

УДК 631.48

ВЛИЯНИЕ РОЮЩЕЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ МАЛОГО СУСЛИКА НА ПОЧВЫ ПЕРВОЙ ТЕРРАСЫ СОРА ХАКИ БОТКУЛЬСКО-ХАКСКОЙ ДЕПРЕССИИ*© 2014 г. Н. П. Шабанова¹, М. П. Лебедева (Верба)², А. В. Быков¹¹Институт лесоведения РАН, 143030, Московская обл., Одинцовский р-н, с. Успенское, ул. Советская, 21²Почвенный институт им. В.В. Докучаева Россельхозакадемии, 119017, Москва, Пыжевский пер., 7
e-mail: shabanova_nata@mail.ru; m_verba@mail.ru

Поступила в редакцию 18.04.2013 г.

Изучено влияние роющей деятельности малого суслика (*Spermophilus pygmaeus* Pall.) на формирование микрорельефа и почв при близком залегании сильноминерализованных грунтовых вод на территориях с периодом континентального развития в 10.5–12.7 тыс. лет. Дана количественная оценка доли участия элементов микрорельефа, связанная с роющей деятельностью. Установлено, что на относительно молодых территориях образование микроповышений-сусликовин начинается еще при высоком расположении грунтовых вод, однако вследствие бедности растительного покрова и близкого залегания грунтовых вод плотность их распределения невелика и составляет 3%. В дальнейшем при понижении базиса эрозии и увеличении возраста территории возрастает степень зоогенного воздействия. На первой террасе сора Хаки появление малочисленных микроповышений-сусликовин приводит к формированию первичной неоднородности почвенно-растительного покрова. Почвенный покров состоит из солонцов светлых солончаковых квазиглееватых под лебедово-сантонийскопопынной растительностью (*Gypsic Salic Solonetz* (Albic, Ruptic, Oxiaquic, Siltic)) и зоогурбированных солонцов под сантонийскопопынно-лерхопопынной ассоциацией (*Endosalic Hurogypsic Gypsisol* (Sodic, Siltic, Novic)). Проведен сравнительный анализ морфологии профиля и некоторых химических свойств целинных и зоогеннонарушенных почв сусликовин. Почвы сусликовин характеризуются сильной перерытостью и практически полным разрушением структуры горизонтов. В них происходит достоверное увеличение общего запаса солей по сравнению с целинными почвами, в основном за счет накопления гипса. Однако содержание токсичных солей в профиле остается довольно высоким, что обусловлено их интенсивным подтягиванием из сильноминерализованных грунтовых вод. На первой террасе процесс зоогенной мелиорации на сусликовинах ограничен и не проникает на большую глубину.

Ключевые слова: роющая деятельность, микрорельеф, засоленность, генезис, эволюция, солонцы.

DOI: 10.7868/S0032180X14030095

ВВЕДЕНИЕ

Между почвой и населяющими ее сообществами живых организмов существует теснейшая взаимозависимость. Деятельность животных является важным и во многом необходимым условием формирования современных почв. Наиболее важное значение для преобразования почвенного покрова имеет именно роющая деятельность животных, которая распространена почти повсеместно. Максимально ее разнообразие, как известно [1, 21, 28, 29], в степях и пустынях, где рытье нор служит для большинства животных единственным способом укрытия от врагов и неблагоприятных климатических воздействий.

В глинистой полупустыне Волго-Уральского междуречья роющая деятельность малого суслика

(*Spermophilus pygmaeus* Pall.) является одним из основных факторов, обуславливающим формирование специфического микрорельефа и комплексности почвенно-растительного покрова. Формирование биогеоценозов этой территории изначально происходило при непосредственном участии зоогенного фактора. Известно, что малый суслик начинал заселять территории Прикаспийской низменности практически сразу после ее освобождения от вод моря [10]. Деятельность именно этого вида наложила специфический отпечаток на весь облик и структуру экосистем региона [2, 5, 6].

В связи с этим изучение роющей деятельности малого суслика и степени его воздействия на биогеоценозы территорий, достаточно недавно освободившихся от морских вод (10.5–12.7 тыс. лет назад), представляется нам актуальным, так как помогает выяснению общих причин происхожде-

* Работа частично была выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 04-12-00990).

ния характерного мозаичного облика почвенного и растительного покровов современных сухих степей и полупустынь.

Ранее нами рассматривались особенности формирования микрорельефа и комплексного почвенного покрова на второй террасе сора Хаки [27]. В данной статье мы рассмотрели более ранний этап этого процесса, протекающего на первой террасе сора Хаки, которая по сравнению со второй террасой характеризуется относительно более коротким периодом континентального развития, соответственно, менее длительным зоогенным воздействием при близком залегании грунтовых вод.

Террасы сора Хаки слабо исследованы. Для этих относительно молодых территорий отсутствуют необходимые характеристики почвенного и растительного покровов, количественные характеристики степени развития микрорельефа, не оценены масштабы средообразующей деятельности малого суслика. В литературе встречаются единичные данные по свойствам почв, почвообразующих пород и грунтовых вод [2, 3, 7, 8, 16, 20].

Целью данной работы было выявление роли роющей деятельности малого суслика в формировании особенностей микрорельефа и почв на территориях с непродолжительным (10.5–12.7 тыс. лет) периодом континентального развития в условиях близкого залегания сильноминерализованных грунтовых вод.

В задачи исследований входило: 1 – составление карты микрорельефа (на типичный участок первой террасы сора Хаки); 2 – оценка доли участия элементов микрорельефа, связанных с роющей деятельностью животных, 3 – характеристика особенностей морфологического строения целинных и зоогеннонарушенных почв, 4 – изучение химических свойств основных типов почв первой террасы сора Хаки.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Сор Хаки находится на Прикаспийской низменности в пределах Боткульско-Хакской депрессии и представляет собой заключительный этап отмирания озера в условиях пустынного климата [20]. На поздних стадиях отступления Хвалынского моря депрессия представляла собой залив, оторвавшийся от моря и существующий как солевой усыхающий реликтовый водоем. Дольше всего этот водоем сохранялся в пределах сора Хаки. Снижение уровня Позднешвалынского моря происходило неравномерно и сопровождалось остановками и вторичными трансгрессиями. Выделяется три стадии вторичных трансгрессий и задержек уровня моря: на абсолютной высоте 0 м (около 16300 ± 2100 лет), на высоте $-5...-6$ м (около 14600 ± 2100 лет) и на высоте $-10...-12$ м

(около 12720 ± 400 лет) [26]. Таким образом участки, ограниченные на местности высотами $-10, -5$ и 0 м ниже уровня моря, представляют собой разновозрастные территории с последовательно нарастающей длительностью периода континентального развития. В сравнении с другими литолого-геоморфологическими районами северной части Прикаспийской низменности Боткульско-Хакская депрессия является наиболее молодой территорией.

Депрессия представляет собой суглинистую, к югу опесчанивающуюся, пониженную поверхность. Для нее характерен жаркий и сухой климат с теплым летом и умеренно холодной зимой. Среднегодовое количество осадков ($175-160$ мм) во много раз меньше величины испаряемости, достигающей 1000 мм [13].

Грунтовые воды депрессии являются наиболее минерализованными в пределах Северного Прикаспия. От окраины к центру депрессии уменьшается глубина их залегания, увеличивается степень их засоленности и доля хлоридов среди анионов. Минерализация грунтовых вод может достигать $30-60$ г/л [3].

Первая терраса депрессии Хаки сложена аллювиально-слоистыми наносами.

Террасы сора Хаки находятся в переходной полосе между светло-каштановыми и бурными полупустынными почвами. Обширные пространства здесь заняты в основном луговыми солонцами с небольшой долей светло-каштановых почв (по [16]). По данным Андрущенко с соавт. [3], почвенный покров террас сора Хаки представлен лугово-полупустынными солончаковыми солонцами с луговыми осолоделыми почвами в лиманах.

Изучение строения микрорельефа и почв лугово-полупустынного комплекса проводилось на типичном участке первой террасы сора Хаки в 2006–2009 гг. Ключевой участок располагался на северо-восточной оконечности сора, в 1 км от уреза ($48^{\circ}45'09''$ с.ш., $47^{\circ}20'20''$ в.д.). Первая терраса выражена не повсеместно и местами занимает лишь узкую полосу вдоль северо-восточного берега сора [27]. С востока к ней примыкает массив Урдинских песков. Абсолютная высота первой террасы – -10 м.

Для характеристики участка заложена опытная площадь размером 100×100 м, на которой проведена нивелирная съемка микрорельефа. Площадная съемка выполнена по сетке с шагом в 2 м с дополнительными точками на вершинах бугорков, на самых низких позициях и на хорошо заметных перегибах. Картографическое изображение микрорельефа было получено с помощью пакета программ Surfer, при интерполяции использован метод ближайших точек.

