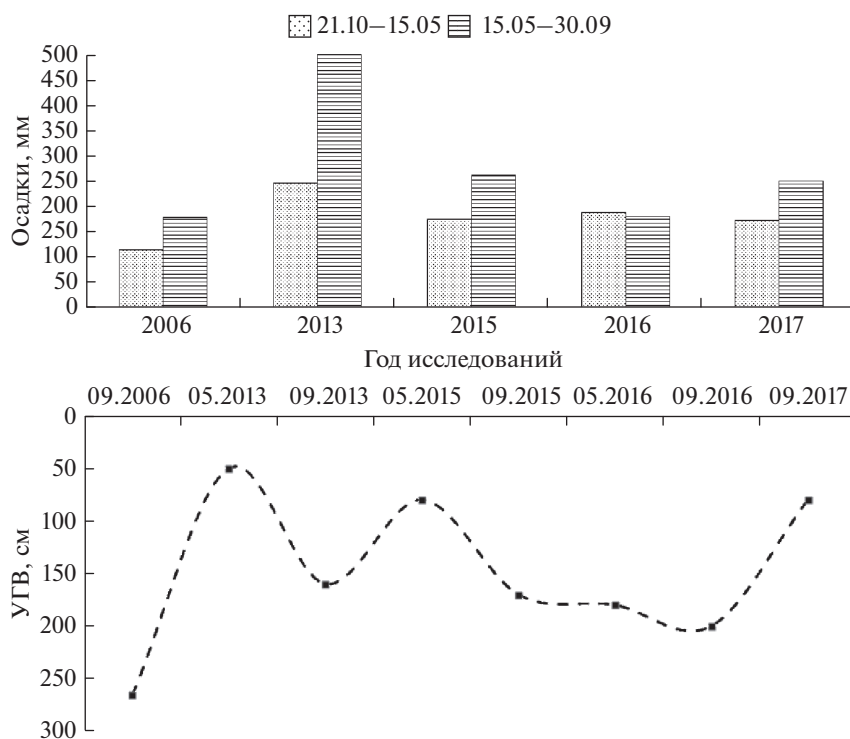


Рис. 1. Осадки и уровень грунтовых вод на экспериментальном участке по данным ГМС «Чулым» за период 2006–2017 гг.

156 мм (почти в 3 раза больше нормы) (рис. 1). Температурный режим — холоднее нормы. Все это в целом способствовало резкому подъему минерализованных грунтовых вод до 50 см и вызвало вторичное засоление профиля мелиорированных солонцов, которое не было ранее зафиксировано в течение 30-летнего периода наблюдений.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Нами установлено, что в первые два года (1987–1988 гг.) действия и последствия гипса в профиле мелиорированных солонцов резко возросло содержание легкорастворимых солей за счет обменных реакций между ППК и кальцием мелиорантов, особенно в слое 0–20 см до 21–23 т/га при их содержании на контроле 3–5 т/га. Соли в основном были представлены ионами кальция, магния, натрия и  $SO_4^{2-}$  [24, 25]. Под влиянием атмосферных осадков и улучшения физических и физико-химических свойств мелиорированных солонцов образовавшиеся легкорастворимые соли промывались в нижележащие горизонты и в грунтовые воды.

В последующие 5 лет (1987–1992) после внесения гипса в варианте с дозой гипса 56 т/га количество легкорастворимых солей снизилось в слое 0–100 см до 51 т/га, при содержании солей в контроле 97 т/га. В мелиорированных вариантах минерализация грунтовых вод увеличилась с 18 до 24 г/л. На восьмой год действия гипса под влия-

нием внутрпочвенных вертикальных потоков влаги постепенно снижалась минерализация грунтовых вод до 10–12 г/л.

Изменения происходили и в ППК солонцов при вовлечении их в сельскохозяйственный оборот. В нем даже без внесения гипса по всему профилю уменьшалось содержание натрия, что связано с высокой подвижностью его ионов как в почвенном растворе, так и в диффузном слое ППК. Подобная закономерность была установлена Самбуром [20], который предложил разделять обменный натрий на активный — находящийся на поверхности почвенной мицеллы и малоактивный — закрепленный в межплоскостных пространствах глинистых минералов. Как отмечал Г.Н. Самбур, после 23-летнего действия гипса в верхнем пахотном горизонте содержалось от 4.3 до 6.9 смоль(экв)/кг натрия, что составило 42–50% от емкости обмена. Полученные нами данные после 30-летнего действия полной дозы гипса (45 т/га), рассчитанной по методу Гедройца, свидетельствуют о практически полном вытеснении его из ППК солонцов при слабом колебании УГВ.

