УСПЕХИ СОВРЕМЕННОЙ БИОЛОГИИ, 2020, том 140, № 5, с. 494–506

УДК 599.323.4:631.431

ПОСТХВАЛЫНСКАЯ ДИНАМИКА НАЗЕМНЫХ ЭКОСИСТЕМ НА СТЕПНОЙ РАВНИНЕ СЕВЕРНОГО ПРИКАСПИЯ

© 2020 г. Б. Д. Абатуров[1, *], М. В. Конюшкова[2, **]

[1]*Институт проблем экологии и эволюции им. А.Н. Северцова РАН, Москва, Россия*

[2]*Московский государственный университет им М.В. Ломоносова, Москва, Россия*

**e-mail: abaturovbd@mail.ru*

***e-mail: mkon@inbox.ru*

Поступила в редакцию 04.04.2020 г.
После доработки 05.05.2020 г.
Принята к публикации 08.05.2020 г.

На основе обобщения авторских и опубликованных материалов по Северному Прикаспию изучен и описан механизм, объясняющий специфику генезиса этой территории, особую роль в формировании которой играют процессы накопления и кристаллизации большой массы сульфатных солей, приводящие к разрыхлению почвенной массы и формированию просадочных свойств. Рассмотрены особенности генезиса микрорельефа и свойств почв северной части Прикаспийской низменности с абсолютными высотами от 0 до 50 м н. у. м., соответствующих разным этапам освобождения суши от вод Хвалынской трансгрессии. Низменная равнина вокруг обширного солончака Соленые грязи–Хаки на абсолютных высотах около 0 м н. у. м. по своим признакам отражает начальный этап развития суши с накоплением в почве большой массы легкорастворимых солей, прежде всего сульфатов натрия и кальция, достигающих солончакового уровня (3–4%). На территории с высотами от 0 до 35 м н. у. м., раньше освободившейся от Хвалынских вод, в результате опускания грунтовых вод и иссушения почв происходит кристаллизация и последовательная трансформация легкорастворимых солей, накопленных в течение предыдущего этапа, деформация структуры и сложения почвенно-грунтовой толщи, приподнимание поверхности почв и образование рыхлой пористой породы с просадочными свойствами. Формируется специфический глубокозападинный микрорельеф, состоящий из микроповышений и локальных микропонижений (западин). На территориях с высотами 35–50 м н. у. м., с еще большей продолжительностью континентального развития, пористый почвенный материал на микроповышениях под давлением сил гравитации, механических факторов среды и увлажнения грунтовыми водами уплотняется и оседает, что приводит к исчезновению характерного микрорельефа. Специфический комплексный характер почвенно-растительного покрова сохраняется в неизменном виде. Дальнейшее развитие этих процессов (уплотнение, оседание почв), очевидно, приводит к образованию “обратного” типа микрорельефа: превращению бывших понижений-западин с лугово-каштановыми почвами в возвышенные участки.

Ключевые слова: микрорельеф, плотность почв, легкорастворимые соли, кристаллогидраты, сульфаты, западины, Западный Казахстан, Хаки, Муратсай, Ажен, Джаныбек, Борси

DOI: 10.31857/S0042132420050038

ВВЕДЕНИЕ

Территории, формирующиеся после обсыхания водоемов или изменения уровня моря и океана, являются ценными объектами для изучения эволюции наземных экосистем. С помощью хронорядов, то есть генетически связанных последовательностей почв, сформированных в условиях, сходных по растительности, рельефу и климату, была изучена эволюция ландшафтов во многих регионах мира (Геннадиев, 1978; Huggett, 1998). Следует отметить, что основной задачей таких исследований выступают вопросы реконструкции ландшафта и палеоклимата (May et al., 2015; García-García et al., 2016).

Территория северной и северо-западной части Прикаспийской низменности с абсолютными отметками от 0 до 50 м н. у. м. представляет собой морскую аккумулятивную равнину, относительно недавно (12–15 тыс. лет назад) освободившуюся от вод Хвалынской трансгрессии Каспия (Леонтьев и др., 1976; Чепалыга, Пирогов, 2006). Ее северная часть, ограниченная Сыртовой равниной с севера, Рын-песками с юга, Узено-Чижинскими разливами бессточных рек с востока и долиной Волги с запада, представлена плоской глинистой

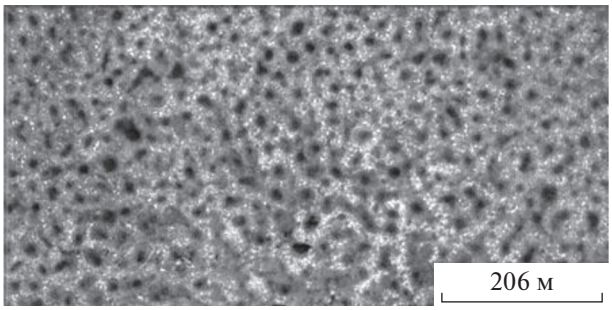

Рис. 1. Космический снимок лугово-степного комплекса с западинным микрорельефом: темные пятна – западины со степной разнотравно-злаковой растительностью (49.08333° с.ш., 46.18333° в.д., август 2003 г.).

равниной с почти полным отсутствием поверхностного и грунтового стоков. Территория отличается своеобразием природной среды, в которой тесно переплетаются элементы разных природных зон в узких пределах одного и того же ландшафта (Мильков, Гвоздецкий, 1978).

Общепризнано, что возникновение подобного комплексного характера природной среды обязано специфике мезо- и микрорельефа этой территории. Элементы мезорельефа представлены, с одной стороны, изолированными депрессиями – падинами и лиманами, и, с другой, – межпадинной равниной. В первом случае – это крупные замкнутые понижения размером от гектара до нескольких квадратных километров и глубиной до 1.0–2.0 м, происхождение которых обязано неровностям дна отступившего моря (Доскач, 1979). Эти элементы мезорельефа занимают 10–15% площади всей территории. Межпадинная равнина занимает основную часть территории (85–90%) и характеризуется сильной засоленностью грунтовых вод и почвенно-грунтовой толщи. В нее густо вкраплены замкнутые понижения – западины небольших размеров (диаметром до 15–20 м) с глубоко промытой опресненной почвенно-грунтовой толщей и с линзами пресной воды. Возникает сложная комплексная мозаика почвенно-растительного покрова, состоящая из возвышенных участков (микроповышений) и понижений (микрозападин), которые придают межпадинной равнине специфическую пятнистость (рис. 1).

Природная среда региона в целом до настоящего времени находится в состоянии активного преобразования и развития. Однако, если функционирование лиманов, падин, солодей в настоящее время достаточно исследовано и не вызывает противоречий, то в отношении комплексной, активно меняющейся и неоднородной межпадинной равнины до сих пор остается много неясностей и противоречивых мнений. Настоящее сообщение мы ограничиваем анализом структуры и динамики именно межпадинной равнины.

Свойства всех природных компонентов (почвы, растительность, животный мир и т.д.) межпадинной равнины в настоящее время хорошо изучены. Известно, что разнообразие всех показателей природной среды межпадинной равнины обязано, прежде всего, микрорельефу, обеспечивающему перераспределение атмосферных осадков: в среднем западины получают двойную норму осадков за счет стока вод с микроповышений (прежде всего в период весеннего снеготаяния), микроповышения – не более половины годовой суммы осадков, микросклоны – около 100% (Роде, Польский, 1963; Большаков, Базыкина, 1974). Соответственно здесь типичные луговые и степные каштановые и черноземовидные почвы в западинах тесно соседствуют с опустыненными солонцами и солончаковыми почвами на микроповышениях, лугово-степная мезофильная разнотравно-злаковая растительность западин (*Stipa* spp., *Festuca valesiaca*, *Agropyron pectiniforme*, *Medicago romanica*, *Spiraea hypericifolia*) чередуется с сообществами ксерофитного разнотравья и галофильных трав, полукустарничков на микроповышениях (*Artemisia pauciflora*, *Kochia prostrata*, *Salsola laricina*, *Tanacetum achilleifolium*, *Agropyron desertorum*). Такая же пестрота свойственна грунтовым водам: сильно минерализованные засоленные грунтовые воды на микроповышениях чередуются с расположенными рядом линзами пресной воды. Вместе с тем до настоящего времени остаются неясными причины и механизмы формирования столь характерного с уникальными природными свойствами микрорельефа. Нужно учитывать, что почвенно-грунтовая толща данной территории сложена мощными отложениями засоленных раннехвалынских (морских) тяжелых суглинков, однородных по гранулометрическому составу. Однородность почвенно-грунтовой толщи и равнинность территории, казалось бы, должны были обеспечить формирование однородной природной среды. Между тем расчленение поверхности с образованием специфического микрорельефа полностью перенаправило течение важнейших средообразующих процессов, прежде всего водного, солевого режимов почв, и повлекло за собой формирование специфической природной структуры с характерным степным комплексным почвенно-растительным покровом, представляющим собой сочетание типично степных, сухостепных и пустынно-степных элементов.

