УДК 638.4

МОНИТОРИНГ ИЗМЕНЕНИЙ СВОЙСТВ ЦЕЛИННОГО СОЛОНЦА ДЖАНЫБЕКСКОГО СТАЦИОНАРА ПО ДАННЫМ МИКРОМОРФОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

© 2016 г. М. П. Лебедева[1], М. В. Конюшкова[1,2], А. В. Колесников[3], С. Ф. Хохлов[1]

[1]Почвенный институт им. В.В. Докучаева, 119017, Россия, Москва, Пыжевский пер., 7, стр. 2
e-mail: m_verba@mail.ru

[2]МГУ им. М.В. Ломоносова, 119991, Россия, Москва, Ленинские горы
e-mail: mkon@inbox.ru

[3]Институт лесоведения РАН, 143030, Россия, Успенское, Московская обл., Советская, 21
e-mail: wheelwrights@mail.ru

Особенность стационарного метода заключается в прямом изучении микро- или частных (по А.А. Роде) процессов на относительно небольшом однородном участке почвы (стационарном), не заменяемом в течение 10 лет и более. Представлены результаты сравнительного анализа макро- и микроморфологических свойств основных генетических горизонтов солонца светлого квазиглеевого (Gypsic Salic Solonetz (Albic, Siltic, Columnic, Cutanic, Differentic)), на основании которых установлены тренды основных элементарных почвообразовательных процессов за последние 11 лет (2002–2013 гг.) на Джаныбекском стационаре. По характеру изменений диагностических элементов микростроения (микроформам органического вещества, количеству растительных остатков, состоянию и составу тонкодисперсного вещества, характеру и относительному содержанию разных почвенных новообразований (гипсовых, карбонатных, гумусово-железистых и железисто-марганцевых) установлено, что направленность элементарных почвообразовательных процессов в целом сохраняется с 1982 г. Отмеченные изменения микропризнаков свидетельствуют об усилении в надсолонцовых и солонцовых горизонтах следующих процессов: гумусово-аккумулятивного, биогенного и криогенного оструктуривания; миграции глинисто-гумусового тонкодисперсного вещества; растрескивания и внедрения в солонцовые горизонты органического материала и растительных корней; активной ассимиляции глинистых кутан иллювиирования во внутрипедную массу. В подсолонцовых горизонтах отмечено уплотнение почвенного материала за счет разрушения псевдопесчаных

микроагрегатов с образованием массивной пылевато-глинисто-карбонатной массы с железистыми микроузорами и карбонатными кутанами. Увеличение увлажнения в подсолонцовых горизонтах, предположительно, связано с периодическим локальным промачиванием по сквозным магистральным трещинам на фоне зафиксированного повышения осадков в весенне-летний период. Образование небольшого числа мобильных солевых новообразований (гипсовых и карбонатных) приурочено к биогенных порам-каналам и связано с усилением десуктивного подтягивания растворов. Сильное и длительное увлажнение в переходном к почвообразующей породе горизонте за счет капиллярного подтягивания близко расположенных грунтовых вод способствует формированию крупных гипсовых новообразований и усилению миграции железа и марганца с формированием многочисленных дендровидных новообразований при локальном изменении окислительно-восстановительного потенциала вокруг биогенных пор.

Ключевые слова: засоленность, солонцеватость, солонцы, микропризнаки, элементарные почвообразовательные процессы.

DOI: 10.19047/0136-1694-2016-83-118-139

ВВЕДЕНИЕ

В своей работе “Почвообразовательные процессы и их изучение стационарным методом” А.А. Роде (1976) показал, насколько значимы стационарные исследования для изучения “жизни” почвы – непрерывно протекающих в почве “различных простейших физических, химических и биологических (в самом широком смысле этих терминов) явлений и процессов в их взаимодействии и в зависимости от факторов и условий почвообразования” (с. 9). В этой работе им проведена классификация почвообразовательных процессов с разделением их на *микропроцессы* (4 крупные группы), *частные макропроцессы* (или элементарные почвообразовательные процессы по И.П. Герасимову и М.А. Глазовской (1960)) и *общие почвообразовательные макропроцессы*.

Микропроцессы (Роде, 1971, 1976) – это наиболее простые и многочисленные процессы и явления в почвах, идущие на молекулярном, ионном, атомном и подобном уровнях. Как правило, они универсальны и протекают не только в почвах. Их изучение требует особой приборной базы, поскольку они отличаются от макропроцессов тем, что их преимущественно можно наблюдать в жидкой, газообразной и живой фазах.