До закладки опыта (1985 г.) максимум содержания обменного натрия в целинных солонцах корковых находился в слое 0–20 см и составлял 16.5 смоль(экв)/кг. С глубиной количество его снижалось, достигая минимума в слое 80–100 см 6.6 смоль(экв)/кг (табл. 1). После вовлечения солонцов в пашню в контроле произошло заметное уменьшение его содержания как на второй, так и

**Таблица 1.** Изменение содержания общего натрия в профиле мелиорированных многонариевых солонцов с 1985 по 2017 гг. (июнь), смоль(экв)/кг

Глубина, см	1985, перед закладкой опыта	1987	2006	2013	2015	2016	2017
Контроль (без гипса)							
0–20	16.5	11.3	6.1	10.9	3.3	7.3	12.69
20–40	15.0	10.8	13.0	16.3	5.5	10.1	14.93
40–60	9.3	6.2	7.6	14.4	5.3	6.8	12.77
60–80	7.4	4.9	5.4	15.2	4.4	5.4	12.77
80–100	6.6	3.3	4.7	15.8	3.7	4.2	–
Доза гипса 11 т/га							
0–20	18.2	11.0	4.3	7.1	5.1	Нет данных	12.62
20–40	14.6	12.7	4.3	16.1	7.4	»	12.77
40–60	8.3	6.3	6.9	17.3	6.6	»	14.78
60–80	6.3	3.8	5.9	12.8	6.1	»	10.28
80–100	6.3	3.1	5.1	10.4	5.8	»	10.21
Доза гипса 45 т/га							
0–20	14.6	5.7	1.1	2.6	1.9	4.5	9.95
20–40	16.3	11.8	1.9	5.1	2.6	6.4	8.78
40–60	9.7	7.6	3.1	1.9	4.0	5.4	10.60
60–80	7.1	4.5	4.0	7.2	5.5	5.2	13.02
80–100	6.6	3.5	3.3	9.4	5.1	4.8	9.95
Доза гипса 56 т/га							
0–20	18.1	5.1	0.6	2.0	2.8	4.6	8.15
20–40	14.1	11.6	1.0	2.6	3.8	7.0	8.15
40–60	13.5	7.3	1.4	3.8	3.2	6.7	12.62
60–80	8.1	4.4	2.3	4.9	4.4	6.2	10.21
80–100	6.1	3.1	2.2	4.6	4.2	4.9	–

Примечание.  $n = 3$ ;  $p = 0.05$ .

на 21-ый год действия. Однако на 21-ый год после прекращения использования солонцов в пашне в профиле контрольного варианта содержание натрия увеличилось в слое 20–40 см до 13 смоль(экв)/кг, то есть в залежи происходит постепенное восстановление содержания натрия до исходного состояния.

Ранее установлено [21], что решающим фактором начала формирования профиля солонцов в почвах гидроморфного ряда (лугово-черноземных, черноземно-луговых и луговых) является критическое содержание натрия в профиле почв в количестве 2.5–3.0 смоль(экв)/кг. В дальнейшем формирование иллювиального (солонцового) горизонта может происходить экспоненциально под воздействием природных факторов.

Отмечено, что в течение всего срока наблюдений ни в одном слое изучаемых солонцов в контроле содержание натрия не было меньше 3.0 смоль(экв)/кг, то есть происходило развитие процесса солонцеобразования.

В середине прошлого столетия в почвоведении активно обсуждалась проблема состояния гипса после его внесения в солонцы. По мнению Можейко [13], для солонцов Украины характерно хелатирование частиц гипса, внесенного в качестве мелиоранта, то есть не вступившие в реакцию обмена с ППК частицы гипса покрываются тонкими плен-

ками органо-минеральных соединений, представленных в основном фульвокислотами, и становятся недоступными для обменных реакций.