Формирование микрорельефа в данных условиях – особый природный процесс, привлекавший к себе внимание большого числа исследователей. Характерно, что все внимание в этом случае было направлено на образование западин. Были выдвинуты разные гипотезы для объяснения причин и механизмов этого явления: от исходных неровностей морского дна (Новиков, 1936; Саваренский, 1950) и эрозионных явлений под дей-

ствием текучих вод и ветра (Неуструев, 1910) до специфического действия животных-землероев, прежде всего сусликов (Богдан, 1900; Мозесон, 1952). Позднее было установлено, что западины имеют суффозионное происхождение, связанное с локальным выщелачиванием из почвенной толщи солей и проседанием почвы (Новиков, 1936; Большаков, Боровский, 1937; Швыряева, 1939; Большаков, 1950; Иванова, Фридланд, 1954).

К середине XX века сформировались классические представления о структуре межпадинной равнины с характерным микрорельефом, в основе которого – микроповышения, сложенные солончаковыми солонцами с приподнятой на 30–40 см поверхностью и специфическим сильно засоленным пескообразным почвенным горизонтом мощностью около 100 см с низкой плотностью (1.1–1.30 г/см^3), и микропонижения (западины) глубиной относительно поверхности микроповышений 30–40 см, с каштановыми гумусированными опресненными почвами высокой плотности (до 1.60 г/см^3). Однако последующие многочисленные исследования разных специалистов показали, что сложившиеся представления на самом деле не столь однозначны. Оказалось, что во многих случаях на рассматриваемой постхвалынской территории поверхность почвенных структур, относимых к микроповышениям, на самом деле не возвышается над окружающей территорией, в свою очередь поверхность микропонижений не опущена по отношению к микроповышениям, микрорельеф слабо выражен или отсутствует (Иванова, Фридланд, 1954; Будина, 1964). Характерный для солончаковых солонцов рыхлый пескообразный горизонт не выражен или отсутствует и отличается обычной высокой для таких почв плотностью (1.50 г/см^3). Более того, так называемые западины со свойственными им опресненными каштановыми почвами и богатой мезофильной степной растительностью во многих случаях располагаются не в понижениях, а на ровных участках на одном уровне с поверхностью микроповышениий (Будина, 1964). Соответственно, существующие представления о единой природе формирования постхвалынской равнины подверглись сомнению или отрицались. Так или иначе, сложившиеся представления о формировании и структуре постхвалынских экосистем приобрели противоречивый характер. Возникла необходимость пересмотреть классические представления о современной структуре сформированных к настоящему времени постхвалынских экосистем и, используя накопившиеся материалы, понять истинные механизмы их формирования, весьма активно протекающее и хорошо заметные в настоящее время.

Район и объекты исследования

Цель предлагаемой работы посвящена обобщенному анализу механизмов формирования экосистем, освободившихся от вод Хвалынской трансгрессии Каспия на разных этапах с момента отступления моря до настоящего времени.

С этой целью были использованы многочисленные опубликованные материалы исследований, выполненных на рассматриваемой территории в разные годы, особенно материалы детальных исследований специалистов, проведенные на Джаныбекском стационаре Института лесоведения РАН с 1950 г. по настоящее время. Авторами данной статьи были проведены исследования на 5 ключевых участках, расположенных в разных частях севера Прикаспийской низменности: “Хаки” (0 м н. у. м., 48.791° с.ш., 47.210° в.д.), “Муратсай/Ажен” (+25 м н. у. м., 49.049° с.ш., 47.156° в.д.), “Джаныбек” (+25...+27 м н. у. м., 49.399° с.ш., 46.810° в.д.), “Лепехинка” (+35 м н. у. м., 50.63° с.ш., 46.83° в.д.), “Борси” (+48 м н. у. м., 50.108° с.ш., 47.496° в.д.) (рис. 2). Участок “Хаки” соотносится с позднехвалынской равниной Прикаспия, “Муратсай/Ажен” и “Джаныбек” – со среднехвалынской, “Лепехинка” и “Борси” – с раннехвалынской (Доскач, 1979).

На ключевых участках “Лепехинка”, “Борси” и “Муратсай” в 2011, 2014 и 2016 гг. были проведены полевые исследования: заложены трансекты, на которых проведено нивелирное измерение микрорельефа, изучены и отобраны образцы из двух полнопрофильных почвенных разрезов на каждом ключе, пробурены скважины с отбором образцов до глубины 5 м, взяты образцы грунтовой воды (в случае расположения УГВ (уровень грунтовой воды) в пределах 5 м), измерена влажность (весовым методом) и послойно (через 10 см) буром Качинского определена плотность почв (в 2–3-кратной повторности). Вдоль трансект проведено геоботаническое описание. В образцах почв определяли состав водной вытяжки (1 : 5) и гранулометрических фракций.

Ключевые участки “Джаныбек” и “Хаки” описываются по литературным и собственным данным прошлых лет (Абатуров, 1984, 2007; Новикова и др., 2004; Хитров, 2005; Шабанова, 2011; Конюшкова, 2014; Шабанова и др., 2014).

Этапы формирования после освобождения суши от Хвалынских вод

Спад вод Хвалынской трансгрессии носил ступенчатый характер, поэтому на рассматриваемой территории отчетливо выделяются области с разной длительностью континентального развития: наиболее продолжительный, после схода вод Ранней Хвалыни, с возрастом суши около 15 тыс. лет на высотах от 35 до 50 м н. у. м. (то есть

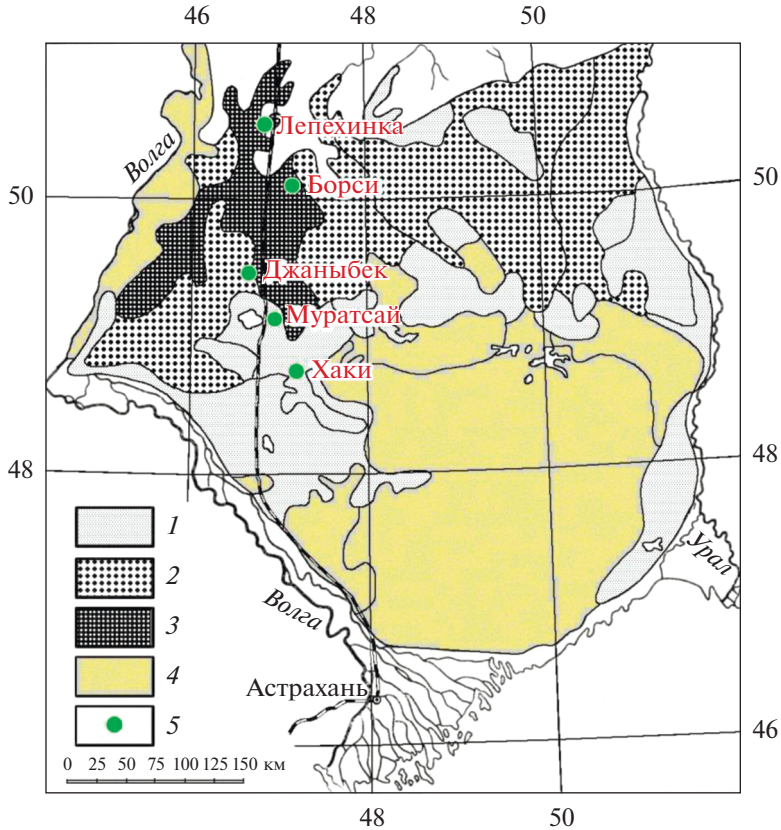

Рис. 2. Типизация солонцовых комплексов Волго-Уральского междуречья Прикаспийской низменности по выраженности микрорельефа и структуре почвенного покрова. При составлении рисунка за основу была взята схема распространения типов солонцовых комплексов Л.П. Будиной (1964) и типизация микрорельефа Д.Л. Мозесона (1956). Условные обозначения: *1* – слабоконтрастные солонцовые комплексы с мелкозападинным микрорельефом; *2* – контрастные солонцовые комплексы с глубокозападинным микрорельефом; *3* – контрастные солонцовые комплексы с плоскозападинным микрорельефом; *4* – некомплексный почвенный покров; *5* – расположение ключевых участков.