Для изучения влияния роющей деятельности малого суслика на почвы заложены три пары раз-

резов: на ровных ненарушенных зоогенной деятельностью участках и на сусликовинах. Возле разрезов бурили скважины до грунтовых вод. Влажность почвогрунтов, отобранных при бурении через 10 см до грунтовых вод, определяли термовесовым методом [25]. Почвенные анализы проводили в образцах, взятых из генетических горизонтов, и в образцах, отобранных из буровых скважин послойно через 10 см от поверхности до грунтовых вод. В послойных образцах определяли состав водных вытяжек, в образцах генетических горизонтов – величину рН (1 : 2.5), содержание карбонатов, гипса, обменных катионов и гумуса. Также анализировали грунтовые воды, в которых определяли общую минерализацию и состав солей. Определения содержания гипса, карбонатов и обменных катионов проведены в инструментально-аналитической лаборатории Почвенного института им. В.В. Докучаева.

Анализ водной вытяжки выполняли общепринятыми методами [11], но концентрацию иона SO_4^{2-} определяли по методике Комаровского [12]. Содержание Na^+ в водной вытяжке рассчитывали по разности между суммой анионов и суммой ($Ca^{2+} + Mg^{2+}$). По результатам анализа водной вытяжки рассчитывали запасы солей в профиле с учетом плотности и мощности слоев. Обменные катионы определяли по методу Пфедфера в модификации Молодцова и Игнатовой [11]. Остальные анализы были проведены по стандартным методикам [4, 11]. Статистическая обработка результатов выполнена по руководству Дмитриева [13] с использованием пакета программ Excel. Засоленность оценивали согласно критериям, приведенным в монографии “Засоленные почвы России” [17].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Характеристика микрорельефа и роющей деятельности. Ключевой участок представляет собой практически абсолютно ровную поверхность со слабым уклоном в сторону уреза сора Хаки (рис. 1). Микрорельеф участка выражен слабо и состоит из редких микроповышений округлой формы. Диаметр микроповышений составляет от 1.5 до 3 м, а высота – 12–22 см. Количество микроповышений постепенно увеличивается по мере удаления от берега. По результатам наших подсчетов микроповышения занимают 3% от площади ключевого участка.

Поселения малого суслика на первой террасе характеризуются малой плотностью распределения (5–6 шт./га) сравнительно небольших сусликовин, которые являются здесь единственными неровностями микрорельефа. Все микроповышения на участке являются сусликовинами.

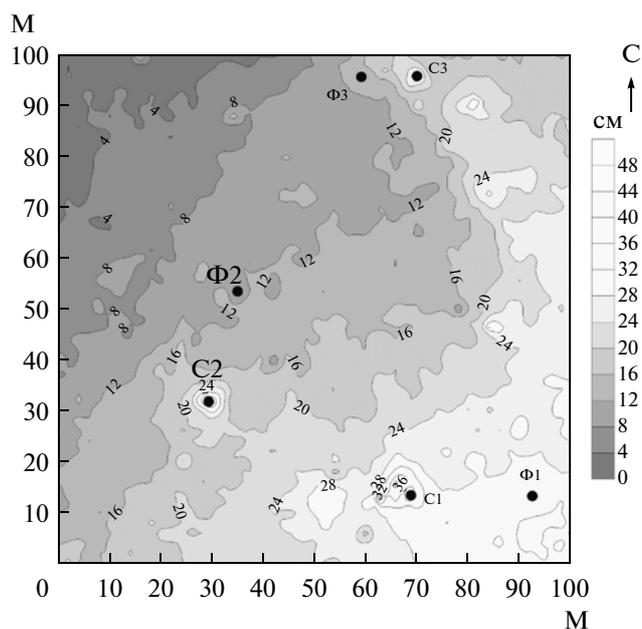


Рис. 1. Микрорельеф ключевого участка. Высота относительная, выражена в сантиметрах. Сечение через 4 см. Кружками показаны места заложения почвенных разрезов.

Известно, что еще в 1970-х годах суслики обитали на этой территории [2], но в годы наших исследований их постоянные поселения отсутствовали, отдельные зверьки появлялись спорадически. До сих пор на некоторых сусликовинах обнаруживаются заброшенные норы и ходы. Свежих следов роющей деятельности на площадке мало, отмечены немногочисленные прикопки и времянки небольшой глубины, свидетельствующие о заходах зверька. Кроме того, на площадке наблюдаются следы роющей деятельности других млекопитающих: прикопки лисы (*Vulpes vulpes* L.) и корсака (*Vulpes corsac* L.), отдельные норы ушастого ежа (*Erinaceus hemiechinus* Gm.) и тушканчика (*Allactaga major* Kerr.). Отмечены редкие поселения восточно-европейской полевки (*Microtus rossiaemerdionalis* Ognev), которая создает своими выбросами небольшие повышения высотой до 4 см.

На первой террасе близость грунтовых вод, капиллярная кайма которых подходит почти к поверхности, препятствует расселению малого суслика, предпочитающего более сухие местообитания. Кроме того, бедность растительного покрова также не способствует формированию здесь устойчивых поселений. Возникающие холмики сусликовины могли быть заброшены на десятилетия, а затем вновь заселены, и лишь немногие из них надолго сохранились в рельефе. Поэтому созданные положительные формы рельефа немногочисленны и достигают в среднем 2 м в диаметре и 20 см в высоту.

Растительный покров первой террасы однороден и крайне беден в видовом отношении, комплексность едва намечается и выражена очень слабо. Растительный покров разрежен, отдельные куртины чередуются с голыми участками земли. Проективное покрытие составляет 30%. Средняя высота растений в сообществах составляет 15 см, за исключением полыней, высота которых достигает 30 см. В основном растительность представлена пустынными и солевыносливыми видами: лебедой белой (*Atriplex cana* C.A. Mey), галимионой бородавчатой (*Halimione verrucifera* (Bieb.) Aellen), кермеком полукустарниковым (*Limonium suffruticosum* (L.) O. Kuntze), полынями Лерха (*Artemisia lerchiana* Web. (A. monogina auct.)) и сантонийской (*Artemisia santonica* L.), солянкой листовичной (*Salsola laricina* Pall.), мятликом луковичным (*Poa bulbosa* L.), неравноцветником кровельным (*Anisantha tectorum* (L.) Nevski). Ближе к урезу сора начинают преобладать солеустойчивые виды, такие как анабазис безлистный (*Anabasis aphylla* L.), сарсазан шишковатый (*Halocnemum strobilaceum* (Pall.) Bieb.). В напочвенном покрове отмечены мхи и водоросли, проективное покрытие составляет 20–25%, а также лишайники в количестве двух слоевищ на 1 м². Количество мхов и лишайников увеличивается по направлению к урезу воды.

На микроповышениях видовой состав тот же, что и на остальной ненарушенной роющей деятельностью территории, но в другом видовом соотношении, причем на разных микроповышениях представлены различные растительные сообщества. На относительно старых микроповышениях без каких-либо современных следов роющей деятельности проективное покрытие составляет 40%, что несколько выше, чем на фоне. Здесь доминируют полыни Лерха и сантонийская, которые по сравнению с фоном имеют повышенный габитус (средняя высота растений достигает 40 см), в меньшем количестве присутствует кермек полукустарниковый. На периодически посещаемых сусликами микроповышениях растительность состоит из 1–2 видов. Это, как правило, полынь сантонийская или Лерха и лебеда белая, иногда биюргун (*Anabasis salsa* (C.A. Mey) Benth. Ex Volkens). Проективное покрытие в центре у входов в норы составляет 20%, по периферии – 40%. На выбросах присутствует неравноцветник кровельный. На микроповышениях в отличие от фона отсутствуют лишайники и мхи.

Наблюдающиеся на микроповышениях-сусликовинах различия в проективном покрытии и видовом соотношении растений связаны с состоянием самих сусликовин и обусловлены, прежде всего, степенью освоенности их зверьками. На недавно оставленных сусликовинах хорошо развиваются однолетники, которые вообще лучше растут на свежеразрыхленных участках у нор.

Многолетние виды растений также характеризуются хорошим развитием по сравнению с участками вне фона (больше средняя высота растений, общее проективное покрытие).

Морфологическое строение почв. При оценке классификационного положения изученных почв и индексации генетических горизонтов использовали “Полевой определитель почв России” [22]. Данные об особенностях морфологического строения целинных и зоогенно-нарушенных почв приведены в табл. 1 и на рис. 2. По глубине залегания грунтовых вод (1.6 м) данные почвы относятся к гидроморфным и характеризуются высокими значениями полевой влажности (рис. 3). Остановимся более подробно на индивидуальных особенностях морфологического строения сравниваемых почв.

На ровных ненарушенных роющей деятельностью участках под лебедово-сантонийскополынной растительностью нами были вскрыты солонцы светлые солончаковые квазиглеевые (Gypsic Salic Solonetz (Albic, Ruptic, Oxiaquic, Siltic)). Во всех разрезах фоновых солонцов ключевого участка имеются признаки повышенного увлажнения в виде марганцевых точек и небольших пятен ожелезнения (значения полевой влажности на глубине 30–40 см составляют 21%, рис. 3). По глубине залегания солонцового горизонта они относятся к средним. Рассмотрим морфологические свойства фонового солонца на примере разр. Ф1, свойства которого принципиально не отличаются от свойств других фоновых разрезов (разр. Ф2 и Ф3). Они отличаются лишь незначительными отклонениями мощности и глубины залегания генетических горизонтов (табл. 1):

Вскипает с 18 см.