К *общим почвообразовательным макропроцессам* (или типовым) относятся процессы, которые формируют почвы определенных групп (или типов): черноземовидный, солонцовый и т.д.

Частные или *элементарные* почвообразовательные процессы (**ЭПП**) – занимают промежуточное положение между микропроцессами и макропроцессами. В настоящее время существует много разных списков ЭПП (Герасимов, Глазовская, 1960; Роде, 1971; 1976; Боул и др., 1977, Караваева и др., 1992). Но везде они рассматриваются как составная часть (элемент) типового почвообразовательного процесса. И может быть самая важная черта ЭПП в том, что это процессы, которые обязательно имеют своим конечным или промежуточным результатом изменение в твердой фазе почвообразующей породы или почвы. Особенностью микропроцессов, как отмечал А.А. Роде (1976), является их цикличность, причем длительность циклов микропроцессов невелика – в большинстве случаев от одних суток до одного года или нескольких лет.

Для изучения микропроцессов “как правило, должны организовываться многолетние исследования (порядка 10 лет и более), что позволяет охватить наблюдениями разные сочетания погодных условий” (Роде, 1976, с. 15). Сопряженные наблюдения за изменением погодных параметров и свойств почв за определенный период позволяют оценить тренды микропроцессов, а при более длительных наблюдениях за изменением климата и других факторов возможен и краткосрочный мониторинг за изменением таких ЭПП, которые находят отражение в твердофазных изменениях почв – переорганизации почвенной массы, миграции веществ (силикатных или солевых), метаморфизме органического вещества, степени сегрегации и цементации веществ и т.д.

В Северном Прикаспии за последние 60 лет после создания Джаныбекского стационара была выявлена выраженная кратковременная изменчивость таких факторов почвообразования, как климат и уровень грунтовых вод (Сапанов, Сиземская, 2015), что повлекло за собой относительно активные изменения твердой фазы почв с быстрыми характерными временами, которые регистрируются при микроморфологических исследованиях (Лебедева, Конюшкова, 2011).

Исследования свойств и генезиса солонцов, их взаимосвязи с другими компонентами комплексного почвенного покрова имеет длительную историю, однако в основном они представлены в оте-

чественных публикациях. Зарубежных данных по микростроению солонцов очень немного (Szendrei, 1988). Микроморфологический анализ солончаковых солонцов Джаныбекского стационара, проведенный Яриловой (1958; 1966), Лебедевой (Вербой), Герасимовой (2009), показал высокую информативность этого метода при изучении их генезиса и свойств. В настоящее время изучение почв стационара стимулируется его уникальностью как одного из немногих доступных для исследования полупустынных объектов с комплексным почвенным покровом и выраженным микрорельефом. Интерес к стационару в последние годы усилился в связи с предполагаемой 50-летней динамичностью его микрорельефа (Хитров, 2004, 2004а, 2005) и общими климатическими трендами, к которым особенно чувствительны полупустынные ландшафты. Среднее многолетнее количество осадков – 290 мм/год, начиная с 1970-х годов возросло на 40 мм, причем это увеличение в основном пришлось на период 1978–1995 гг. (Сотнева, 2004). Одновременно произошел подъем уровня грунтовых вод с 5–7 до 3–5 м (Соколова и др., 2000; Сапанов, 2007).

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Район исследования характеризуется резко континентальным климатом. Отличительной особенностью является многократное превышение испаряемости (около 1000 мм) над осадками (среднегодовая сумма осадков за период 1953–1999 гг. составила 291 мм). Среднегодовая температура воздуха 6.9°С. Летом иногда фиксируется +42°С, зимой –38°С. Глубина промерзания почв может достигать 1 м (Биогеоценотические основы…, 1974). Район исследований представляет собой бессточную равнину с хорошо выраженным мезорельефом – большими падинами и лиманами. Межпадинная равнина занята комплексом солонцовых почв микроповышений, светло-каштановых почв микросклонов с лугово-каштановыми (темноцветными черноземовидными) почвами микропонижений.

По морфологическим свойствам изучаемую почву, согласно Полевому определителю почв России (2008), можно отнести к солонцу светлому квазиглеевому, который по Классификации и диагностике почв СССР (1977) рассматривался как солонец мелкий солончаковый. По международной классификации WRB (2014)

подобные солонцы можно отнести к Gypsic Salic Solonetz (Albic, Siltic, Columnic, Cutanic, Differentic).