Полученные нами многолетние данные свидетельствуют о том, что обменные процессы между катионами ППК солонцов и кальцием гипса постепенные и длительные. Хелатирование гипса не наблюдалось. Особенно выделялись результаты 2006 г., когда было заметно последствие даже от внесения дозы гипса 11 т/га и содержание натрия в слое 20–40 см снизилось по сравнению с контролем. Отсутствие увеличения количества натрия в слое 20–40 см свидетельствует о длительном действии гипса. Однако этой дозы недостаточно для прекращения процесса солонцеобразования, о чем свидетельствует восстановление столбчатой структуры в профиле почв данного варианта [22].

Действие полной (45 т/га) и повышенной (56 т/га) доз гипса выразилось в усиленном вытеснении натрия из ППК по всему профилю, причем, чем выше была доза мелиоранта, тем больше натрия вытеснялось. Так, в 2006 г. в варианте с внесением дозы гипса 45 т/га в слое 0–20 см содержалось всего 1.1, а в варианте 56 т/га – 0.55 смоль(экв)/кг, то есть содержание натрия стало значительно меньше критического, что свидетельствует о торможении

**Таблица 2.** Содержание общего, водорастворимого, обменного натрия и величины рН в длительно мелиорированном солонце многонатриевом (весна—осень 2016 г.), смоль(экв)/кг

Глубина, см	Весна			Осень			рН	
	Na <sub>общ</sub>	Na <sub>вр</sub>	Na <sub>обм</sub>	Na <sub>общ</sub>	Na <sub>вр</sub>	Na <sub>обм</sub>	весна	осень
Контроль (без гипса)								
0–20	7.26	2.18	5.08	4.61	2.50	2.11	9.60	8.33
20–40	10.12	3.41	6.98	8.64	3.98	4.66	9.70	8.65
40–60	6.82	1.54	5.28	4.70	3.24	1.46	9.70	8.56
60–80	5.94	1.43	4.51	3.97	2.50	1.47	9.70	8.50
80–100	4.18	2.84	1.34	2.97	1.54	1.43	9.65	8.03
Доза гипса 11 т/га								
0–20	—	—	—	1.97	1.17	0.80	—	7.68
20–40	—	—	—	3.33	1.67	1.66	—	8.06
40–60	—	—	—	3.88	1.91	1.97	—	8.24
60–80	—	—	—	3.70	2.04	1.66	—	8.25
80–100	—	—	—	3.42	1.78	1.64	—	8.27
Доза гипса 45 т/га								
0–20	4.49	1.65	2.84	1.89	0.83	1.06	9.30	7.64
20–40	6.38	2.00	4.38	1.42	0.77	0.65	9.50	8.02
40–60	5.37	1.76	3.61	1.65	0.78	0.87	9.87	8.0
60–80	5.19	1.87	3.32	1.97	0.87	1.10	9.70	8.15
80–100	4.84	1.87	2.97	2.13	1.00	1.13	9.70	8.24
Доза гипса 56 т/га								
0–20	4.62	1.54	3.08	0.87	0.55	0.32	9.00	7.98
20–40	7.04	2.22	4.82	1.42	0.73	0.69	9.50	8.03
40–60	6.69	2.16	4.53	2.29	0.91	1.38	9.50	8.17
60–80	6.18	1.76	4.42	2.70	1.28	1.42	9.50	8.30
80–100	4.49	1.56	2.93	2.97	1.30	1.67	9.50	8.43
Солонец многонатриевый (целина)								
0–20	20.46	6.98	13.48	4.43	1.78	2.65	9.80	7.96
20–40	22.88	8.25	14.63	5.52	3.07	2.45	10.10	8.50
40–60	11.22	3.63	7.59	4.52	2.17	2.35	9.90	8.58
60–80	8.14	2.97	5.17	3.70	2.87	0.83	9.70	8.12
80–100	4.18	1.54	2.64	2.79	1.41	1.38	9.50	7.80
Черноземно-луговая почва (целина)								
0–20	0.57	0.11	0.46	—	—	—	7.60	—
20–40	1.01	0.39	0.62	—	—	—	8.40	—
40–60	0.88	0.22	0.66	—	—	—	8.80	—
60–80	1.19	0.42	0.77	—	—	—	9.00	—
80–100	1.58	0.64	0.94	—	—	—	9.30	—

Примечание.  $n = 3$ ;  $p = 0.05$ .

развития солонцеобразовательного процесса. При этом УГВ слабо менялся и находился на глубине 233–250 см (табл. 2). При подъеме минерализованных грунтовых вод в 2013 г. с 250 до 50 см произошло значительное вторичное засоление как контрольных, так и мелиорированных вариантов солонцов, что вызвало изменение состава ППК. Оборин [16], Самбур [19] и другие исследователи также наблюдали вторичное засоление при подъеме минерализованных грунтовых вод.