до береговой террасы Хвалынских вод); промежуточный (после отступления Средней Хвалыни) с длительностью до 12 тыс. лет на высотах от 0 до 35 м н. у. м., и более краткий около 10 тыс. лет после Поздней Хвалыни на абсолютных высотах ниже 0 м н. у. м. (Чепалыга, Пирогов, 2006). Все области с поверхности сложены однородными суглинками, сходными по гранулометрическому составу (табл. 1). Разная продолжительность формирования освободившейся от морских вод территории в пределах абсолютных высот 0–50 м н. у. м. послужила причиной ее разделения на три зоны, различающиеся специфическими особенностями сформированного на их поверхности микрорельефа: мелкозападинный, плоскозападинный и глубокозападинный (рис. 2) (Мозесон, 1956). Первоначально при освобождении от хвалынских вод развитие экосистем в каждом случае происходило при высоком уровне засоленных грунтовых вод (Роде, 1953; Иванова, Фридланд, 1954). Поверхностное расположение капиллярной каймы сопровождалось интенсивной аккумуляцией в почве солей, в результате чего сумма легкорастворимых солей достигала высоких величин (до солончакового уровня). Этот процесс в разных геоморфологических условиях различался по интенсивности, от чего замена грунтовых вод морского генезиса с хлоридным засолением на континентальный с сульфатным, а также аккумуляция солей в почвогрунтах была неодинаковой как по составу солей, так и по их массе (Славный и др., 1970).

Поздняя Хвалынь. Действительно, значительную часть территории, расположенной ниже высотной отметки 0 (от 0 до –10 м н. у. м.), в настоящее время занимает недавно освободившаяся от Хвалынских вод (Поздняя Хвалынь) низменная равнина вокруг обширного солончакового озера – Соленые грязи–Хаки, который после отступления вод моря сохранился как замкнутый соленый водоем (Доскач, 1979). Характерно, что древняя береговая линия Поздней Хвалыни видна на местности в виде заметного невысокого уступа, соответствующего прохождению нулевой горизонтали. Очевидно, эта территория по своим признакам отражает именно начальный этап генезиса

Таблица 1. Содержание гранулометрических фракций в солонцах ключевых участков

Глубина, см	Размер гранулометрических фракций, мм						
	1–0.25	0.25–0.05	0.05–0.01	0.01–0.005	0.005–0.001	<0.001	менее 0.01
Разрез ЗК-2 (50.10808° с.ш., 47.4963° в.д.) “Борси”							
0–5	1.3	20.8	47.4	12.4	11.4	6.8	30.6
5–16	0.1	12.9	32.2	9.4	12.7	32.7	54.8
16–26	0.2	15.1	23.5	9.3	10.9	41.1	61.3
26–35	0.2	16.2	27.2	6.9	12.2	37.4	56.5
35–45	0.0	13.2	25.5	17.0	12.7	31.5	61.2
45–60	0.1	13.3	28.8	11.9	13.9	32.0	57.8
180–200	0.4	19.8	34.8	6.7	9.6	28.7	45.0
Разрез 7М (49.39947° с.ш., 46.81050° в.д.) “Джаныбек”							
0–7	0.1	17.9	48.4	9.6	17.9	6.2	33.6
7–14	0.0	5.8	38.2	10.1	14.4	31.4	56.0
14–24	0.0	4.0	36.2	9.1	15.4	35.3	59.8
24–31	0.0	8.1	33.0	8.2	27.7	23.0	58.9
31–55	0.0	13.3	32.0	5.7	28.5	20.6	54.7
55–100	0.0	14.3	35.2	5.2	20.7	24.6	50.5
100–141	0.0	18.2	36.5	3.6	19.7	22.0	45.3
141–160	0.7	16.6	36.8	5.3	20.4	20.3	45.9
Разрез ЗК-5 (49.04884° с.ш., 47.15589° в.д.) “Муратсай”							
0–4	0.7	30.2	43.1	6.7	13.5	5.8	26.1
4–16	0.1	16.8	23.3	11.5	10.8	37.5	59.8
16–28	0.1	23.2	21.6	6.5	14.4	34.1	55.0
28–40	0.0	25.9	22.2	8.4	15.2	28.3	51.9
40–50	0.0	23.7	25.5	8.7	13.1	28.9	50.8
60–90	0.1	34.7	24.3	7.1	10.4	23.4	41.0
180–200	0.0	32.2	27.9	6.1	10.4	23.4	39.9
Хаки-3 (48.791° с.ш., 47.210° в.д.) “Хаки” (Шабанова, 2011)							
1.5–6	3.6	46.1	31.7	6.3	8.7	3.6	18.6
6–12	3.7	43.5	31.1	8.1	8.9	4.6	21.6
12–20	2.2	32.3	20.4	5.6	8.9	30.6	45.1
20–25	1.6	20.9	24.4	5.0	10.5	37.6	53.1
25–42	1.5	20.6	25.5	6.5	11.3	34.6	52.4
42–57	0.8	12.4	33.2	8.3	13.8	31.6	53.6
57–66	2.5	36.3	24.0	5.2	8.9	23.0	37.2
66–80	5.6	33.9	23.3	5.3	10.8	21.0	37.1
80–90	7.0	51.8	14.4	4.4	6.6	15.8	26.8

освободившейся от морских вод суши. В настоящее время она представляет собой плоскую низину, сложенную однородным тяжелым и средним суглинком, подстилаемым с глубины более 1 м песками (Абатуров, 1984). Соленые грунтовые воды по данным бурения располагаются на глубине 1.7–2.0 м (18 августа 1973 г.). Почвы этой территории с момента выхода на дневную поверхность по настоящее время формируются в условиях гидроморфного режима под определяющим влиянием засоленных грунтовых вод. Поверхностное расположение капиллярной каймы сопровождается интенсивным накоплением солей в почве, в результате чего сумма легкорастворимых солей по данным анализа водной вытяжки достигает высоких величин: 34–44 смоль/кг или более 3% от веса сухой почвы, при этом основную их часть – 25 смоль/кг занимают сульфат-ионы, ответственные