Далее будем использовать название почвы “солонец светлый”. Индексы горизонтов даны по Полевому определителю почв России (2008): SEL (солонцово-элювиальный) – BSN (солонцовый) – BSNdc (солонцовый дисперсно-карбонатный) – BSNs,nc (солонцовый засоленный, сегрегационно-карбонатный) – BCAs (аккумулятивно-карбонатный засоленный) – BCAs,cs (аккумулятивно-карбонатный засоленный, гипссодержащий) – Cs,cs (почвообразующая порода засоленная, гипссодержащая) (рис. 1).

В данной работе нами проведен сравнительный анализ основных элементов макро- и микростроения диагностических горизонтов светлого солонца относительно короткого периода опробования – 11 лет (2002–2013 гг.). Сравнивали разрезы мелких солонцов, образцы из которых для микроморфологического анализа отбирали с одной и той же глубины. Разрезы разных лет расположены очень близко, на расстоянии около 3 м. Сравниваемые профили солонцов заложены на целинном участке около Госфонда на

Рис. 1. Профиль целинного светлого солонца, 2013 г. (разр. 7М-13).

территории Джаныбекского стационара Института лесоведения РАН. Эта территория является эталонным участком для наблюдений за изменением свойств и интенсивности проявления ЭПП в почвах солонцовых комплексов с 1982 г. (Лебедева, Габченко, 2006; Лебедева, Конюшкова, 2011).

Почвенные шлифы изготовлены М.А. Лебедевым в Почвенном институте им. В.В. Докучаева.

Микроморфологические исследования проводили по классическим методикам с использованием поляризационного микроскопа нового поколения Olympus BX51 с цифровой камерой Olympus DP26. Сравнивали элементы микростроения в больших шлифах (размером 4 × 5 см) в двукратной повторности и с вертикальной ориентацией среза из специально отобранных морфонов основных генетических горизонтов. Визуализацию и измерение деталей микростроения вели с помощью компьютерных программ, приложенных к микроскопу фирмы Olympus BX51 (Япония). Элементы микростроения описывали согласно международной терминологии (Stoops, 2003). Провели анализ микроформ органического вещества, структуры, плотности упаковки частиц разной размерности, типов кутан иллювиирования, характера оптической ориентировки тонкодисперсного вещества (плазмы), микроформ солевых, гипсовых и карбонатных новообразований.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В 2013 г. почвенный разрез был заложен на микроповышении (49.39943° N, 46.81062° E) под сильноразреженной растительностью (проективное покрытие около 15%), которая была представлена мятликом луковичным, перечником, полынком, прутняком. Зеркало грунтовых вод расположено на глубине 4.7 м (июнь 2013 г.). Минерализация 4 г/л. Состав воды сульфатно-магниево-кальциевый. Граница вскипания с 15 см.

В 2002 г. грунтовые воды в этом же месяце располагались чуть выше (около 4.5 м). Минерализация 4.3 г/л; состав воды сульфатно-кальциево-натриево-магниевый. Таким образом, за последнее десятилетие произошло некоторое изменение химизма грунтовой воды за счет значительного уменьшения содержания натрия и увеличения доли кальция и хлора, что свидетельствует о

протекающих обменных процессах между пульсирующими грунтовыми водами и почвой.

Глубина вскипания в солонце сохранилась на прежней глубине (14 см).

Согласно данным водной вытяжки из почв (1 : 5), слабое хлоридно-натриевое засоление отмечается уже в верхней части солонцового горизонта с 7 см (таблица). В средней и нижней частях солонцового горизонта (14–33 см) засоление сильное, сульфатно-хлоридно-натриевое. Глубже 33 см засоление сильное, преимущественно сульфатно-натриевое с участием гипса.

Сравнительный анализ макросвойств солонца светлого квазиглеевого (разр. 7М) в 2013 и в 2002 гг. В 2013 г. гор. SEL 0–7(10) см. Светло-палево-серый, сверху вниз отмечается изменение структуры: в верхней части порошисто-комковатой с элементами чешуйчатости, ниже – чешуйчато- линзовидной или тонкоплитчатой (рис. 2). Сухой, легкосуглинистый тонкопылеватый, слегка уплотненный. Сильнопористый. На поверхности почвы тонкий войлок из остатков растений, видимо, сухих мхов и лишайников. Корни растений распределены в виде розеток. Переход постепенный, граница волнистая.