AKL, 0–1.5 см. Сухой, светло-серый, непрочный, тонкоплитчатый, пылевато-тонкопесчаный, пористый, пронизан тонкими корнями, рыхлый.

SELq, 1.5–12 см. Сухой, светло-палевый, тонкоплитчатый, уплотненный, супесчаный, пылеватый, марганцевые точки и пятна ожелезнения на контакте с солонцовым горизонтом, переход резкий по цвету и структуре.

BSN, 12–18 см. Сухой, коричневатого-шоколадный, ореховато-тонкопризматический, ширина столбиков 3–4 см, они легко распадаются на мелкие орешки, которые пронизаны густой сетью мелких корешков. Основная масса корней сосредоточена в этом горизонте. По граням структурных отдельностей выражены мощные темно-коричневые глинисто-гумусовые кутаны с глянцевым блеском, внутриведный материал бурый, плотный, среднесуглинистый, граница по вскипанию.

BSNca, 18–28 см. Бурый, влажнее вышележащего, менее плотный, неоднородный из-за

Таблица 1. Некоторые морфологические показатели строения фоновых и зоотурбированных солонцов на первой террасе сора Хаки

Показатель	Элемент микрорельефа		
		ровная поверхность – фон	фон – сусликовина
1) Глубина залегания границ горизонтов, см:			
AKL	Нижняя	1.5–6 (4) *	Горизонты разрушены, формируется выброс, состоящий из материала гор. ВСА, SEL
SELq	Нижняя	10–14.5 (12)	
BSN	Нижняя	16–20 (18)	Горизонты сохраняются фрагментарно, представляют перемешанную толщу [BSN, BSNca, BCAscs]tr
BSNca	Нижняя	28–33 (30)	
BCAs,cs	Нижняя	60–80 (70)	
BCs,ca	Нижняя	95–105 (100)	
2) Глубина вскипания, см:		16–28 (23)	С поверхности
3) Граница залегания карбонатных новообразований, см		Верхняя	С поверхности
		Нижняя	80–90 (85)
4) Граница залегания мелкокристаллических гипсовых стяжений, см		Верхняя	С поверхности
		Нижняя	100–140 (120)
5) Граница залегания гипсовых стяжений в виде гнезд, см		Верхняя	30–35 (32)
		Нижняя	80–90 (85)
6) Глубина залегания грунтовых вод, м		1.58	1.91

* Приведены минимальные и максимальные значения; в скобках указана средняя глубина показателя по трем разрезам, см.

затеков шоколадных кутан, нечеткие пятна карбонатной пропитки, мелкие корни, но их меньше, чем в солонцовом горизонте, структура уплощенно-призматическая, распадающаяся на орехи, среднесуглинистый, вскипает от HCl, переход по появлению солевых новообразований.

BCAscs, 28–70 см. Бурый, к низу светлее вышележащего, влажнее, уплотненный, комковато-глыбистый, белые точки диаметром 5 мм, прожилки толщиной 1 мм вертикальной и горизонтальной направленности, к низу количество новообразований увеличивается, образуя скопления и выцветы в виде гнезд на глубине 50 см, вскипает от HCl, среднесуглинистый. Граница ровная, переход резкий по уменьшению солевых пятен и появлению большого числа ракушек.

BCcs,ca 70–105 см. Бурый, тяжелосуглинистый, резкое уменьшение количества солей, появление мелких обломков ракушек.

Csa, 105 см. Желтовато-бурый, влажный песок с обломками ракушек.

Почвы микроповышений характеризуются принципиально иным строением профиля, на них формируется специфический тип почв – зоотурбированный солонец солончаковый квазиглееватый под сантонийскополынно-лерхополынной растительностью (Endosalic Hurogypsic Gypsisol (Sodic, Siltic, Novic)). Рассмотрим мор-

фологические свойства этих почв на примере разр. С1. В разр. С2 и С3 строение профиля имеет похожее строение, за исключением небольшой разницы в мощности горизонтов (табл. 1):

Вскипает с поверхности.

[SEL, BSN, BCAscs]tr, 0–15(25) см. Бурый с коричневым оттенком, бесструктурный, сыпучий, рыхлый, сильно перемешанный материал, опесчаненный средний суглинок, бурно вскипает от HCl, гипсовые новообразования в виде прожилок, много мелких корешков и крупных корней кустарничков диаметром до 2 см, пронизан ходами различных насекомых, в нижней части уплотняется, появляются признаки слабой чешуйчатости.

[SELca,cs,q], 10(15)–20(30) см. Надсолонцовый горизонт сохраняется фрагментарно в виде карманов, палевоый, сухой, плотный, распадается на плитки, видна чешуйчатость, иногда в верхней части наблюдаются марганцевые примазки, нечеткие пятна карбонатной пропитки, скопления гипса в виде точек, ниточек, прожилок, преимущественно ориентированных вертикально, среднесуглинистый, вскипает от HCl, много тонких мелких корешков, часто в этом горизонте обнаруживается старый ход суслика, ведущий на поверхность, который опутен корешками растений.

[BSN, BCAscs]tr, 20(30)–80 см. Перемешанная толща бурого цвета из подсолонцовых го-

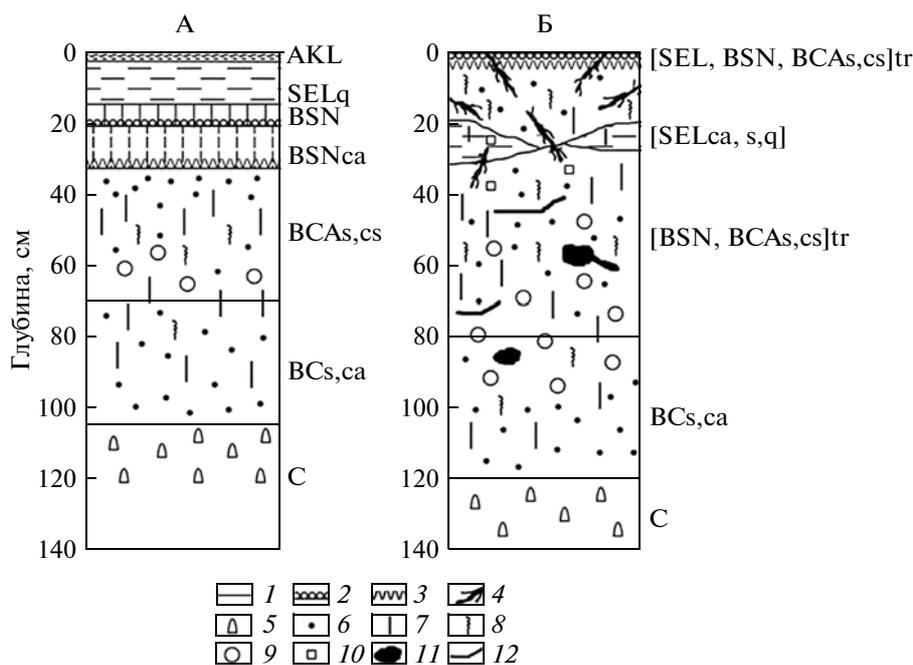


Рис. 2. Особенности морфологического строения фоновых (А) и зоотурбированных солонцов (Б) на первой террасе сора Хаки: 1 – границы генетических горизонтов; 2 – граница вскипания; 3 – верхняя граница появления выцветов солей; 4 – корни полукустарничков; 5 – обломки ракушек; новообразования гипса: 6 – точки; 7 – ниточки; 8 – прожилки; 9 – скопления в виде гнезд; 10 – карбонатная пропитка; 11 – камера, ход суслика; 12 – зоогенные пустоты (ходы беспозвоночных).

ризонтов с фрагментами солонцового горизонта коричневого цвета. Свежий, рыхлый, бесструктурный, местами комковато-ореховатый, уплотненный, опесчаненный средний суглинок. Толща бурно вскипает от HCl, фрагменты солонцового горизонта слабо шипят от HCl, обильные скопления солей в виде вертикально направленных ниточек, прожилков, гнезд, занимающих до 50% горизонта, небольшое количество карбонатных пропиток. В этом горизонте обычно располагаются бывшие ходы и норы суслика, заполненные рыхлым зернистым материалом, густо пронизанным мелкими корешками, хитином насекомых, растительными остатками, семенами и др., нередко в этой толще любят прокладывать себе ходы насекомые (муравьи, земляные осы, жуки и др.).

[BCs,cs], 80–140 см. Бурый, свежий, уплотненный, комковатый, опесчаненный средний суглинок, бурно вскипает от HCl, количество солей уменьшается с глубиной, встречаются мелкие корешки.