Из данных табл. 1 видно, что в 2013 г. в профиле почв во всех вариантах опыта произошло резкое увеличение содержания общего натрия, особенно в контрольном варианте, где его содержание в слоях 40–100 см возросло по сравнению с

исходным (1985 г.) в 1.5–2.0 раза и более. Такие же показатели характерны и для нижних слоев в варианте с дозой гипса 11 т/га, однако в слое 0–20 см содержание общего натрия по сравнению с 2006 г. увеличилось незначительно. Сказалось действие одноразового внесения 1/4 расчетной дозы гипса. В вариантах с полной и повышенной дозами гипса увеличение содержания натрия было менее заметным. Полученные результаты исследований позволяют сделать вывод о том, что одноразовое внесение расчетной дозы гипса способствует снижению эффекта вторичного засоления.

В последующие годы (2015–2017 гг.), в зависимости от погодных условий и УГВ, количество натрия в профиле почв постепенно снижалось.

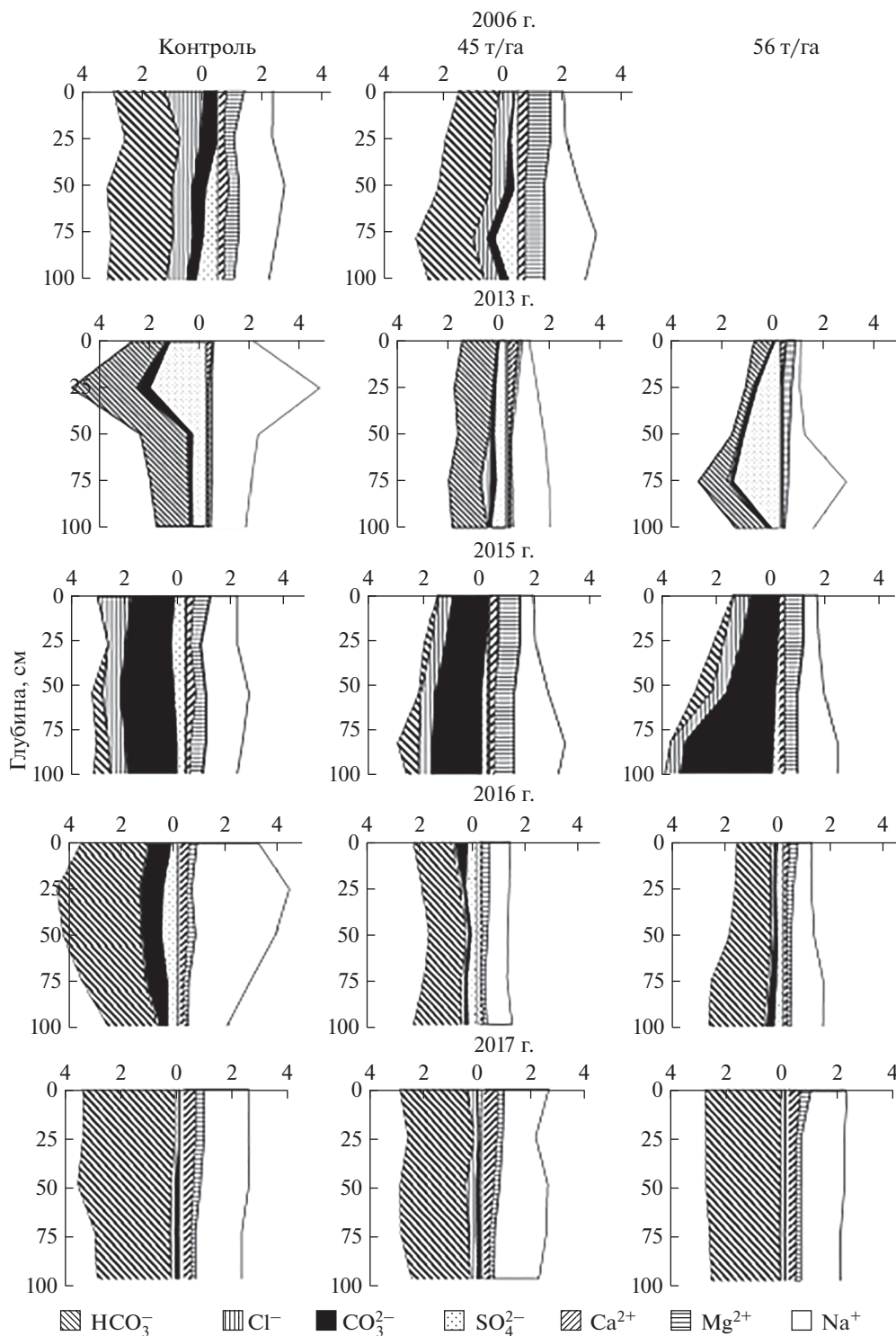


Рис. 2. Динамика солевого состава мелиорированных солонцов.

Результаты исследований свидетельствуют (табл. 2), что весной в профиле почв происходило увеличение содержания общего натрия, а к осени — уменьшение. На третий год после поднятия грунтовых вод общее содержание натрия по всему профилю снизилось и приблизилось к показате-

лям 2006 г., то есть эффект вторичного засоления по годам уменьшался, и постепенно восстанавливалось действие гипса (рис. 2). Обменные формы натрия во всех вариантах опыта преобладали над водорастворимыми. В осенний период в мелиорированных солонцах в слоях 0–20, 20–40 и 40–

**Таблица 3.** Состав поглощенных оснований в профиле солонцов многонариевых на третий год после вторичного засоления (2016 г.)

Глубина, см	<i>S</i>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>