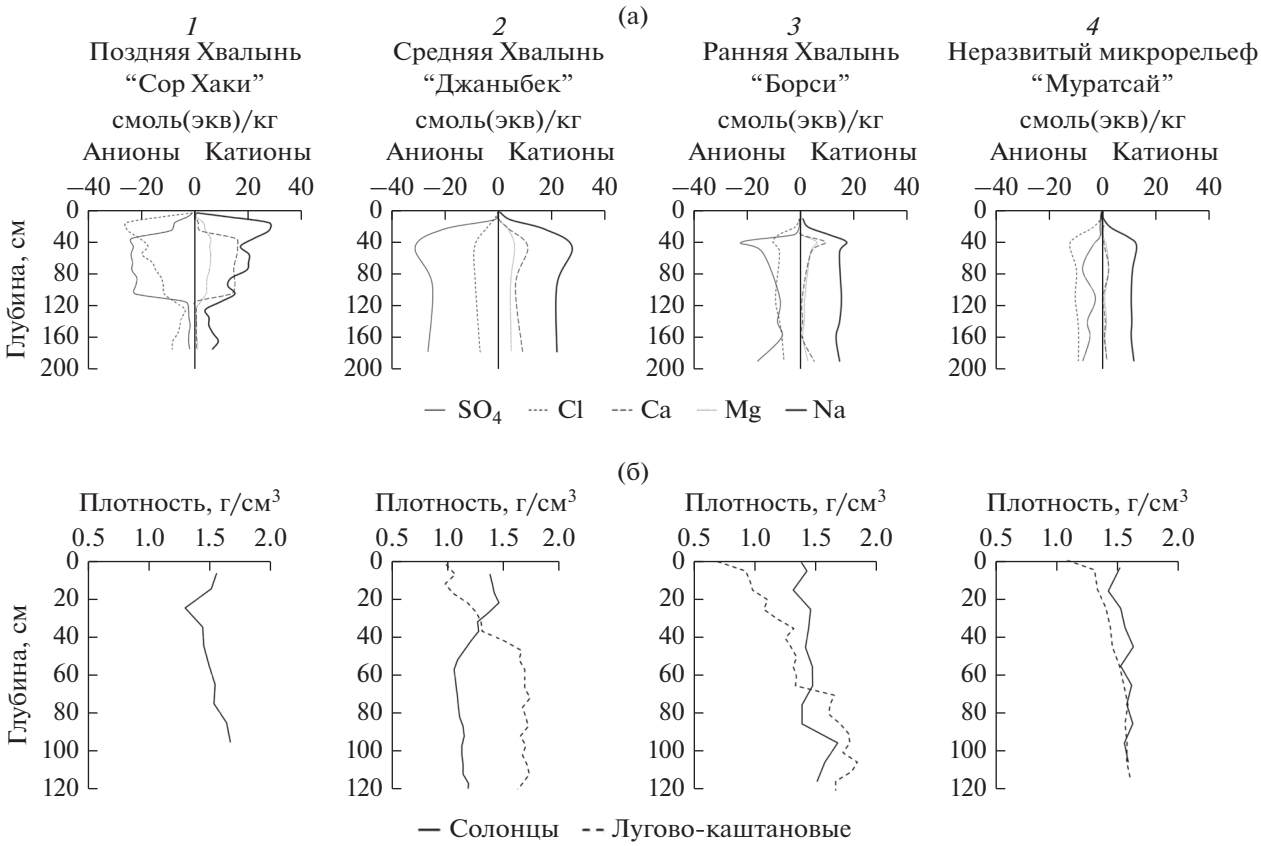

Рис. 3. Профильное распределение легкорастворимых солей в солонцах (а) и плотности почв комплекса (б) на участках с разными этапами формирования микрорельефа после схода Хвалынских вод: *1* – Поздняя Хвалынь (сор Хаки, <0 м н. у. м., 48.791° с.ш., 47.210° в.д.) (Абатуров, 1984); *2* – Средняя Хвалынь с глубокозападинным микрорельефом (Джаныбек, +25–27 м н. у. м., 49.399° с.ш., 46.810° в.д.); *3* – Ранняя Хвалынь (Борси, +48 м н. у. м. , 50.108° с.ш., 47.496° в.д.) (Конюшкова, Абатуров, 2016); *4* – без микрорельефа (Муратсай, Ажен, +25 м н. у. м., 49.049° с.ш., 47.156° в.д.).

за структурные преобразования почв при изменении гидрологического режима почвенно-грунтовой толщи (Абатуров, 1984) (рис. 3). В настоящее время в условиях повышенной влажности почв в зоне капиллярной каймы, достигающей здесь поверхности, средняя плотность метровой толщи почвы остается типичной для этих почв – 1.54 г/см^3 (Абатуров, 1984). Отчетливо выраженный микрорельеф отсутствует. Лишь механические формы воздействий текучих вод и ветра вызывают образование неровностей рельефа, создающих здесь, по мнению Д.Л. Мозесона (1956), “мелкозападинный” микрорельеф. Некоторое разнообразие вносят редкие мелкие бугорки-сусликовины высотой 10–20 см и 2.5 м в поперечнике, создаваемые обитающими здесь малыми сусликами (*Spermophilus pygmaeus* Pall.).

По мере удаления от уреза воды и подъема поверхности до 0 м н. у. м. отмечается локальное рыхление (вспушение) почвы и приподнимание ее поверхности. Это происходит на сусликовых бугорках (сусликовинах), размеры которых по этой причине увеличиваются до 40 см в высоту и до 10 м в поперечнике. По сути, в данном случае формируются обособленные микроповышения, представляющие самостоятельное почвенное образование, сформировавшееся на месте сусликовых бугорков. Образование таких микроповышений вызвано специфическими особенностями почвообразования на сусликовинах (Абатуров, 1984). В результате интенсивного иссушения почв (до 13% веса почв) выпуклой поверхностью бугорков и пышно разрастающимися здесь солянками (*Anabasis aphylla*, *A. salsa*) происходит разуплотнение почвы с 1.54 до 1.27 г/см^3, вызванное кристаллизацией накопившихся солей и увеличением ее объема. Легко рассчитать, что при таком снижении плотности и увеличении объема почвенного субстрата поверхность метровой толщи почвы дополнительно поднимается не менее чем на 20 см (Абатуров, 1984). Нужно отметить, что сумма легкорастворимых солей остается практически прежней (35–52 смоль/кг) при том же высоком содержании сульфатов. Очевидно, по мере снижения базиса эрозии, опускания грунтовых вод и усыхания засоленной почвенно-грун-

товой толщи всю солончаковую низину со временем ожидает такая же участь: произойдет общий подъем на ту же высоту всей поверхности солончаковой низины.

На ближайших склонах солончаковой котловины за пределами низины (на высотах >0 м н. у. м.) размеры таких приподнятых локальных образований увеличиваются и достигают 15–20 м в поперечнике. Здесь на фоне равнинного микрорельефа они выступают как обособленные друг от друга приподнятые куполообразные структуры. Общий равнинный облик территории при этом радикально не меняется, западинный микрорельеф отсутствует.

Заметим, что увеличенные размеры таких возникающих почвенных структур обязаны прежде всего процессам кристаллизации накопившихся солей, а не только повышенному механическому рыхлению почвы сусликами из-за затопления их нор грунтовыми водами, как иногда считается (Шабанова и др., 2014). Суслики всегда сооружают гнезда выше уровня грунтовых вод (Бируля, Литвинов, 1941; Варшавский, 1962; Абатуров, 1984). Так или иначе, отмечаемое снижение плотности почвы в любом случае приводит к увеличению объема и размеров почвенной структуры.

В итоге, начальный этап развития освободившейся от вод моря территории завершается важнейшим результатом – аккумуляцией в почвенной толще большой массы солей, прежде всего сульфатов натрия и кальция, достигающих солончакового уровня (3–4%). Необходимое условие данного процесса – высокое расположение засоленных грунтовых вод с выходом капиллярной каймы на дневную поверхность, смена приморского хлоридного типа соленакопления на континентальный сульфатный.

Средняя Хвалынь. Какова дальнейшая судьба степной равнины, раньше освободившейся от Хвалынских вод и имеющей более продолжительный период континентального развития? Здесь, после схода вод Средней Хвалыни, на обширной территории с абсолютными высотами от 0 до 35 м н. у. м. распространен характерный для равнин Северного Прикаспия специфический западинный микрорельеф. При этом выделяются области с двумя типами микрорельефа: с плоскозападинным и глубокозападинным (Мозесон, 1956).

Особой спецификой отличается генезис глубокозападинного микрорельефа. Глубокозападинный микрорельеф Джаныбекского стационара и ближайших окрестностей выражен очень ярко и описан в многочисленных публикациях (Новиков, 1936; Большаков, Боровский, 1937, Мозесон, 1955; Роде, Польский, 1961; Хитров, 2005; Абатуров, 2010). Амплитуда высот составляет в среднем около 30–40 см, с учетом сусликовин – до 50–60 см.