So, 140 см. Желтовато-бурый песок, без солевых новообразований, обломки ракушек.

Как видно из описаний, вскрытые профили почв заметно различаются по морфологическим показателям, что является следствием зоогенного воздействия. Фоновые солонцы характеризуются

четко выраженными горизонтами (надсолонцовыми, солонцовыми и подсолонцовыми). В зоотурбированных солонцах вследствие сильной перерытости происходит изменение залегания генетических горизонтов, их перемешивание и практически полное разрушение структуры горизонтов (рис. 2). Материал из подсолонцового горизонта оказывается на поверхности. Надсолонцовый горизонт сохраняется частично и заметно уплотняется, в нем появляются гипсовые новообразования и карбонатная пропитка. Солонцовый горизонт выделяется только по цвету, призматическая структура его полностью разрушена, а материал перемешан с подсолонцовой толщей, в нем также присутствуют гипсовые новообразования и карбонаты в виде пропиточных пятен. Весь разрез в отличие от фоновых солонцов бурно вскипает от HCl и характеризуется присутствием солевых новообразований во всем профиле. Во всех разрезах зоотурбированных солонцов отмечаются многочисленные следы роющей деятельности позвоночных и беспозвоночных животных: ходы суслика с несколькими камерами, заполненными рыхлым зернистым материалом, включающим остатки хитина насекомых, подстилки и растительных остатков. Обычно такие камеры находились на глубине 50 и 70 см. В разрыхленной толще встречаются многочисленные ходы муравьев, а также ход земляной осы диаметром 1 см.

Описанные выше изменения в морфологии профиля касаются главным образом центральных частей микроповышений, где сосредоточена основная роющая деятельность. Из-за близкого залегания грунтовых вод жилища сусликов подвергаются подтоплению, поэтому им приходится постоянно рыть новые камеры и активно перерывать почвенную толщу, нарушая залегание генетических горизонтов. На склонах микроповышений все воздействие заключается в погребении горизонтов выбросом засоленного материала из подсолонцового горизонта. Выброс, лежащий на поверхности погребенного солонца, со временем выщелачивается от солей, его цвет постепенно светлеет, структура начинает приобретать признаки горизонтальной делимости. Погребенный надсолонцовый горизонт заметно уплотняется, материал горизонта частично вскипает от HCl , и его становится трудно отделить от материала выброса. В погребенном солонцовом горизонте появляется карбонатная пропитка, структура становится менее прочной и легко распадается на мелкие призмы. Погребенные подсолонцовые горизонты по своему строению не отличаются от таковых на фоне.

Химические свойства. Грунтовые воды на первой террасе залегают близко к поверхности (1.6 м) и характеризуются сильным сульфатно-хлоридным магниевым-натриевым засолением (табл. 2). На ровных участках фона минерализация составляет 37 г/л, под микроповышением-сусликовиной – 25.4 г/л. На первой террасе водонесный горизонт представлен мелкозернистым песком-пльвунном, поэтому воду удалось отобрать не во всех скважинах. Вследствие высокой минерализации грунтовых вод почвы исследуемого участка испытывают активное грунтовое засоление и характеризуются очень сильной степенью засоления.

Фоновые солонцы характеризуются хлоридно-натриевым засолением. Надсолонцовые горизонты изучаемых почв не засолены или имеют слабую степень засоления. Первый солонцовый горизонт характеризуется слабой и средней степенью засоления. Увеличение количества солей происходит во втором солонцовом горизонте, на глубине 20–40 см (табл. 3), где располагается верхняя граница капиллярной каймы (рис. 3). Хлоридно-натриевый состав солей в этом горизонте соответствует химическому составу грунто-

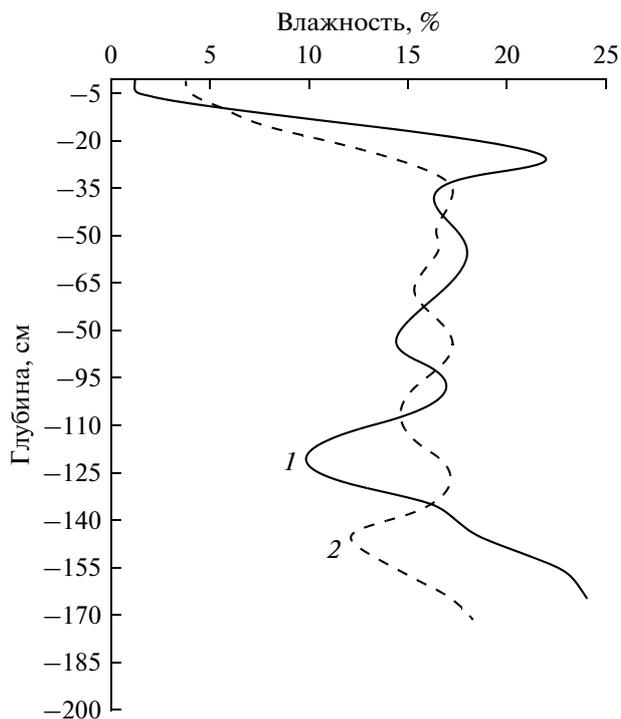


Рис. 3. Влажность почвы (% от веса) на ровных участках фона (1) и на микроповышениях-сусликовиных (2) (средние значения по трем скважинам).

вой воды и свидетельствует об активном грунтовом засолении. Сумма токсичных солей в этом горизонте максимальна и составляет 0.8–1.1%, степень засоления сильная и очень сильная. Глубже в подсолонцовом горизонте, где морфологически выражены многочисленные аккумуляции гипса, на глубине 40–60 см в разр. Ф1 и Ф3 и на глубине 50–80 см в разр. Ф2 наблюдается второй максимум содержания солей. Однако состав солей здесь иной, в горизонте происходит смена химизма засоления с хлоридно-натриевого на хлоридно-кальциевое с участием гипса. Общее содержание солей в этом горизонте максимально и составляет 4% (в основном за счет содержания гипса), тогда как сумма токсичных солей уменьшается и составляет 0.7–0.9% (табл. 3). Содержание кальция и сульфат-иона в водной вытяжке на этих глубинах достигает аномально высоких значений (50 смоль(экв)/кг). На растворение сульфатов кальция влияет присутствие в почве хлори-

Таблица 2. Состав и минерализация (моль(экв)/л) грунтовых вод под микроповышениями и ровными участками фона

Форма рельефа	CO_3^-	HCO_3^-	Cl^-	SO_4^{2-}	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^+	Сумма солей, г/л
Ровная поверхность	12.0	47.4	435.4	118.0	58.5	120.0	434.3	36.9
Микроповышение	0	15.4	268.0	137.0	128.5	80	211.9	25.4

Таблица 3. Состав водной вытяжки в почвах первой террасы сора Хаки (средние значения из трех повторов \pm доверительный интервал при $P=0.8$)