	смоль(экв)/кг					% от <i>S</i>			
Контроль (без гипса)									
0–20	29.92	7.20	17.55	4.61	0.56	24.06	58.66	15.41	1.87
20–40	25.97	2.20	14.60	8.64	0.53	8.47	56.22	33.27	2.04
40–60	20.12	3.00	11.97	4.70	0.45	14.91	59.49	23.36	2.24
60–80	19.27	3.50	11.32	3.97	0.46	18.16	58.74	20.60	2.39
80–100	19.98	3.90	12.63	2.97	0.48	19.52	63.22	14.86	2.40
Доза гипса 11 т/га									
0–20	33.48	11.10	19.84	1.97	0.57	33.15	59.27	5.88	1.70
20–40	27.90	5.50	18.53	3.33	0.54	19.71	66.42	11.94	1.93
40–60	22.07	4.10	13.61	3.88	0.48	18.58	61.67	17.58	2.17
60–80	19.65	3.50	11.97	3.70	0.46	17.81	60.93	18.83	2.34
80–100	20.03	3.50	12.63	3.42	0.48	17.47	63.06	17.07	2.40
Доза гипса 45 т/га									
0–20	37.88	16.90	18.53	1.89	0.56	44.61	48.92	4.99	1.48
20–40	26.90	7.70	17.22	1.42	0.56	28.62	64.02	5.28	2.08
40–60	22.89	5.50	15.25	1.65	0.49	24.03	66.62	7.21	2.14
60–80	21.82	5.40	13.94	1.97	0.51	24.74	63.89	9.03	2.34
80–100	20.14	4.90	12.63	2.13	0.48	24.33	62.71	10.58	2.38
Доза гипса 56 т/га									
0–20	34.27	17.50	15.25	0.87	0.65	51.06	44.50	2.54	1.90
20–40	26.94	8.50	16.40	1.42	0.62	31.55	60.88	5.27	2.30
40–60	21.82	5.10	13.94	2.29	0.49	23.37	63.89	10.49	2.25
60–80	18.76	4.30	11.32	2.70	0.44	22.92	60.34	14.39	2.34
80–100	17.11	3.70	10.00	2.97	0.44	21.62	58.45	17.36	2.57
Солонец многонариевый (целина)									
0–20	36.78	8.9	22.96	4.43	0.49	24.20	62.42	12.04	1.33
20–40	24.45	2.2	16.24	5.52	0.49	9.00	66.42	22.58	2.00
40–60	21.04	2.8	13.28	4.52	0.44	13.33	63.11	21.48	2.09
60–80	19.28	3.2	11.97	3.70	0.41	16.60	62.08	19.19	2.13
80–100	15.83	3.0	9.68	2.79	0.36	18.95	61.15	17.62	2.27

Примечание. *S* – сумма поглощенных оснований,  $n = 3$ ;  $p = 0.05$ .

60 см обменных и водорастворимых форм натрия было значительно меньше, чем в контроле.