Генезис глубокозападинного микрорельефа наиболее полно описан А.А. Роде (1953). Он впервые заметил, что его формирование складывается из двух противоположно направленных процессов: рыхления (вспушения) почвенной массы с приподниманием поверхности всей территории и последующего локального (точечного) уплотнения почвы с оседанием ее поверхности и образованием обособленных понижений-западин. Отступление вод моря, снижение базиса эрозии и поверхности грунтовых вод с отрывом капиллярной каймы от верхних горизонтов почвы повлекло за собой резкое иссушение почвенной толщи и кристаллизацию большой массы легкорастворимых солей, накопленных в ней в течение начального этапа. Хорошо известно, что водорастворимые соли, прежде всего сульфаты, при иссушении почвы и при пониженных температурах (<32°C), переходят в кристаллогидраты, связывающие в себе большое число молекул воды. Сернокислый натрий кристаллизуется с образованием десятиводных кристаллогидратов мирабилита ($Na_2SO_4 \cdot 10H_2O$), резко увеличивается при кристаллизации в объеме (Орадовская, Аристова, 1956; Строителев, 1958; Ляхов, Болдырев, 1972). Считается, что этот процесс приводит к разуплотнению и набуханию суглинистых почв. Однако специфика протекания данного процесса в почвенной среде в настоящее время до конца не ясна. Образование больших по объему кристаллогидратов увеличивает объем обогащенной ими суглинистой почвы, что приводит к подъему ее поверхности. Как известно, возникшие кристаллогидраты мирабилита неустойчивы в засушливых и жарких степных и пустынных областях. Мирабилит при высокой сухости, а также при температурах выше 32°C теряет кристаллизационную воду, обезвоживается и переходит в безводный сульфат – порошкообразный тенардит (Na_2SO_4), который занимает гораздо меньший объем. Очевидно, именно в этом случае происходит увеличение порозности, снижение плотности и вспушение засоленного почвенного субстрата (рис. 3). В результате этих двух последовательных процессов (увеличение объема при образовании кристаллогидратов и возникновение пористости при их разрушении) формируется приподнятая почвенная структура, обладающая высокой порозностью, низкой плотностью почвенного материала и малой водоустойчивостью микроагрегатов. Засоленность почвенного материала сохраняется на прежнем высоком уровне. Почвенный покров за счет высокой порозности приобретает просадочные свойства (Орадовская, Аристова, 1956; Петрухин, 1980). Казалось бы, увлажнение почвы водами атмосферных осадков должно приводить к разрушению пористых микроагрегатов, уплотнению почвенного материала и повсеместному опусканию приподнятой поверхности. Однако водонепроницаемый солонцовый

горизонт, расположенный в верхней части распространенных здесь солонцовых почв, защищает засоленные горизонты от атмосферной влаги и сохраняет их пористую структуру со всеми свойственными для них особенностями (Роде, 1953). Поэтому вода проникает в почву лишь в особых условиях, локально, при наличии тех или иных образований, открывающих доступ воды в глубь почвы, что касается прежде всего нор обитающих здесь сусликов (Абатуров, Зубкова, 1972). Именно таким образом сформирован глубокозападинный микрорельеф на равнинных территориях Северного Прикаспия.

Плотность почв на участке “Джаныбек” резко контрастна. На микроповышениях в солончаковом солонце наблюдается максимум плотности в солонцовом горизонте (1.3–1.5 г/см^3) и минимум плотности (1.1–1.3 г/см^3) – в основном слое 30–150 см (так называемом “псевдопесчаном” подсолонцовом горизонте). Глубже плотность постепенно увеличивается и к 2 м сравнивается с плотностью лугово-каштановых почв (около 1.6 г/см^3). В лугово-каштановой почве в западинах наблюдается разрыхленность верхних гумусовых горизонтов с постепенным увеличением плотности вглубь от 1.0 до 1.3 г/см^3. Начиная с 40–60 см плотность резко увеличивается и становится постоянной и равной около 1.6–1.7 г/см^3. Средняя плотность 2-метровой толщи почвы на микроповышениях – 1.29–1.35 г/см^3, в западинах – 1.48–1.54 г/см^3 (Абатуров, 2007).

Прямое сравнение фактических высот микрорельефа и расчетных, определенных по показателям плотности почвенной толщи в тех же точках, показало полное совпадение высот в том и другом случае (Абатуров, 2007). Изменение микрорельефа, рассчитанное по показателям плотности почвы, полностью покрыло фактическую амплитуду высот микрорельефа, что свидетельствует о прямой зависимости формирования микрорельефа от изменения плотности почвы.

Следует особо подчеркнуть, что необходимым условием формирования глубокой западины на этой стадии постхвалынского генезиса степных экосистем является первоначальное накопление в толще почвы достаточно большой массы легкорастворимых солей, особенно сульфатов, в период высокого стояния грунтовых вод в начальный этап формирования, их кристаллизация с образованием кристаллогидратов и последующее разрушение. Именно эти особенности почв обеспечивают просадочные свойства формирующихся постхвалынских почв. Как показано выше, в современной низменной котловине сора Соленые грязи–Хаки в настоящее время продолжается накопление солей, количество сульфат-ионов достигает 30–40 смоль(экв)/кг почвы. На землях Джаныбекского стационара (Средняя Хвалынь) с ярко выраженным глубоким западинным микрорельефом сохранилось столь же высокое количество солей (30–40 мг-экв) в солонцовых почвах, что обеспечило уменьшение плотности их двухметрового слоя до 1.22 г/см^3 и соответствующее приподнимание поверхности на 30–40 см (рис. 3). Последующее локальное увлажнение почвы водами атмосферных осадков привело к ее локальному же уплотнению, оседанию и образованию глубоких западин.

Важно учитывать, что рост числа западин по мере увеличения их суммарной площади и соответствующего уменьшения свободных водосборов замедляется и в настоящее время, очевидно, прекратился совсем (Кремер, 1970). Тем не менее, и сейчас даже небольшое количество воды, стекающей с оставшейся свободной поверхности на микроповышениях, обеспечивает формирование на солончаковых солонцах небольших (около 1.0–1.5 м в поперечнике) микропонижений со светло-каштановыми почвами. Этому процессу активно способствует деятельность сусликов, ежегодно сооружающих специфические вертикальные норы (дрены), по которым вода поступает в глубокие засоленные горизонты почвы, обеспечивая их уплотнение и оседание (Абатуров, Зубкова, 1972).

В силу специфического западинного микрорельефа и обусловленного им поверхностного перераспределения атмосферных осадков, здесь возникла сложная система почвенно-растительных сообществ: мезофитная разнотравно-дерновинно-злаковая растительность на лугово-каштановых почвах по микрозападинам, сообщества галофильных и ксерофильных полукустарничков на солончаковых солонцах по микроповышениям, ассоциации ксерофильных злаков и разнотравья на светло-каштановых почвах по микросклонам. Эти сообщества резко различаются по обеспеченности влагой и продуктивности. В частности, микрозападины за счет стока поверхностных вод с микроповышений получают до 250% суммы осенне-зимне-весенних осадков, микроповышения – около 60%, микросклоны – 100% (Роде, Польский, 1963). Продуктивность надземной фитомассы разных сообществ от галофильных полукустарничков по микроповышениям до разнотравно-злаковых – по микропонижениям варьирует от 13 до 33 ц/га, то есть изменяется почти в трехкратном размере (Абатуров, Нухимовская, 2018).

Ранняя Хвалынь. Какова же дальнейшая судьба характерного для Северного Прикаспия глубокозападинного микрорельефа? Нами было показано, что на территориях с абсолютными высотами 35–50 м н. у. м., ранее освободившихся от хвалынских вод и отличающихся более продолжительным развитием, характерный западинный

Таблица 2. Изменение мелких форм рельефа под влиянием пастьбы животных (по: Абатуров, 1991)

Вариант	Превышение вершины микроповышения над дном западины, см		Высота сусликовины, см	Горизонтальное расстояние между вершиной микроповышения и дном западины, м
	с учетом высоты сусликовины	без учета сусликовины		
Заповедный участок	39.5 ± 2.1	25.9 ± 1.2	14.4 ± 1.7	19.6 ± 1.6
Умеренный выпас	40.0 ± 1.6	25.5 ± 1.1	14.2 ± 1.4	19.3 ± 2.4
Интенсивный выпас	37.1 ± 1.9	15.9 ± 1.1	20.4 ± 2.0	19.7 ± 2.8