Горизонт, мощность, см	Глубина взятия образца, см	соль (экв)/кг почвы							Сумма токсичных солей	Сумма солей
		HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	%		
Солонец светлый средний солончаковый квазилеувый										
AKL/SEL, 0–12	0–10	0.40 ± 0.11	0.91 ± 0.62	0.04 ± 0.05	0.17 ± 0.10	Следы	1.18 ± 0.49	0.08 ± 0.05	0.12 ± 0.04	
BSN, 12–18	10–20	0.88 ± 0.24	7.65 ± 3.87	0.17 ± 0.13	0.17 ± 0.10	»	8.54 ± 4.25	0.48 ± 0.23	0.57 ± 0.22	
BSNca, 18–28	20–30	0.77 ± 0.16	16.15 ± 0.69	7.02 ± 7.09	7.28 ± 5.86	1.52 ± 1.36	15.14 ± 0.41	1.02 ± 0.07	1.51 ± 0.45	
BCAcs, 28–70	30–40	0.40 ± 0.06	13.76 ± 0.57	9.45 ± 3.33	10.40 ± 3.51	2.64 ± 1.63	10.56 ± 1.70	0.81 ± 0.09	1.49 ± 0.22	
	40–50	0.42 ± 0.10	12.63 ± 0.64	40.1 ± 20.9	40.0 ± 20.7	1.56 ± 1.22	11.66 ± 1.94	0.78 ± 0.06	3.53 ± 1.33	
	50–60	0.37 ± 0.04	12.03 ± 0.76	50.2 ± 3.01	48.3 ± 4.5	6.85 ± 6.70	7.46 ± 2.02	0.93 ± 0.35	4.12 ± 0.20	
	60–70	0.42 ± 0.05	11.40 ± 0.53	13.8 ± 12.4	17.8 ± 16.0	0.95 ± 0.80	6.83 ± 3.77	0.63 ± 0.13	1.66 ± 0.76	
BCcs, ca 70–105	70–80	0.50 ± 0.00	10.06 ± 0.40	14.35 ± 15.3	18.1 ± 19.1	0.26 ± 0.29	6.54 ± 3.64	0.53 ± 0.09	1.63 ± 0.96	
	80–90	0.60 ± 0.00	13.04 ± 1.01	0.56 ± 0.10	0.61 ± 0.26	0.78 ± 0.61	12.81 ± 1.04	0.78 ± 0.06	0.88 ± 0.07	
	90–100	0.63 ± 0.04	10.06 ± 2.15	0.56 ± 0.27	0.69 ± 0.52	0.35 ± 0.19	10.22 ± 1.72	0.61 ± 0.11	0.71 ± 0.09	
	100–110	0.63 ± 0.07	8.55 ± 0.75	0.48 ± 0.18	0.61 ± 0.35	0.17 ± 0.19	8.88 ± 0.80	0.54 ± 0.06	0.62 ± 0.04	
	110–120	0.55 ± 0.03	3.64 ± 1.78	0.77 ± 0.36	0.26 ± 0.00	0.17 ± 0.10	4.53 ± 1.36	0.25 ± 0.10	0.34 ± 0.10	
	120–130	0.52 ± 0.07	2.52 ± 0.72	0.09 ± 0.05	0.43 ± 0.10	0.17 ± 0.10	2.51 ± 0.99	0.19 ± 0.04	0.26 ± 0.05	
	130–140	0.42 ± 0.02	3.64 ± 0.87	0.04 ± 0.05	0.61 ± 0.19	0.26 ± 0.17	3.24 ± 0.63	0.24 ± 0.06	0.31 ± 0.06	
	140–150	0.35 ± 0.12	4.28 ± 0.36	0.61 ± 0.42	1.13 ± 0.26	0.61 ± 0.10	3.50 ± 0.21	0.28 ± 0.03	0.38 ± 0.04	
Зоотурбированный солонец солончаковый квазилеувый										
[SEL, BSN, BCAcs]tr, 0–15	0–10	0.35 ± 0.15	1.41 ± 1.35	30.9 ± 13.4	29.6 ± 11.2	0.26 ± 0.17	2.75 ± 3.00	0.29 ± 0.21	2.27 ± 0.79	
[SELca], 10–20	10–20	0.37 ± 0.07	5.79 ± 3.38	42.7 ± 4.51	43.5 ± 4.29	1.99 ± 0.93	3.34 ± 1.77	0.46 ± 0.07	3.31 ± 0.24	
[BSN, BCAcs]tr, 30–80	20–30	0.42 ± 0.13	6.00 ± 4.91	44.5 ± 5.35	40.8 ± 3.99	2.30 ± 1.23	7.85 ± 5.29	0.74 ± 0.38	3.46 ± 0.37	
	30–40	0.40 ± 0.03	12.90 ± 2.70	52.1 ± 2.56	53.2 ± 4.79	3.68 ± 0.81	8.57 ± 3.75	0.83 ± 0.16	4.35 ± 0.29	
	40–50	0.42 ± 0.04	17.79 ± 6.77	51.2 ± 3.71	52.8 ± 3.45	3.38 ± 1.61	13.22 ± 5.67	1.06 ± 0.35	4.57 ± 0.18	
	50–60	0.37 ± 0.02	17.65 ± 5.35	48.7 ± 5.44	50.0 ± 6.82	3.47 ± 1.42	13.20 ± 6.63	1.09 ± 0.38	4.39 ± 0.19	
	60–70	0.35 ± 0.10	16.70 ± 2.98	38.8 ± 7.79	40.2 ± 9.83	3.64 ± 0.58	11.98 ± 2.42	1.03 ± 0.16	3.66 ± 0.46	
	70–80	0.40 ± 0.11	15.02 ± 3.18	46.3 ± 6.74	50.5 ± 8.70	2.60 ± 1.34	8.62 ± 4.74	0.80 ± 0.18	4.07 ± 0.55	
[BCcs, ca], 80–120	80–90	0.35 ± 0.06	15.76 ± 2.06	30.0 ± 16.5	36.3 ± 20.7	1.47 ± 1.12	8.36 ± 4.86	0.82 ± 0.17	3.01 ± 1.04	
	90–100	0.38 ± 0.05	17.01 ± 2.85	37.2 ± 20.0	37.7 ± 20.8	2.77 ± 1.44	14.10 ± 5.17	1.03 ± 0.25	3.58 ± 1.09	
	100–110	0.45 ± 0.13	10.54 ± 1.78	15.1 ± 12.5	14.21 ± 13.7	2.77 ± 0.49	9.08 ± 1.27	0.75 ± 0.08	1.71 ± 0.85	
	110–120	0.47 ± 0.13	9.17 ± 1.58	10.0 ± 10.4	10.05 ± 10.7	1.21 ± 1.36	8.42 ± 0.51	0.61 ± 0.04	1.30 ± 0.70	
	120–130	0.48 ± 0.10	7.27 ± 3.04	2.12 ± 1.65	1.99 ± 1.66	0.35 ± 0.39	7.62 ± 2.76	0.52 ± 0.16	0.67 ± 0.25	
	130–140	0.38 ± 0.05	6.42 ± 3.55	6.89 ± 5.89	5.63 ± 5.33	1.56 ± 1.18	6.50 ± 3.23	0.53 ± 0.23	0.92 ± 0.54	
	140–150	0.32 ± 0.02	4.13 ± 1.39	0.26 ± 0.22	1.65 ± 0.80	0.69 ± 0.35	2.37 ± 0.72	0.25 ± 0.05	0.33 ± 0.06	
	150–160	0.35 ± 0.03	4.42 ± 1.52	1.13 ± 1.19	1.39 ± 0.54	0.09 ± 0.10	4.51 ± 1.46	0.34 ± 0.07	0.42 ± 0.08	
	160–170	0.28 ± 0.02	4.66 ± 1.34	1.65 ± 1.50	1.99 ± 1.66	1.13 ± 0.87	3.56 ± 2.33	0.37 ± 0.11	0.45 ± 0.10	

Таблица 4. Основные химические показатели фоновых и зоотурбированных солонцов

Горизонт	Глубина, см	CaCO ₃	Гипс	C орг	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	Σ	Обменный Na, %	pH (1 : 2.5)
		%			смоль(экв)/кг почвы					
Солонец светлый средний солончаковый квазиглееватый (разр. Ф1)										
SEL	1.5–12	He опр.	He опр.	0.56	1	1.07	0.27	3.52	8	7.31
BSN	12–18	»	»	1.22	2.07	6.1	4.62	15.03	31	8.23
BSNca	18–28	8.32	0.31	1.24	1.94	7.13	5.49	16.62	33	8.49
BCA	28–39	16.87	0.93	0.36	1.61	5.83	2.54	11.31	22	8.57
BCAcs	39–70	11.98	10.9	0.14	He опр.					8.33
BCcs	70–85	11.92	0.2	0.08	»					8.73
Солонец светлый средний солончаковый квазиглееватый (разр. Ф2)										
AKL	0–6	He опр.		0.59	1.15	1.01	0.17	3.93	4	7.54
SEL	6–10	»		0.59	0.8	1.1	0.55	3.82	14	8.49
BSN	10–16	»		1.57	2.94	6.02	4.86	16.49	29	8.5
BSNca	16–33	8.65	0.22	0.70	2.15	5.39	3.9	13.29	29	8.81
BCAcs	33–60	6.27	7.38	0.23	1.65	5.25	1.93	9.84	20	7.8
Солонец светлый средний солончаковый квазиглееватый (разр. Ф3)										
AKL/SEL	0–10	He опр.		0.59	1.96	0.8	0.11	4.15	3	8.7
SEL	10–14.5	»		0.41	1.25	0.91	0.55	3.77	15	9.15
BSN	15–20	0.86	He опр.	1.17	2.68	4.28	3.45	12.71	27	8.56
BSNca	20–30	4.36	0.27	0.78	2.49	4.95	4.51	13.96	32	8.72
BCA	30–37	8.65	6.42	0.43	He опр.					8.32
BCAcs	37–50	7.76	2.04	0.31	»					8.35
Зоотурбированный солонец солончаковый квазиглееватый (разр. С1)										
Выброс	5–15	3.77	2.47	0.91	4.32	2.15	0.55	9.41	6	8.14
[SELca]	10–20	3.97	3.53	0.62	0.64	4.86	1.58	8.42	19	8.57
[BSN, BCAcs]tr	30–40	3.65	7.27	0.53	0.6	5.04	1.66	8.59	19	8.5
[BCAcs]	40–50	3.65	12.1	0.37	0.71	4.6	1.56	7.9	20	8.42
[BCAcs]	50–60	3.16	8.6	0.47	0.75	5.52	1.92	9.31	21	8.51
Зоотурбированный солонец солончаковый квазиглееватый (разр. С3)										
Выброс	0–5	3.16	He опр.	0.71	4.58	1.89	0.18	8.72	2	8.4
Выброс	5–15	2.57	»	0.98	3.77	3.3	0.12	8.62	1	8.48
[SELca]	15–20	2.36	»	0.77	4.21	2.06	0.17	7.74	2	8.64
[SELca,cs]	20–30	3.77	»	0.58	4.84	2.7	0.56	9.58	6	8.4
[BSN, BCAcs]tr	30–45	4.27	»	0.61	3.13	5.84	2.3	12.86	18	8.41
[BCAcs]	45–60	5.65	»	0.38	0.9	3.73	2.83	8.51	33	8.38
Нора	50–60	He опр.		1.69	He опр.					