В этом же году нами был вскрыт профиль целинного солонца, расположенного в непосредственной близости от опытного участка. Весной в нем зафиксировали высокое содержание как водорастворимого, так и обменного натрия. В слое 0–20 см содержание общего натрия составило 20.46 смоль(экв)/кг, а к осени оно уменьшилось до 4.43, что свидетельствует о его большой динамичности.

Особый интерес представляет состав обменных катионов: Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup> в ППК солонцов (табл. 3). Из приведенных данных видно, что в изучаемых солонцах в ППК преобладают катионы Mg<sup>2+</sup> – от 44.5 в мелиорированных до 66% в контрольных вариантах от суммы поглощенных оснований. Количество натрия значительно меньше – от 2.5–5.3% в мелиорированных вариантах до 12–22.6 в контроле. Установлено, что в присутствии большого количества натрия магний уси-

ливает свойства последнего, а в присутствии большого количества кальция способствует усилению его свойств [17], что четко прослеживается по данным табл. 3. Содержание обменного кальция в слое 0–20 см в контрольном и целинном солонце примерно одинаково (24.2%). В мелиорированных вариантах – значительно больше – от 33.1 до 51% (при внесении гипса от 11 до 56 т/га соответственно), что свидетельствует о действии гипса, внесенного 32 года назад, и после вторичного засоления.

Вторичное засоление способствовало увеличению щелочности в почвах. В 2006 г. величина pH в контроле и в варианте гипс 11 т/га в слоях 0–20 и 20–40 см была в щелочном интервале. В варианте с полной и повышенной дозами гипса – в слабощелочном и щелочном, то есть величина pH была приемлемой для возделывания солеустойчивых сельскохозяйственных культур. В год подъема минерализованных грунтовых вод (2013) она во всех слоях изучаемых почв весной находи-



лась в сильнощелочном интервале, оставаясь такой же и в осенний период.

Через год после подъема грунтовых вод щелочность почв несколько уменьшилась, но снижение было незначительным, особенно в варианте с полной дозой гипса. В 2017 г. величина рН в мелиорированных солонцах приблизилась к показателям 2006 г. В контроле и в варианте гипса 11 т/га величина рН по профилю уменьшилась и оказалась в щелочном интервале.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В Барабинской равнине Западной Сибири уровень залегания грунтовых вод подвержен значительным колебаниям, которые в определенной степени зависят от количества выпавших осадков. В сильноувлажненном 2013 г. грунтовые воды поднялись с 270 до 50 см. Возросла степень их минерализации — увеличилась щелочность, количество карбонатов и бикарбонатов и, особенно, катионов натрия, что привело к вторичному засолению, в том числе и мелиорированных солонцов.

В первые годы действия гипса в профиле солонцов активно протекали обменные реакции между натрием ППК и катионами кальция мелиоранта. Поэтому в мелиорированных солонцах увеличивалось содержание легкорастворимых солей — продуктов обмена, которые в дальнейшем постепенно удалялись в нижние горизонты и далее — в грунтовые воды. Профиль солонцов, мелиорированных полной и повышенной дозами гипса, приблизился по своим свойствам к профилю черноземно-луговой солонцеватой почвы.

Установлено, что, если в ППК гор. В засоленных почв обменного натрия <3 смоль(экв)/кг, то столбчатая структура в нем не формируется, а выше данного количества — начинает образовываться типичный для условий Барабинской равнины столбчатый солонцовый гор. В. В контроле в течение всех лет наблюдений содержание обменного Na было более 3 смоль(экв)/кг, что способствовало восстановлению столбчатого горизонта после перевода экспериментального участка в залежь.

Резкий подъем минерализованных грунтовых вод вызвал вторичное засоление солонцов. В контроле и варианте с дозой гипса 11 т/га содержание Na<sup>+</sup> увеличилось по всему метровому профилю. В слое 0–20 см количество натрия возросло с 0.6–1.1 до 6.1–4.3 смоль(экв)/кг соответственно. В нижних горизонтах оно значительно превысило зафиксированное при закладке опыта — до 14–16 в контроле и до 10–17 смоль(экв)/кг в варианте 11 т/га гипса. В мелиорированных солонцах с полной и повышенной дозами гипса содержание натрия в профиле также возросло, но меньше, чем в контроле. В последующие годы (2014–2017) при снижении УГВ профили солонцов постепенно рассолялись, как в контрольных вариантах, так и в ме-

лиорированных. Интенсивность их рассоления была примерно одинаковой.