микрорельеф слабо выражен или даже полностью отсутствует (Конюшкова, Абатуров, 2016). В соответствии с типизацией Мозесона (1956), именно на этой территории сформирован мелкозападинный слабо выраженный микрорельеф. Тем не менее, здесь в той же мере развит тот же характерный комплексный почвенно-растительный покров, придающий ландшафту пятнистый облик и представленный теми же темноцветными лугово-каштановыми почвами с высокопродуктивной мезофитной разнотравно-дерновинно-злаковой растительностью, сильнозасоленными (солончаковыми) солонцами с низко продуктивными сообществами галофильных и ксерофильных полукустарничков, светло-каштановыми почвами с ассоциациями ксерофильных злаков и разнотравья. Образование такого природного комплекса, как отмечено выше, обязано именно микрорельефу. Совершенно очевидно, что специфический контрастный почвенно-растительный комплекс на этом более древнем участке представляет собой реликтовое образование. Он был сформирован изначально при наличии хорошо развитого глубокозападинного микрорельефа, который со временем в результате структурного преобразования и оседания почвенного субстрата на микроповышениях деградировал. При этом развитый к этому времени характерный трехчленный почвенно-растительный комплекс сохранился в прежнем виде. Оседание микроповышений и выполаживание поверхности, как показали полученные данные, было вызвано, очевидно, естественным уплотнением под действием собственной силы тяжести разрыхленного вспушенного почвенного материала, развитого на микроповышениях (Петрухин, 1980), а также под влиянием его увлажнения в результате подъема грунтовых вод, который происходил неоднократно, и, кстати, происходит в настоящее время. Примечательно, что уплотнение и оседание поверхности засоленных почв под действием сил гравитации активно развивается в настоящее время под влиянием тяжести стад пасущихся домашних животных и хорошо прослеживается в местах расположения скотоводческих ферм и пастбищных территорий вокруг них в виде плоских пространств с выположенным микрорельефом. Лишь сусликовые бугорки, избегаемые животными и не испытывающие давления животных, увеличиваются в высоту в результате оседания на 10 см поверхности окружающих почв (табл. 2). В результате этих неизбежных природных процессов сильно засоленные (до 20–40 мг-экв) рыхлые горизонты солончаковых солонцов на этой раннехвалынской стадии были уплотнены с обычных для предыдущей стадии на участке “Джаныбек” значений 1.1–1.3 г/м^3 до 1.4–1.5 г/м^3, что привело к опусканию поверхности на 30–40 см и, в итоге, к выполаживанию всего микрорельефа при общем сохранении высокой засоленности и характерной структуры почвенно-растительного комплекса. Следует отметить другой возможный механизм сглаживания микрорельефа, связанный с заплыванием западин, как это было отмечено в работе И.В. Иванова и В.А. Демкина (Иванов, Демкин, 1978).

Приведенные аналитические материалы свидетельствуют о том, что на раннехвалынской равнине в начальный период формирования природного комплекса при высоком расположении грунтовых вод фаза аккумуляции солей была сходной по интенсивности с аналогичной фазой современного этапа (Поздняя Хвалынь) и территории Джаныбекского стационара (Средняя Хвалынь), что выразилось в максимальном (>20 смоль(экв)/кг.) накоплении сульфат-ионов в почвенном профиле, сохранившемся до настоящего времени (рис. 3). В солонцах содержание хлоридов в 5-метровой толще варьирует в пределах 1–10 смоль(экв)/кг, сульфатов достигает 22 смоль(экв)/кг, соотношение Cl/SO_4 0.3–1.2. Совершенно очевидно, в период максимального развития микрорельефа на этом участке высокий уровень сульфатов обеспечивал формирование глубокозападинного микрорельефа.

Каким образом сохраняется прежний контрастный комплексный почвенно-растительный покров при выравнивании поверхности и равномерном распределении атмосферной влаги по всем элементам комплекса в случае мелкозападинного микрорельефа? По нашим данным, растительность использует опресненную влагу в

почве западин значительно полнее, иссушая ее до влажности 10–12%, тогда как на засоленных почвах микроповышений – только до 16–18% (Абатуров, 1984). Это в рассматриваемом нами случае обеспечивало сохранение прежнего контрастного комплексного почвенно-растительного покрова.

Солонцовый комплекс, развитый на этой раннехвалынской окраине Прикаспийской низменности, является, по-видимому, одной из завершающих стадий формирования постхвалынской равнины, однако, это еще не конечная стадия. Активный генезис постхвалынской равнины, заключающийся в постепенном уплотнении исходно разрыхленных солонцовых почв на микроповышениях, очевидно, должен привести к обратному соотношению высот микрорельефа: поверхность бывших микроповышений, в результате продолжающегося уплотнения и оседания почвы, опустится глубже поверхности бывших западин, сохранивших пониженную плотность верхней части их почвенного профиля, обогащенного органическим материалом (гумусом) низкой плотности и высокой порозности. В итоге бывшие западины, преобразуются в возвышенные участки (микроповышения). Легко рассчитать, что только за счет таких различий в плотности верхнего полуметрового слоя почв (1.23 г/см^3 в бывших западинах и 1.60 г/см^3 на микроповышениях) поверхность на месте западин должна превысить окружающую поверхность на 12 см (Абатуров, 2007). Эти особенности микрорельефа в настоящее время визуально заметны на постхвалынских территориях, уже прошедших эту стадию генезиса.

Территории с неразвитым микрорельефом. Как отмечено выше, на рассматриваемой территории широко представлена зона с плоскозападинным микрорельефом. Давно сложилось мнение, что глубокозападинный микрорельеф приурочен к более плоским бессточным и недренированным территориям, тогда как плоскозападинный – распространен в областях с уклонами к озерным и солончаковым котловинам (Эльтон, Боткуль, АралСор, Шала-Купа, Хаки-сор и др.). В том и другом случае формирование микрорельефа радикально различается. Выше мы отметили, что ключевым необходимым фактором формирования западинного микрорельефа выступает аккумуляция легкорастворимых солей, прежде всего сульфатов, в почвенной толще на начальных стадиях развития постхвалынских равнин. При этом необходимо достаточно высокое накопление солевой массы (не менее 20–30 смоль(экв)/кг почвы), обеспечивающее радикальное рыхление (вспушение) засоленного грунта при его иссушении после снижения уровня грунтовых вод. Ранее было отмечено, что на дренированных территориях с быстрым отрывом грунтовых вод и капиллярной каймы от верхней толщи почвы, а также в местах с постоянным высоким расположением грунтовых вод в бессточных низинах, где сохраняется гидрохимический тип засоления морского генезиса, данный процесс не получает развития (Славный и др., 1970). Действительно, по нашим данным на плоской равнине с высотной отметкой 25 м н. у. м., дренированной котловинами Шала-Купа, солончака Соленые грязи–Хаки, а также овражно-балочной системой Мурат-Сай, западинный микрорельеф по этим причинам не развит (Абатуров, 1984). Здесь (Ажен – 48.95433° с.ш., 47.15350° в.д., 25 м н. у. м.) грунтовые воды находятся на глубине более 10 м. Быстрый отрыв капиллярной каймы от верхней толщи почвы препятствовал развитию сульфатного засоления, фоновая почва сохранила отчетливое хлоридное засоление (содержание хлоридов в пределах 4.9–8.1 смоль(экв)/кг, сульфатов – 0.89–1.77 смоль(экв)/кг) (Абатуров, 1984). Соответственно и плотность всей почвенной толщи осталась высокой: средняя плотность метровой толщи 1.50 г/см^3 (рис. 3). Признаки формирования западинного микрорельефа здесь полностью отсутствуют.

Тем не менее, рядом на другом участке (Муратсай – 49.04884° с.ш., 47.15589° в.д., 25 м н. у. м.) на солонцовых почвах с кустарничковой прутняково-мятликовой растительностью при тех же характеристиках плотности и низкой засоленности почвенного покрова в мелких неровностях рельефа формируются небольшие по площади понижения глубиной около 5 см, которые выделяются пятнами злаковой растительности и отражают облик плоскозападинного микрорельефа. Здесь, как и в предыдущем случае, при грунтовых водах глубже 10 м фоновая почва сохранила отчетливое хлоридное засоление (содержание хлоридов в пределах 8–12 смоль(экв)/кг, сульфатов – 2–7 смоль(экв)/кг). Соответственно и плотность всей почвенной толщи осталась высокой: средняя плотность метровой толщи 1.50 г/см^3 (рис. 3). Признаки формирования западинного микрорельефа здесь также отсутствуют. Контуры со злаковой растительностью, разбросанные и небольшие по площади, приурочены к слабовыраженным микропонижениям (западинкам), которые занимают небольшую площадь (5–10%) и заняты преимущественно светло-каштановыми (а не лугово-каштановыми, черноземовидными) почвами. Лишь в их центральной части развиты более промытые от солей почвы, близкие по свойствам к лугово-каштановым. Солонцы заняты прутняковой, мятликово-прутняковой растительностью. Контуры со светло-каштановыми почвами западинок заняты полынково-типчаково-житняковой растительностью (в центральной части) (*Festuca valesiaca*, *Agropyron cristatum*, *Artemisia austriaca*) и типчаковой – по окраине.