стого натрия, поступающего в почву по капиллярным токам из грунтовых вод. Известно, что в высококонцентрированных растворах NaCl и MgCl₂ растворимость гипса увеличивается в несколько раз до 6–10 г/л [23]. В результате реакций обмена гипс переходит в сильнорастворимую соль CaCl₂. Этим, очевидно, объясняется чрезвычайно высокое содержание в водной вытяжке ионов кальция. Такие же anomalно высокие значения кальция в водной вытяжке были получены

нами методом пламенной фотометрии. Кроме того, на этих глубинах в образцах из генетических горизонтов наблюдается максимум содержания гипса и карбонатов (табл. 4). Anomalно высокое содержание в водной вытяжке сульфатов кальция требует их дальнейшего изучения. Ниже по профилю химизм засоления вновь меняется на хлоридно-натриевый, количество солей постепенно убывает с глубиной, а степень засоления уменьшается до средней и слабой.

По сравнению с фоновыми солонцами зоотурбированные солонцы претерпевают значительную трансформацию солевого профиля, состав и содержание легкорастворимых солей в них существенно изменяется. В отличие от фоновых солонцов соленакоплением в них охвачена верхняя метровая толща, общая сумма солей составляет 3–4.5%, содержание токсичных солей – 0.7–1.1% (табл. 3). Сильная и очень сильная степень засоления наблюдается практически с поверхности. Зоотурбированные солонцы характеризуются чередованием хлоридного и сульфатно-хлоридного засоления с участием гипса, среди катионов в них преобладает кальциевое и натриево-кальциевое засоление. Во втором метре, где суглинок сменяется песком, количество солей уменьшается, химизм засоления меняется на хлоридно-натриевый. Преобладающие в составе солей сульфаты кальция, так же как и на фоне, характеризуются чрезвычайно высокими значениями (~50 смоль(экв)/кг).

Сравнительный анализ данных солевого состояния фоновых и зоотурбированных солонцов был затруднен вследствие варьирования содержания солей – по некоторым показателям доверительные интервалы приближаются к значениям средних (табл. 5). В фоновых солонцах это связано с разной глубиной залегания максимума солей гипса (в разр. Ф1 и Ф3 на глубине 40–60 см, в разр. Ф2 на глубине 50–80 см), в зоотурбированных солонцах с неодинаковой высотой холмика, что несколько затруднило их статистическую обработку. Однако полученные данные и рассчитанные доверительные интервалы при уровне вероятности $P = 0.8$ дали основание сделать вывод о достоверном изменении содержания и состава солей в зоотурбированных солонцах по сравнению с фоновыми (табл. 5). По сравнению с фоновыми в зоотурбированных солонцах в верхней метровой толще произошло увеличение в два раза общего запаса водорастворимых солей (46.4 вместо 24.5 кг/м² на контроле, с вероятностью $P = 0.8$). Достоверное увеличение запасов солей произошло в верхних 40 см и на глубине 70–100 см в основном за счет увеличения запасов кальция и сульфатов. Также произошло достоверное увеличение запасов магния в верхних 20 см, на глубине 60–70 и 90–100 см. Обогащение гипсом верхних слоев почвенного профиля произошло за счет выноса на поверхность гипсоносного карбонатного материала из подсолонцовых горизонтов, разрушения верхних горизонтов и их перемешивания с засоленной подсолонцовой толщей. По сравнению с фоном в зоотурбированных солонцах в верхних 40 см произошло достоверное уменьшение запасов хлоридов и гидрокарбонатов, что свидетельствует о некотором рассолении верхних горизонтов зоотурбированных солонцов. Однако вследствие небольшой глубины промачивания соли вымываются неглубоко и накапливаются в

подсолонцовых горизонтах, где наблюдается тенденция к их увеличению. Изменение запасов солей других ионов достоверно не различается.

Поступление гипса на поверхность и механическое разрушение солонцового горизонта животными в зоотурбированных солонцах способствуют некоторому рассолению почвенной толщи. Однако содержание токсичных солей в почвенном профиле остается довольно высоким и достоверно не отличается от фона. То есть значительного рассоления, как можно было бы ожидать, в зоотурбированных солонцах не происходит, наблюдается лишь некоторое уменьшение содержания хлоридов в верхней части профиля. На микроповышениях по сравнению с ровной поверхностью подтягивание грунтовой воды происходит более активно вследствие увеличения физического испарения за счет выпуклой формы [15, 18, 24]. Испарение влаги в верхних горизонтах почвенного профиля приводит к аккумуляции здесь легкорастворимых солей. Иссущению почв также способствует селящаяся на сусликовицах растительность, отличающаяся устойчивостью к засолению и мощной корневой системой [2]. Вследствие этого, несмотря на увеличение запасов гипса, в почвах продолжают накапливаться токсичные соли. Очевидно, в условиях близкого залегания сильноминерализованных грунтовых вод и недостатка атмосферной влаги, процесс зоогенной мелиорации на микроповышениях происходит не так активно, как можно было бы ожидать, и является, скорее всего, обратимым явлением. Со временем по мере выщелачивания гипса процесс рассоления сменится процессами вторичного засоления.

Особенностью исследуемых фоновых почв является преобладание обменного магния в ППК (30–53%) при достаточно высокой доли натрия – до 15% в надсолонцовых горизонтах и до 33% в солонцовых горизонтах (табл. 4). Высокое содержание обменного магния в ППК связано с высоким содержанием магния в грунтовых водах (табл. 2), а также с исходной высокой магниезильностью грунтов. В фоновых солонцах максимальная сумма обменных катионов наблюдается в солонцовых горизонтах и составляет 12–16 смоль(экв)/кг, что связано с высоким содержанием гумуса и физической глины в солонцовом горизонте. По содержанию обменного натрия в солонцовом горизонте (>25% от суммы обменных катионов) фоновые солонцы относятся к многонатриевым.

В зоотурбированных солонцах по сравнению с фоновыми солонцами сумма обменных катионов примерно одинакова во всем профиле и составляет 8–9.5 смоль(экв)/кг. Перемешивание сусликами почвы, очевидно, привело к усреднению суммы обменных катионов по всему профилю. В выбросе среди обменных катионов преобладает

Таблица 5. Запасы солей в почвах первой террасы сора Хаки (средние значения из трех повторностей ± доверительный интервал при P = 0.8)