После произошедшего вторичного засоления в ППК солонцов преобладали катионы Mg<sup>2+</sup>, на долю которых приходилось от 44 до 66% и более от суммы поглощенных оснований. В солонцах, мелиорированных полной и повышенной дозами гипса, в ППК поглощенного Ca<sup>2+</sup> было несколько больше по всему профилю, чем в контроле и в варианте 11 т/га гипса. После вторичного засоления происходило постепенное рассоление солонцов. Действие химической мелиорации сохранялось. В год проявления вторичного засоления почв резко возросла щелочность. Величина рН находилась как весной, так и осенью на всех вариантах опыта в сильнощелочном интервале. В последующие годы она снижалась постепенно и более заметно на мелиорированных вариантах.

Полученные результаты многолетних исследований длительности действия одноразового внесения гипса согласуются с результатами исследований А.И. Оборина. Отмечены новые данные последствия гипсования в профиле солонцов после вторичного засоления мелиорированных почв грунтовыми водами и зафиксировано частичное восстановление мелиоративных процессов (удаление солей, увеличение содержания поглощенного Ca<sup>2+</sup> в ППК, снижение величины рН).

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Березин Л.В. Мелиорация и использование солонцов Сибири. Омск, 2005. 208 с.
2. Галеев Р.Ф. Особенности химической мелиорации солонцов с различным содержанием обменного натрия. Дис. ... канд. с.-х. наук. Новосибирск, 1994. 162 с.
3. Гедройц К.К. Солонцы, их происхождение, свойства и мелиорация // Избр. соч. М.: 1932. Т. 1. 141 с.
4. Гиндемит А.М. Свойства малонатриевых солонцов лесостепной зоны Омского Прииртышья. Дис. ... канд. биол. наук. Омск, 2012. 113 с.
5. Градобоев Н.Д. Опыт мелиорации солонцовых почв в Омской области. Омск: Зап.-Сиб. кн. изд-во, 1973. 30 с.
6. Еремченко О.З. Природно-антропогенные изменения солонцовых почв в Южном Зауралье. Пермь, 1997. 315 с.
7. Еремченко О.З. Химическая мелиорация солонцов Зауралья: Автореф. дис. ... канд. биол. наук. Новосибирск, 1986. 16 с.
8. Качественная характеристика и культуртехническое состояние земель в Российской Федерации на 01.01.1996 г. М.: Роскомзем, 1996. 141 с.
9. Ковда В.А. Моделирование процессов засоления и осолонцевания почв. М.: Наука, 1980. 264 с.
10. Константинов М.Д. Агробиологический метод мелиорации солонцов Южного Урала и Западной Сибири. Новосибирск, 2000. 360 с.
11. Константинов М.Д. Фитомелиоративные луговые севообороты на солонцовых почвах Западной Сибири. Новосибирск, 2011. 104 с.