В 2002 г. отмечены те же признаки, отличие проявлялось в отсутствии на поверхности тонкого войлока из остатков растений. Тонкие корни, пронизывающие почвенную массу были многочисленны, но они не имели скоплений. Вблизи них отмечена мелкокомковатая структура.

В 2013 г. гор. BSN 7(10)–14 см. Неоднородный по цвету: палево-белесые зоны приурочены к верхней части плотных призмовидных структурных отдельностей (рис. 3А), которые на изломе имеют кофейно-серый цвет. Сухой. Большое количество корней разного размера как крупных, так и мелких. Тонкопористый, среднесуглинистый. На срезе в горизонте видны мелкие железистые конкреции и примазки. На корнях растений висят бусины остроребeрных мелких агрегатов, много следов биогенной переработки. Переход заметный по плотности, цвету, структуре и бурному вскипанию.

В 2002 г. гор. BSN отмечены в основном те же признаки. Отличие проявлялось в отсутствии большого числа железистых микроконкреций и примазок.

Состав водной вытяжки (1 : 5) мелкого солонца (2013 г.)

Глубина, см	pH H_2O	Общая щелочность HCO_3	Cl^-	SO_4^{2-}	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^+	K^+	Сумма солей
		смоль(экв)/кг							%
0–7	7.32	0.20	0.08	0.08	0.05	0.05	0.42	0.05	0.032
7–14	8.36	0.38	1.21	0.36	0.17	0.05	2.01	0.06	0.136
14–24	8.31	0.28	5.18	4.84	0.35	0.32	9.95	0.01	0.673
24–33	8.59	0.54	6.34	9.72	0.57	1.40	14.65	0.04	1.091
33–57	8.63	0.20	6.12	51.16	30.15	8.47	18.61	0.08	3.821
57–100	8.92	0.20	5.70	12.76	2.32	2.80	14.71	0.04	1.247
100–140	8.78	0.14	4.84	20.28	6.42	3.90	15.09	0.04	1.678
140–160	8.90	0.30	4.34	12.44	1.90	2.75	13.50	0.03	1.152

Рис. 2. Тонкоплитчатая структура в гор. SEL 0–7 см (разр. 7М-13).

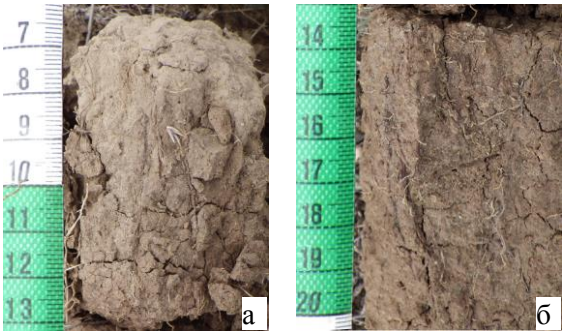

Рис. 3. Структура солонцового горизонта: а – столбчатая структура с осолоделой округлой головкой – гор. BSN (7–14 см); б – глинисто-гумусовая кутана в магистральной трещине с войлоком тонких корней в гор. BSNbc (14–26 см).

В 2013 г. гор. BSNbc 14–24(26) см. Коричневато-кофейный, однородно-окрашенный, уплотненный. Структура призмовидная с делимостью на отдельные округло-угловатые агрегаты при приложении некоторой силы. Тяжелосуглинистый, свежий, вскипает. Коричневатые кутаны на гранях структурных отдельностей заметные и сплошные (рис. 3Б). Морфологически заметных солевых пятен не наблюдается. Переход постепенный по цвету и плотности, но с резкой и ровной границей.

В 2002 г. в гор. BSNbc (14–24 см) были характерны в основном те же признаки. Отличие проявилось в том, что он был более сухим и содержал отдельные белесые солевые (карбонатные) пятна с размытыми краями диаметром 1–1.5 см, а не просто вскипал от общей инкрустации кальцитом.

В 2013 г. гор. BSNs,bc 24(26)–33(36) см. Бурый с кофейными по цвету кутанами на гранях структурных отдельностей. Структура уплощенно-призмовидная. Менее плотный, среднесуглинистый, свежий. В самой нижней части на контакте с нижележащим горизонтом появляются отдельные солевые палевые гипсовые прожилки и скопления мелких карбонатных пятен. Переход заметный по появлению большого количества солевых новообразований.