Глубина взятия образца, см	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	Сумма токсичных солей		Сумма солей
							кг/м ²		
Смоль(экв)/м ²									
Солонец светлый средний солончаковый квазиглеевый									
0-10	0.57 ± 0.16	1.30 ± 0.88	0.06 ± 0.07	0.25 ± 0.14	0.00 ± 0.00	1.68 ± 0.69	0.11 ± 0.07	0.11 ± 0.07	0.18 ± 0.06
10-20	1.33 ± 0.37	11.48 ± 5.81	0.26 ± 0.19	0.26 ± 0.15	0.00 ± 0.00	12.80 ± 6.38	0.72 ± 0.34	0.72 ± 0.34	0.85 ± 0.37
20-30	1.13 ± 0.24	23.74 ± 1.01	10.32 ± 10.42	10.70 ± 8.61	2.23 ± 1.99	22.26 ± 0.61	1.49 ± 0.10	1.49 ± 0.10	2.20 ± 0.72
30-40	0.65 ± 0.11	22.29 ± 0.92	15.30 ± 5.40	16.85 ± 5.69	4.28 ± 2.64	17.11 ± 2.75	1.31 ± 0.14	1.31 ± 0.14	2.34 ± 0.46
40-50	0.64 ± 0.16	19.45 ± 0.99	61.80 ± 32.18	61.53 ± 31.90	2.40 ± 1.87	17.96 ± 2.99	1.21 ± 0.09	1.21 ± 0.09	5.39 ± 2.25
50-60	0.56 ± 0.06	18.29 ± 1.15	76.27 ± 4.58	73.38 ± 6.82	10.41 ± 10.19	11.34 ± 3.08	1.41 ± 0.53	1.41 ± 0.53	6.13 ± 0.47
60-70	0.65 ± 0.08	17.90 ± 0.83	21.70 ± 19.47	28.03 ± 25.09	1.50 ± 1.25	10.73 ± 5.92	0.99 ± 0.21	0.99 ± 0.21	2.45 ± 1.10
70-80	0.83 ± 0.00	16.71 ± 0.66	23.82 ± 25.44	30.07 ± 31.64	0.43 ± 0.49	10.85 ± 6.04	0.87 ± 0.14	0.87 ± 0.14	2.42 ± 1.40
80-90	1.03 ± 0.00	22.29 ± 1.73	0.96 ± 0.17	1.04 ± 0.44	1.33 ± 1.04	21.91 ± 1.78	1.33 ± 0.11	1.33 ± 0.11	1.41 ± 0.14
90-100	1.01 ± 0.06	16.00 ± 3.42	0.90 ± 0.43	1.10 ± 0.82	0.55 ± 0.31	16.25 ± 2.73	0.97 ± 0.17	0.97 ± 0.17	1.10 ± 0.17
0-50	4.31 ± 0.42	78.26 ± 7.70	87.74 ± 43.39	89.58 ± 42.62	8.91 ± 6.34	71.81 ± 6.17	4.84 ± 0.49	4.84 ± 0.49	10.96 ± 3.48
50-100	4.07 ± 0.16	91.19 ± 4.05	123.65 ± 40.81	133.61 ± 59.77	14.22 ± 8.15	71.08 ± 15.19	5.57 ± 0.79	5.57 ± 0.79	13.52 ± 1.91
0-100	8.38 ± 0.50	169.45 ± 10.60	211.39 ± 11.88	223.20 ± 20.06	23.13 ± 8.32	142.89 ± 19.90	10.41 ± 1.21	10.41 ± 1.21	24.47 ± 1.72
Зоогурбированный солонец солончаковый квазиглеевый									
0-10	0.40 ± 0.17	1.62 ± 1.55	35.53 ± 15.38↑	34.09 ± 12.84↑	0.30 ± 0.19↑	3.17 ± 3.45	0.33 ± 0.24	0.33 ± 0.24	2.61 ± 0.97↑
10-20	0.44 ± 0.08↓*	6.89 ± 4.03	50.79 ± 5.37↑	51.77 ± 5.11↑	2.37 ± 1.11↑	3.97 ± 2.11	0.55 ± 0.08	0.55 ± 0.08	3.94 ± 0.31↑
20-30	0.53 ± 0.17↓	7.68 ± 6.28↓	56.96 ± 6.85↑	52.19 ± 5.11↑	2.94 ± 1.57	10.04 ± 6.77	0.95 ± 0.48	0.95 ± 0.48	4.42 ± 0.51↑
30-40	0.46 ± 0.04	14.96 ± 3.14↓	60.47 ± 2.97↑	61.68 ± 5.55↑	4.27 ± 0.94	9.94 ± 4.35	0.96 ± 0.19	0.96 ± 0.19	5.04 ± 0.37↑
40-50	0.51 ± 0.05	21.88 ± 8.32	62.95 ± 4.57	64.92 ± 4.24	4.16 ± 1.98	16.26 ± 6.97	1.31 ± 0.44	1.31 ± 0.44	5.62 ± 0.23
50-60	0.47 ± 0.02	22.59 ± 6.85	62.29 ± 6.96	64.01 ± 8.72	4.44 ± 1.81	16.90 ± 8.49	1.39 ± 0.49	1.39 ± 0.49	5.62 ± 0.26
60-70	0.43 ± 0.12	20.37 ± 3.63	47.32 ± 9.51	49.06 ± 11.99	4.44 ± 0.71↑	14.61 ± 2.95	1.26 ± 0.20	1.26 ± 0.20	4.46 ± 0.60
70-80	0.55 ± 0.16↓	20.73 ± 4.39	63.93 ± 9.31	69.73 ± 12.01	3.59 ± 1.85	11.90 ± 6.55	1.11 ± 0.26	1.11 ± 0.26	5.62 ± 0.82↑
80-90	0.51 ± 0.08↓	22.86 ± 2.98	43.54 ± 23.87	52.65 ± 30.04	2.14 ± 1.63	12.12 ± 7.05	1.19 ± 0.25	1.19 ± 0.25	4.36 ± 1.62↑
90-100	0.53 ± 0.07↓	23.31 ± 3.91	50.94 ± 27.42	51.65 ± 28.48	3.80 ± 1.97↑	19.32 ± 7.09	1.41 ± 0.34	1.41 ± 0.34	4.91 ± 1.61↑
0-50	2.35 ± 0.45↓	53.02 ± 22.68	266.71 ± 23.43↑	264.65 ± 16.34↑	14.04 ± 4.57	43.39 ± 18.18	4.10 ± 1.15	4.10 ± 1.15	21.64 ± 0.51↑
50-100	2.48 ± 0.38↓	109.86 ± 17.41	268.01 ± 62.48	287.10 ± 79.58	18.40 ± 6.80	74.85 ± 27.49	6.36 ± 1.27	6.36 ± 1.27	24.97 ± 4.26↑
0-100	4.83 ± 0.68↓	162.88 ± 39.12	534.72 ± 52.40↑	551.75 ± 91.62↑	32.44 ± 11.35	118.23 ± 45.47	10.46 ± 2.38	10.46 ± 2.38	46.61 ± 3.78↑

* Стрелками отмечено значимое при P = 0.8 увеличение (↑)/уменьшение (↓) запасов солей и отдельных ионов по сравнению с фоновыми солонцами.

кальций (46–53%). Со временем выброшенный на поверхность карбонатный материал вымывается из выброса в нижние горизонты и вытесняет натрий из ППК, но вследствие малой растворимости карбонатов и небольшой глубине промачивания этот процесс ограничен. Содержание обменного натрия в материале выброса и верхних погребенных горизонтах низкое, что связано с его вытеснением из ППК кальцием, с глубиной доля его в ППК постепенно возрастает.

В фоновых солонцах верхняя граница вскипания отмечается на стыке первого и второго солонцового горизонтов (на глубине ~23 см). Максимум содержания карбонатов (8–16%) расположен на глубине 30–50 см (в верхней части гор. ВСА). В зоотурбированных солонцах карбонаты присутствуют во всем профиле, их содержание составляет 3–5% (табл. 4). Равномерное распределение карбонатов, вероятно, связано с сильной перемешанностью горизонтов. Вынесенный на поверхность с глубины карбонатный материал постепенно выщелачивается в более глубокие горизонты, а также разносится с поверхностным стоком на окружающие территории. Как показали испытания соляной кислотой, карбонаты, поступившие вместе с выбросом на поверхность почвы, выносятся за пределы холмика на расстояние до 1 м. Если учесть, что средний диаметр сусликовин составляет 2 м, то, следовательно, материал, поступающий на одну сусликовину распределяется на площади не менее 12.5 м². Таким образом, зона воздействия вынесенного на поверхность карбонатного материала не ограничивается только самой сусликовиной, но распространяется на ее прилегающие территории.

В фоновых солонцах максимальное содержание гипса наблюдается в подсолонцовом горизонте и достигает значительных величин (6–10%). В зоотурбированных солонцах гипс, так же как и карбонаты, содержится во всем профиле. Его содержание постепенно увеличивается с глубиной от 2.5 до 12%. При отсутствии поступления на поверхность засоленного гипсоносного материала гипс постепенно вымывается в более глубокие горизонты и частично разносится с боковым стоком. Как более подвижный, чем карбонаты он быстрее вымывается из почвенного профиля.

Фоновые солонцы характеризуются щелочной реакцией, которая изменяется от слабощелочной в надсолонцовых горизонтах (7.5) до сильнощелочной (8.7) в солонцовых и подсолонцовых горизонтах (табл. 4). Зоотурбированные солонцы характеризуются высокими значениями рН по всему профилю, что связано с выносом на поверхность карбонатного материала, имеющего высокие значения рН, и подщелачивания верхних горизонтов.

Содержание органического вещества в исследуемых почвах довольно низкое (табл. 4). Однако его распределение по профилю в сравниваемых почвах различается. В фоновых солонцах максимальное содержание органического вещества наблюдается в солонцовых горизонтах (1.2–1.5%). Увеличение содержания органического вещества в солонцовом горизонте обусловлено повышенной растворимостью и потечностью гумуса в щелочных условиях. Гумус мигрирует из надсолонцового горизонта вместе с илистыми частицами, что доказывается наличием глинисто-гумусовых кутан на гранях структурных отдельностей в солонцовом горизонте. Ниже солонцового горизонта наблюдается резкое уменьшение содержания органического вещества, которое связано с уменьшением распространения корней с глубиной.

В зоотурбированных солонцах распределение органического вещества более плавное, оно равномерно убывает с глубиной. В перерытых зверьками почвах масса корней с глубиной уменьшается более плавно, чем в не перерытых. Это подтверждается морфологическими наблюдениями, которые показали, что корни растений, как основные, так и придаточные, проникают в глубокие горизонты преимущественно по ходам землян [9]. Кроме того, роющая деятельность влияет на профильное распределение органического вещества путем привноса зверьками органического вещества (растительной подстилки, экскрементов, остатков пищи и др.) в глубинные горизонты.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Нивелирная съемка микрорельефа типичного участка первой террасы сора Хаки позволила показать, что все микроповышения связаны с роющей деятельностью малого суслика и занимают 3% от ключевого участка. Микроповышения представляют собой одиночные сусликовины округлой формы и характеризуются небольшими размерами от 1.5 до 3 м. Предполагаем, что современные условия (близкое залегание высокоминерализованных грунтовых вод, бедность растительного покрова) не способствуют возникновению здесь длительных устойчивых поселений. Вследствие малой интенсивности роющей деятельности и локального распространения воздействие ее на формирование микрорельефа и почв незначительно. Сравнительный анализ проведенных исследований данной террасы со второй террасой [27], находящейся на более высоких гипсометрических отметках (–5 м) позволяет считать, что с понижением базиса эрозии и увеличением возраста территории плотность распространения сусликовин возрастает, а зона их воздействия увеличивается.