12. Кулебакин П.Г. Послойная обработка солонцов Барабинской низменности. Новосибирск: Наука, 1980. 149 с.
13. Можейко А.М. Взаимодействие гипса с коллоидным комплексом солонцеватых почв // Зап. Харьк. СХИ. 1946. Т. 5(13). С. 199–224.
14. Назарчук А.Г. Мелиорация солонцов землеванием. М.: Колос, 1995. 94 с.
15. Новикова А.В. Засоленные почвы, их распространение в мире, окультуривание и вопросы экологии. Харьков, 2004. 120 с.
16. Оборин А.И. О мелиорации и освоении солонцов в условиях неорошаемого земледелия черноземной полосы Западной Сибири // Вопросы мелиорации солонцов М.: Изд-во АН СССР, 1958. С. 239–278.
17. Панов Н.П. Особенности генезиса почв солонцовых комплексов степной зоны. Автореф. дис. ... д. с.-х. наук. М., 1972. 36 с.
18. Панкова Е.И. Засоленные почвы России. М.: ИКЦ “Академкнига”, 2006. 854 с.
19. Практикум по агрохимии / Под ред. Минеева В.Г. М.: Изд-во Моск. ун-та, 2001. 687 с.
20. Самбур Г.Н. Подвижность обменного натрия и обоснование норм гипса при мелиорации солонцов // Почвоведение. 1963. № 11. С. 35–46.
21. Семендяева Н.В., Добротворская Н.В. Теоретические и практические аспекты химической мелиорации солонцов Западной Сибири. Новосибирск, 2005. 156 с.
22. Семендяева Н.В., Елизаров Н.В., Галеева Л.П., Коробова Л.Н. Длительность действия химической мелиорации на свойства солонцов Барабинской равнины. Новосибирск, 2017. 189 с.
23. Семендяева Н.В., Елизаров Н.В. Особенности солепередвижения в профиле длительно мелиорированных солонцов Барабы // Вестник НГАУ. 2016. № 1(38). С. 36–42.
24. Семендяева Н.В., Елизаров Н.В. Солевой состав грунтовых вод и длительно мелиорированных солонцов Барабы // Почвоведение. 2017. № 10. С. 1220–1228.
25. Семендяева Н.В. Свойства солонцов Западной Сибири и теоретические основы химической мелиорации. Новосибирск, 2002. 157 с.
26. Соколов В.И. Приемы улучшения солонцовых почв Северной Кулунды // Мелиорация солонцов. М., 1972. Ч. 2. С. 209–217.
27. Яковлев В.Х. Повышение плодородия и продуктивности солонцов в Западной Сибири. Новосибирск: Наука, 1989. 131 с.
28. Belić M., Njčić L., Dimitrijević M., Petrović S., Ćirić V., Pekeč S., Vasin J. Impact of reclamation practices on the content and qualitative composition of exchangeable base cations of the solonetz soil // Austral. J. Crop Sci. 2012. V. 6. № 10. P. 1471–1480.
29. Furquim S.A.C., Santos M.A., Vidoca T.T., Balbino M. de A., Cardoso E.L. Salt-affected soils evolution and fluvial dynamics in the Pantanal wetland, Brazil // Geoderma. 2017. V. 286. P. 139–152.
30. IUSS Working Group WRB. World Reference Base for Soil Resources 2014, update 2015. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. World Soil Resources Reports. Rome: FAO, 2015. № 106.
31. Juhosa K., Czirány B., Madarász B., Ladányi M. Interpretation of soil quality indicators for land suitability assessment A multivariate approach for Central European arable soils // Ecological Indicators. 2019. V. 99. P. 261–272.
32. Meng Q.F., Li D.W., Zhang J.I., Zhou L.R., Ma X.F., Wang H.Y., Wang G.C. Soil properties and corn (*Zea mays* L.) production under manure application combined with deep tillage management in solonchic soils of songnen plain, northeast China // J. Integrative Agriculture. 2016. V. 15. № 4. P. 879–890. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(15\)61196-0](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(15)61196-0)
33. Zhang T., Zhan X., He J., Feng H., Kang Y. Salt characteristics and soluble cations redistribution in an impermeable calcareous saline-sodic soil reclaimed with an improved drip irrigation // Agricultural Water Management. 2018. V. 197. P. 91–99.

## Secondary Salinization of Reclaimed Solonchets and Its Post-Effects

N. V. Semendyaeva<sup>1,2,#</sup>, N. I. Dobrotvorskaya<sup>1</sup>, and N. V. Elizarov<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup>Siberian Federal Scientific Centre of Agro-BioTechnologies of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, 630501 Russia

<sup>2</sup>Novosibirsk State Agrarian University, Novosibirsk, 630039 Russia

<sup>3</sup>Institute of Soil Science and Agrochemistry of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk, 630090 Russia

#e-mail: semendyaeva@ngs.ru

The studies were carried out in a long-term stationary experiment on crusty hydromorphic solonchets of the Baraba Plain during 1986–2017. In the humid year of 2013, the ground water table drastically raised from the depth of 250 to 50 cm, and secondary salinization was recorded. The content of readily soluble salts increased, their composition changed, and pH shifted to higher values; the share of exchangeable sodium increased either. After lowering of the ground water table, salts were gradually washed out of the soil profile in the reclaimed solonchets, and the positive effect of gypsum was partially restored. Thus, in the control variant, Mg<sup>2+</sup> cations prevailed in the exchange complex while in the reclaimed solonchets, Ca<sup>2+</sup> predominated. This phenomenon should be considered when reclaiming solonchets, since the positive effect of gypsum application is preserved after secondary salinization.

**Keywords:** secondary salinization, groundwater, exchangeable bases, Salic Gleyic Solonchets, sodic soil