В 2002 г. в гор. BSNs,bc (24–31 см) основные признаки существенно не отличались. Отличие проявлялось в наличие многочисленных солевых пятен, прожилок, иногда их скоплений. Структура крупнопризматическая. Материал влажноватый, встречались тонкие фрагментарные глинисто-гумусовые кутаны. То есть в 2002 г. многочисленные солевые новообразования были расположены выше в профиле, чем в 2013 г.

В 2013 г. гор. BCAs 33(36)–57 см. Неоднородно окрашен: на буром фоне в отдельных зонах встречается большое количество пятен и прожилок белого и палевого цвета – солевые, гипсовые и карбонатные новообразования разнообразной морфологии. Встречаются отдельные участки с очень редкими и мелкими гипсовыми прожилками, а есть зоны (они тяготеют к вертикальным трещинам) с обилием разнообразных солевых (гипсовых) новообразований. Менее плотный и более свежий по сравнению с вышележащим горизонтом. При надавливании чувствуются уплотненные песчаные зерна. При препарировании горизонта материал отваливается непрочными глыбами, встречается биогенное заполнение ходов. Переход заметный по цвету и уменьшению количества солевых новообразований.

В 2002 г. в BCAs (31–55 см) были характерны в целом те же признаки. Важно, что солевые кутаны на гранях структурных отдельностей и отдельные белые прожилки во внутрипедной массе были также хорошо выражены, как и в 2013 г. При растирании материал был творожистым и влажноватым. При высыхании ста-

новился псевдопесчаным (по Роде) – специфическим легкоглинистым подсолонцовым горизонтом Джаныбекского стационара. В нижней части горизонта отмечена большая пустая полость землероя, предположительно сусликовина.

В 2013 г. гор. BCs1, 57–100 см. Желтовато-бурый, более влажный и менее плотный, чем вышележащий, уплощенно-глыбистый, с редкими разбросанными округлыми стяжениями (*d* до 1 см) из мелких кристаллов гипса (рыхлых конкреций), по отдельным ходам отчетливо видны солевые заполнения. Среднесуглинистый, граница волнистая. Переход к нижележащему горизонту заметный по уменьшению солевых стяжений.

В 2002 г. в BCs1 (55–100 см) отмечены в целом те же признаки. Важно, что был один и тот же тип и примерное количество солевых и гипсовых пятен – редкие и сильно разбросанные белые мелкие солевые и гипсовые пятна, извилистые прожилки (толщиной до 0.5 мм). Встречались единичные Fe–Mn примазки. Принципиальное отличие от разреза 2013 г. проявилось в характере перехода к нижележащему горизонту – в 2002 г. отмечался резкий переход по увеличению количества белых солевых новообразований.

В 2013 г. гор. BCs2, 100–150 см. Светло-желтовато-палевый. Увлажненный тяжелосуглинистый; многочисленные Fe–Mn примазки. Структура уплощенно-глыбистая, непрочная, встречаются редкие округлые мелкие солевые точки.

В 2002 г. гор. BCs2 (100–141 см) по сравнению с 2013 г. отличался более пестрой окраской из-за большого количества белых солевых и гипсовых пятен, повышенной рыхлостью и единичными Fe–Mn примазками. Переход к нижележащему горизонту заметный по резкому увеличению крупных гипсовых сростков.

В 2013 г. гор. Cs, 150–165 см. Желтовато-светло-буроватый, скрипит под ножом, влажный, непрочно глыбистый, пылеватый средний суглинок с обилием Fe–Mn примазок.

В 2002 г. Cs (глубже 141 см) характеризовался в целом теми же признаками, за исключением большего количества черных точек и примазок.

Таким образом, по макроморфологическим особенностям сравниваемые разрезы разных лет опробования имеют много общих признаков. Профили резко дифференцированы по содержа-

нию глинистого и карбонатного тонкодисперсного материала. В поверхностных надсолонцовых горизонтах на фоне преобладания плитчато-линзовидных агрегатов отмечены комковатые зоны с большим количеством растительных остатков и следами микрозональной биогенной переработки материала в самых верхних 3 см. Солонцовые горизонты отличаются непрочной крупно-, средней призматической структурой, которая по-разному (легко или с напряжением), но разваливается на отдельные агрегаты (крупноплитчатые или угловато-округлые). В подсолонцовых горизонтах псевдопесчаная структура (по Роде) просматривается слабо. Солевые и гипсовые новообразования во вторых подсолонцовых засоленных горизонтах представлены разнообразными формами, но много лабильных форм, которые образуются на гранях структурных отдельностей (покрытия или кутаны) или в крупных сквозных порах. Наибольшее количество крупных гипсовых кристаллов появляется в обоих разрезах глубже 140 см. Железистые и железисто-марганцевые новообразования (примазки и точки) встречены во всех генетических горизонтах. При этом сверху вниз отмечено увеличение количества Fe–Mn дендровидных новообразований, но в поверхностных горизонтах преобладают железистые микроконкреции с гумусом.