Совершенно очевидно, что широкое распространение плоскозападинного микрорельефа, как и полное отсутствие микрорельефа на постхвалынских равнинах Северного Прикаспия связано с исключением главного фактора их образования в начальный этап формирования – а именно аккумуляции в почвах легкорастворимых солей. Безусловно, накопление сульфатов – необходимое условие и основная причина образования характерного западинного микрорельефа на постхвалынских межпадинных равнинах Северного Прикаспия, а отсутствие этого фактора полностью исключает его возникновение.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Относительно недавно (12–15 тыс. лет назад) освободившаяся от вод Хвалынской трансгрессии Каспия территория на абсолютных высотах 0–50 м н. у. м. в северной части Прикаспийской низменности до настоящего времени находится в состоянии активного формирования. В статье проанализированы особенности соленакопления в почвах, плотности почв и микрорельефа на разных высотных отметках: Соленые грязи–Хаки (около 0 м), Муратсай, Ажен и Джаныбек (25–27 м н. у. м.), Лепехинка (+35 м н. у. м.), Борси (+48 м н. у. м.). На низменной равнине вокруг обширного солончака Соленые грязи–Хаки (Поздняя Хвалынь), характеризуемой близким стоянием грунтовых вод (1–2 м), происходит активная аккумуляция в почве большой массы легкорастворимых солей, прежде всего сульфатов натрия и кальция, достигающих солончакового уровня (3–4%). Этот участок отражает начальный этап генезиса освободившейся от морских вод суши. Для данного этапа характерна, помимо аккумуляции солей, повышенная плотность почв, отсутствие или слабое развитие микрорельефа.

На территории с высотами от 0 до 35 м н. у. м. (Средняя Хвалынь) эволюция наземных экосистем идет, как минимум, двумя путями. На слабодренированной территории, где грунтовые воды опускались очень медленно, происходила кристаллизация и последовательная трансформация легкорастворимых солей, накопленных в течение предыдущего этапа, что привело к образованию рыхлой пористой породы, в результате чего почва приобрела просадочные свойства. Сформировался специфический глубокозападинный микрорельеф. Этому активно способствует деятельность обитающих здесь малых сусликов (*Spermophilus pygmaeus* Pall.), создающих условия для локального увлажнения почв водами атмосферных осадков. На территориях с высотами 35–50 м н. у. м. (Ранняя Хвалынь), с большей продолжительностью континентального генезиса, пористый почвенный материал под давлением сил гравитации и механических факторов среды уплотняется и оседает, что приводит к исчезновению характерного микрорельефа. Внешний характерный пятнистый облик комплексного почвенно-растительного покрова сохраняется в неизменном виде. Дальнейшее развитие этих процессов (уплотнение, оседание почв) приводит к образованию противоположного типа микрорельефа: превращению бывших понижений-западин в возвышенные участки.

В случае дренированных территорий с уклонами к крупным озерным и солончаковым котловинам и речным долинам быстрый отток грунтовых вод ограничивал аккумуляцию легкорастворимых солей в почвенной толще, тем самым препятствовал формированию просадочных свойств и образованию западинного микрорельефа. Формировались лишь мелкие неровности почвенной поверхности под влиянием ветра и текучих вод, роющей деятельности грызунов, относимые к разряду плоскозападинного микрорельефа.

Накопление сульфатов в начальный период генезиса после отступления моря и последующая трансформация их кристаллических форм выступает важнейшим условием и основной причиной формирования специфического глубокозападинного микрорельефа и экосистем на постхвалынских равнинах Северного Прикаспия.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Работа выполнена при поддержке грантов Российского фонда фундаментальных исследований № 18-04-00172 проект “Токсические компоненты в растительности природных пастбищ как показатели качества кормовых ресурсов, их влияние на обеспеченность пищей и состояние популяций растительноядных млекопитающих в наземных экосистемах” и № 17-55-560006 проект “Почвенный покров морских равнин Прикаспийского региона: первичная дифференциация и эволюция”.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликтов интересов.

СОБЛЮДЕНИЕ ЭТИЧЕСКИХ СТАНДАРТОВ

Настоящая статья не содержит каких-либо исследований с участием людей и животных в качестве объектов изучения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Абатуров Б.Д. Млекопитающие как компонент экосистем (на примере растительноядных млекопитающих в полупустыне). М.: Наука, 1984. 286 с.

Абатуров Б.Д. Изменение мелких форм рельефа и водно-физических свойств тяжелосуглинистых почв

полупустыни под влиянием пастьбы животных // Почвоведение. 1991. №8. С. 6–17.

Абатуров Б.Д. Плотность почвы как фактор формирования микрорельефа в полупустыне Северного Прикаспия // Почвоведение. № 7. 2007. С. 140–148.

Абатуров Б.Д. Западинный микрорельеф Прикаспийской низменности и механизмы его формирования // Аридные экосистемы. 2010. Т. 16. № 5. С. 31–45.

Абатуров Б.Д., Зубкова Л.В. Роль малых сусликов (*Citellus pygmaeus* Pall.) в формировании западинного микрорельефа и почв в Северном Прикаспии // Почвоведение. № 5. 1972. С. 59–67.

Абатуров Б.Д., Нухимовская Ю.Д. Природная зональность продуктивности комплексной растительности на постхвалынской равнине Северного Прикаспия // Успехи соврем. биол. 2018. Т. 138. № 2. С. 208–217.

Бируля Н.Б., Литвинов И.Б. Устройство нор малого суслика и эффективность цианплава и хлорпикрина // Грызуны и борьба с ними. Алма-Ата, 1941. Вып. 1. С. 69–94.

Богдан В.С. Отчет Валуйской сельскохозяйственной опытной станции (Новоузенского уезда, Самарской губернии). СПб., 1900. 128 с.

Большаков А.Ф. Водный режим почв комплексной степи Каспийской низменности // Тр. Почв. ин-та им. В.В. Докучаева АН СССР. М.–Л.: Изд-во АН СССР, 1950. Т. 32. С. 369–396.

Большаков А.Ф., Базыкина Г.С. Природные биогеоценозы и условия их существования // Биогеоценотические основы освоения полупустыни Северного Прикаспия / Ред. А.А. Роде. М.: Наука, 1974. С. 6–34.

Большаков А.Ф., Боровский В.М. Почвы и микрорельеф Прикаспийской низменности // Солонцы Заволжья. М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1937. С. 134–169.

Будина Л.П. Типы солонцовых комплексов // Почвы комплексной равнины Северного Прикаспия и их мелиоративная характеристика / Ред. Е.Н. Иванова. М.: Наука, 1964. С. 196–258.

Варшавский С.Н. Возрастные типы поселений и история расселения малого суслика // Исследования географии природных ресурсов животного и растительного мира. М.: Изд-во АН СССР, 1962. С. 59–79

Геннадиев А.Н. Изучение почвообразования методом хронорядов (на примере почв Приэльбрусья) // Почвоведение. 1978. № 12. С. 33–43.

Доскач А.Г. Природное районирование Прикаспийской полупустыни. М.: Наука, 1979. 142 с.

Иванов И.В., Демкин В.А. Возраст микрорельефа и комплексность почвенного покрова в условиях полупустыни Северного Прикаспия // Структура почвенного покрова и использование почвенных ресурсов. М.: Наука, 1978. С. 171–178.

Иванова Е.Н., Фридланд В.М. Почвенные комплексы сухих степей и их эволюция // Вопросы улучшения кормовой базы в степных, полупустынных и пустынных зонах СССР. М.–Л.: Изд-во АН СССР, 1954. С. 162–190.

Конюшкова М.В. Цифровое картографирование почв солонцовых комплексов Северного Прикаспия. М.: Тов-во науч. изданий КМК, 2014. 316 с.