Изучение морфологических и химических свойств почв первой террасы сора Хаки позволи-

ло установить особенности их строения и химизма засоления. Изученная первая терраса, территория которой имеет возраст 10.5–12.7 тыс. лет, характеризуется однородностью. Появление первичной дифференциации почвенно-растительного покрова связано с появлением микроповышений. Почвенный покров представлен преимущественно солонцами средними светлыми солончаковыми квазиглеевыми под лебедово-сантонийскополюнной растительностью (*Gypsic Salic Solonetz* (*Albic*, *Ruptic*, *Oxiaquic*, *Siltic*)). Вследствие близкого залегания грунтовых вод (1.6 м) на первой террасе во всех изученных разрезах наблюдались признаки повышенного увлажнения в виде небольших пятен ожелезнения и марганцовых точек. Профиль изученных фоновых солонцов представлен четко выраженными горизонтами, а строение горизонтов типично для солонцов. В отличие от фоновых солонцов зоотурбированные солонцы (*Endosalic* *Hypogypsic* *Gypsisol* (*Sodic*, *Siltic*, *Novic*)) характеризуются изменением залегания генетических горизонтов, их перемешиванием и практически полным разрушением структуры горизонтов. Из-за близкого залегания грунтовых вод жилища сусликов часто подвергаются затоплению, поэтому они вынуждены рыть новые камеры, активно перерывая почвенную толщу. Вследствие сильной перерытости и выброса на поверхность карбонатного засоленного материала происходит повышение границы вскипания и появление новообразований гипса и карбонатной пропитки в верхних горизонтах.

Установлены особенности засоления (глубина и химизм) почв и грунтовых вод. Солонцы изученной территории относятся к солончаковым (то есть верхняя граница солевого горизонта расположена в слое 0–30 см) и характеризуются хлоридно-натриевым засолением. Первый максимум солей приурочен к верхней границе капиллярной каймы, и химизм засоления совпадает с химизмом грунтовых вод. Под ним располагается второй максимум солей, характеризующийся сменой химизма засоления с хлоридно-натриевого на хлоридно-кальциевый с участием гипса. Смена химизма засоления обусловлена прохождением капиллярных токов через гипсоносные горизонты, в которых под влиянием хлоридов натрия увеличивается растворимость.

В зоотурбированных солонцах по сравнению с фоновыми солонцами происходит смена химизма засоления. Они характеризуются чередованием хлоридного и сульфатно-хлоридного засоления с участием гипса. Засоление по катионам кальциевое и натриево-кальциевое. В них за исключением материала выброса преобладает сильная и очень сильная степень засоления.

По сравнению с фоновыми солонцами зоотурбированные солонцы характеризуются достовер-

ным увеличением запаса легкорастворимых солей, однако общее увеличение запасов солей по водной вытяжке произошло в основном за счет накопления гипса. В верхних горизонтах зоотурбированных солонцов по сравнению с фоновыми наблюдается достоверное уменьшение запасов хлоридов и гидрокарбонатов, однако глубже содержание токсичных солей достоверно не различается с фоном. В условиях дефицита влаги и близкого залегания сильноминерализованных грунтовых вод процесс зоогенной мелиорации ограничен и распространяется на небольшую глубину. В будущем, скорее всего, процессы рассоления сменяются процессами вторичного засоления.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Абатуров Б.Д.* Почвообразующая роль животных в биосфере // Биосфера и почва. М.: Наука, 1976. С. 53–69.
2. *Абатуров Б.Д.* Формирование микрорельефа и комплексного почвенного покрова в полупустыне северного Прикаспия как результат жизнедеятельности малого суслика // Млекопитающие в наземных экосистемах. М.: Наука, 1985. С. 224–249.
3. *Андрющенко О.Н., Большаков А.Ф., Будина М.П., Долгова Л.С., Медведев В.П., Носин В.А., Трушковский А.А., Фридланд В.М.* Северо-западный бессточный округ // Почвенное районирование Прикаспийской низменности и перспективы ее сельскохозяйственного использования. М., 1977. С. 37–53.
4. *Аринушкина Е.В.* Руководство по химическому анализу почв. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1961. 491 с.
5. *Бируля Н.Б.* О природе факторов ограничивающих численность малого суслика в ковыльных степях // Зоол. журн. 1941. Т. 20. Вып. 1. С. 135–153.
6. *Бируля Н.Б.* Экологические закономерности распределения малого суслика (*Citellus pygmaeus* Pall.) в пространстве // Сб. НИИ зоологии. М.: Биомедгиз, 1936. Т. 3. С. 111–143.
7. *Будина Л.П.* Лугово-бурье полупустынные // Генезис и классификация полупустынных почв. М.: Наука, 1966. С. 59–72.
8. *Будина Л.П., Медведев В.П.* Бурье полупустынные почвы // Генезис и классификация полупустынных почв. М.: Наука, 1966. С. 23–58.
9. *Быков А.В., Шабанова Н.П., Лебедева (Верба) М.П.* Биологический фактор в формировании органического вещества солонцов глинистой полупустыни Волго-Уральского междуречья // Эколого-биологические проблемы бассейна Каспийского моря и водосемов внутреннего стока Евразии (г. Астрахань, 25–30 апреля 2008 г.). Мат-лы X между. научн. конф., посвященной 450-летию Астрахани. Астрахань, 2008. С. 142–143.
10. *Варшавский С.Н., Лавровский А.А., Шилов М.Н.* Колебания уровня Каспийского моря изменение ареала малого суслика в голоцене // Колебания увлажненности Арало-Каспийского региона в голоцене. М.: Наука, 1980. С. 163–169.

11. *Воробьева Л.А.* Химический анализ почв. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1998. 272 с.
12. *Гедройц К.К.* Избранные сочинения. М.: ГИСХЛ, 1955. Т. 1. 415 с.
13. *Дмитриев Е.А.* Математическая статистика в почвоведении. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1995. 320 с.
14. *Доскач А.Г.* Природные условия южной части полупустыни // Генезис и классификация полупустынных почв. М.: Наука, 1966. С. 5–22.
15. *Егоров В.В.* Солевые аномалии в профиле солонцов и их причина // Почвоведение. 1967. № 5. С. 108–114.
16. *Иванова Е.Н., Будина Л.П., Медведев В.П., Пачикина Л.И., Фридланд В.М.* Солонцы // Генезис и классификация полупустынных почв. М.: Наука, 1966. С. 73–116.
17. Засоленные почвы России. М.: ИКЦ Академкнига, 2006. 854 с.
18. *Зимовец А.Б.* О происхождении, накоплении и перераспределении солей в комплексных почвах Прикаспийской низменности // Почвоведение. 1970. № 5. С. 12–26.
19. Классификация и диагностика почв СССР. М.: Наука, 1977. 224 с.
20. *Ковда В.А.* Почвы Прикаспийской низменности. М.–Л.: Изд-во АН СССР, 1950.
21. *Кучерук В.В.* Травоядные млекопитающие в аридных экосистемах внетропической Евразии // Млекопитающие в наземных экосистемах. М.: Наука, 1985. С. 166–223.
22. Полевой определитель почв России. М.: Почв. ин-т им. В.В. Докучаева РАСХН, 2008. 182 с.
23. *Понизовский А.А., Пинский Д.Л., Воробьева Л.А.* Химические процессы и равновесие в почвах. Учеб. Пособие. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1986. 102 с.
24. *Роде А.А.* К вопросу о происхождении микрорельефа Прикаспийской низменности // Вопросы географии. 1953. Сб. 33. С. 249–260.
25. *Роде А.А.* Методы изучения водного режима почв. М.: Изд-во АН СССР, 1969. 244 с.
26. *Рычагов Г.И.* Плейстоценовая история Каспийского моря. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1997. 268 с.
27. *Шабанова Н.П., Лебедева М.П., Быков А.В.* Морфологические и химические свойства почв лугово-полупустынного комплекса террасы сора Хаки Боткульско-Хакской депрессии Прикаспийской низменности // Почвоведение. 2010. № 3. С. 282–292.
28. *Collins S.L., Barber S.C.* Effects of disturbance on diversity in mixed-grass prairie // Vegetatio. 1986. V. 64. № 2–3. P. 87–94.
29. *Cox G.M.* Form and dispersion of Mima-mounds in relation to slope steepness and aspect of Columbia plateau // Great Basin Naturalist. 1990. V. 50 (1). P. 21–31.