Конюшкова М.В., Абатуров Б.Д. Особенности микрорельефа и свойства почв солонцового комплекса на поздних стадиях развития в Прикаспийской низменности // Бюл. Почв. ин-та им. В.В. Докучаева. Вып. 83. 2016. С. 53–76.

Кремер А.М. Неоднородности почвенного покрова как самоорганизующиеся системы // Закономерности пространственного варьирования свойств почв и информационно-статистические методы их изучения. М.: Наука, 1970. С. 68–80.

Леонтьев О.К., Каплин П.А., Рычагов Г.И. и др. Новые данные о четвертичной истории Каспийского моря // Комплексные исследования Каспийского моря. М.: Изд-во МГУ, 1976. Вып. 6. С. 49–63.

Ляхов Н.З., Болдырев В.В. Механизм и кинетика дегидратации кристаллогидратов // Успехи химии. 1972. Т. 41. № 11. С. 1960–1977.

Мильков Ф.Н., Гвоздецкий Н.А. Физическая география СССР. М.: Гос. изд-во географ. лит-ры, 1978. 351 с.

Мозесон Д.Л. Первые итоги изучения микрорельефа комплексной степи северо-западной части Прикаспийской низменности // Тр. комплексной научной экспедиции по вопросам полезащитного лесоразведения. 1952. Т. 2. Вып. 3. Исследования Джаныбекского стационара. С. 10–33.

Мозесон Д.Л. Микрорельеф северо-западной части Прикаспийской низменности и его влияние на поверхностный сток // Тр. Института леса. 1955. Т. 25. Исследования Джаныбекского стационара. С. 55–65.

Мозесон Д.Л. Основные типы западинного микрорельефа Волго-Уральского междуречья и его генезис // Тр. Института географии АН СССР. Вып. 69. 1956. С. 37–92.

Неуструев С.С. К вопросу о “нормальных” почвах и зональности комплекса сухих степей // Почвоведение. 1910. Т. 12. Вып. 2. С. 177–190.

Новиков Г.Н. Растительно-почвенные комплексы северной части Каспийской равнины, их типы и происхождение // Растительность Каспийской низменности. М.: Изд-во АН СССР, 1936. Т. 1. С. 36–176.

Новикова Н.М., Волкова Н.А., Хитров Н.Б. Растительность солонцового комплекса заповедного степного участка в Северном Прикаспии // Аридные экосистемы. 2004. Т. 10. № 22–23. С. 9–18.

Орадовская А.Е., Аристова О.П. Указания по определению засоленности грунтов. Министерство строительства предприятий металлургической и химической промышленности СССР. Техническое управление ВНИИ водоснабжения, канализации, гидротехнических сооружений и инженерной гидрогеологии ВОДГЕО. Москва, 1956. 60 с.

Петрухин В.Л. Рекомендации по определению деформационных свойств засоленных грунтов в полевых и лабораторных условиях. М.: НИИС оснований и подземных сооружений Госстроя СССР, 1980. 45 с.

Роде А.А. К вопросу о происхождении микрорельефа Прикаспийской низменности // Вопр. географии. Сб. 33. 1953. С. 249–260.

Роде А.А., Польский М.Н. Почвы Джаныбекского стационара, их морфологическое строение, механический и химический состав и физические свойства // Почвы полупустыни Северо-Западного Прикаспия и их мелиорация / Тр. Почв. ин-та

им. В.В. Докучаева АН СССР. М.: Изд-во АН СССР, 1961. Т. 56. С. 3–214.

Роде А.А., Польский М.Н. Водный режим и баланс целинных почв полупустынного комплекса // Водный режим почв полупустыни. М.: Изд-во АН СССР, 1963. С. 5–83.

Саваренский Ф.П. Гидрогеологический очерк Заволжья. Избранные сочинения. М.–Л.: Изд-во АН СССР. 1950. С. 48–106.

Славный Ю.А., Турсина Т.В., Кауричева З.Н. К вопросу о генезисе засоленных почв в Прикаспии // Почвоведение. 1970. № 10. С. 19–25.

Строителев С.А. Исследование кристаллизации эпсомита и мирабилита // Изв. Томского политехн. ин-та. Т. 90. 1958. С. 145–157.

Хитров Н.Б. Связь солонцового комплекса Северного Прикаспия с микрорельефом // Почвоведение. 2005. № 3. С. 271–284.

Чепалыга А.Л., Пирогов А.Н. Влияние вод Хвалынского бассейна древнего Каспия на формирование долины Маныча и его ландшафтов // Роль особо охраняемых природных территорий в сохранении биоразнообразия. Ростов-на-Дону: Изд-во Ростовского ун-та, 2006. С. 409–415.

Шабанова Н.П. Средообразующая деятельность малого суслика (*Spermophilus pigmaeus* Pall.) на ранних стадиях континентального развития территорий в Северном Прикаспии (на примере Боткульско-Хакской депрессии): Дис. ... канд. биол. наук. Москва: Ин-т лесоведения РАН, 2011. 203 с.

Шабанова Н.П., Лебедева (Верба) М.Л., Быков А.В. Влияние роющей деятельности малого суслика на почвы первой террасы сора Хаки Боткульско-Хакской депрессии // Почвоведение. 2014. № 3. С. 259–272.

Швыряева А.М. Эволюция растительного покрова темноцветных западин в двухчленном комплексе // Сов. ботаника. 1939. №. 2. С. 20–29.

García-García F., Calero J., Pérez-Valera F. Morphological, pedological, and sedimentary evolution on the fringe of the southwestern European drylands during the Late Pleistocene and Holocene: evidence of climate and land use changes // CATENA. 2016. V. 143. 128–139. https://doi.org/10.1016/j.catena.2016.03.023

Huggett R.J. Soil chronosequences, soil development, and soil evolution: a critical review // CATENA. 1998. V. 32. 155–172. https://doi.org/10.1016/S0341-8162(98)00053-8

May J.-H., Wells S.G., Cohen T.J. et al. A soil chronosequence on Lake Mega-Frome beach ridges and its implications for late Quaternary pedogenesis and paleoenvironmental conditions in the drylands of southern Australia // Quat. Res. V. 83. 2015. 150–165. https://doi.org/10.1016/j.yqres.2014.11.002

The post-Khvalyn dynamics of the dry land ecosystems at the steppe plain in the north of the Caspian Lowland

B. D. Abaturov[a], * and M. V. Konyushkova[b], **

[a]*Severtsov Institute of Ecology and Evolution, Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia*

[b]*Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia*

**e-mail: abaturovbd@mail.ru*

***e-mail: mkon@inbox.ru*

Based on the overview of our own and other published data on the northern Caspian Lowland, the mechanism which explains the specific features of this region has been elaborated. The processes of accumulation and crystallization of a large mass of sulfate salts play a crucial role leading to loosening of soil material and formation of subsidence properties. The microtopography and soil properties at the areas with absolute elevations from 0 to +50 m above sea level, which correspond to different stages of the Khvalyn water retreat, were in the focus of this study. The lowland around the vast "Khaki" salt playa at absolute altitudes of about 0 m reflects the initial stage of dry land development with the accumulation in the soil of a large mass of readily soluble salts, primarily sodium and calcium sulfates, which content reaches the solonchak level (3–4%). In the area with heights from 0 to +35 m above sea level, which released from water earlier than "Khaki" site, the deepening of ground water table and soil drying led to crystallization and transformation of soluble salts as well as deformation of soil structure and formation of loose and porous soil material having drawdown susceptibility. A specific microtopography with deep microdepressions was formed. In areas with altitudes of 35–50 m above sea level, with an even longer dry land development, porous soil material at microelevations was compacted and settled down under the pressure of gravity, other natural factors and moistening with groundwater, which led to the disappearance of this specific microtopography. Still, the specific complex character of the soil and vegetation cover remains unchanged. Further development of these processes (compaction, soil subsidence) led to the formation of the opposite type of microtopography: the transformation of former microdepressions into microelevations.

Keywords: microtopography, soil bulk density, soluble salts, crystalline hydrates, sulphate, microdepressions, West Kazakhstan, Khaki, Muratsai, Azhen, Dzhanybek, Borsi