Отмеченные при описании макроморфологические различия в сравниваемых генетических горизонтах скорее носят количественный характер, чем качественный. В 2013 г. в целом можно отметить б*о*льшую гумусированность материала, повышенное количество железистых и особенно Fe–Mn примазок и микростяжений в самых нижних горизонтах профиля.

Сравниваемые почвы различаются по разнообразию и глубине появления максимального количества солевых новообразований. Такие карбонатные, гипсовые и солевые новообразования, как прожилки, налеты, плесень, являющиеся лабильными миграционными формами по Овечкину (1976), связаны преимущественно с сезонной динамикой и поэтому имеют определенные профильные особенности в распределении. Например, если в 2002 г. наибольшее количество и разнообразие по морфологии солевых аккумуляций отмечалось близко к поверхности (начиная с нижней части гор. BSN, на глубине 20 см), то в солонце через 11 лет они отмечены ниже по профилю (на глубине 34–36 см). В 2013 г. под-

солонцовые горизонты отличались в поле менее выраженной псевдопесчаной структурой, что связано, по-видимому, с большей влажностью почвенного материала.

Микроморфологические особенности строения солонца светлого квазиглеевого (разр. 7М) в 2013 и 2002 гг. На основании сравнительного анализа элементов микростроения солонца светлого ранее показано, что с 1982 по 2002 гг. произошли следующие изменения ЭПП (Лебедева, Габченко, 2006; Лебедева, Конюшкова, 2011):

– для *надсолонцового горизонта* отмечалось: 1) повышение биогенного и криогенного оструктуривания; 2) накопление углистых частиц; 3) усиление гумусонакопления.

– для *солонцового горизонта* наблюдалось: 1) в верхних частях гор. BSN усиление иллювиального накопления ила; 2) в нижних частях BSN более активное вовлечение и переорганизация глинистых кутан во внутрипедную массу.

– для *подсолонцовых горизонтов* было отмечено: 1) уплотнение псевдопесчаного материала; 2) окарбоначивание; 3) гипсонакопление.

Сравнение микроморфологических свойств солонца в 2013 г. с солонцом 2002 г. опробования выявило в целом однотипные элементы микростроения для надсолонцовых и солонцовых горизонтов и появление трех новых элементов микростроения в подсолонцовых и переходных к породе горизонтах (массивная структура, микритовые кутаны и дендровидные Fe–Mn новообразования по биопорам). Считаем, что эти изменения в микростроении связаны с появлением новых ЭПП за 11-летний период почвообразования на этом целинном участке.

– для *надсолонцовых горизонтов* наблюдается вертикальная дифференциация характера гумусово-аккумулятивного процесса (рис. 4а–4г): 1) в верхней части – повышение накопления органических остатков преимущественно из мхов и лишайников, частично из опада мятлика, перечника, полынка, прутняка (рис. 4а, 4б), в нижней – увеличение количества дисперсного органического вещества с микропризнаками криогенной дифференциации в пределах тонких линзовидно-плитчатых агрегатов на контакте с гор. BSN (рис. 4в); 2) повышение биогенной агрегированности с тенденцией их переорганизации в линзовидные агрегаты (рис. 4г);

– для *солонцовых горизонтов* также выявлена дифференциация микропризнаков, связанная с разной интенсивностью процессов осолодения, элювиально-иллювиального перераспределения дисперсного вещества и деградации характерной призмовидной и угловатой солонцовой структуры (рис. 4ж): 1) ранее (в 2002 г.) в верхних частях гор. BSN (в осолоделых морфонах) отмечено ее преобразование в широко-плитчатую и комковато-округлую структуры с ооидной оптической ориентацией глинистой плазмы (рис. 4д), в 2013 г. отмечено практически полное разрушение микроструктуры и образование многочисленных тонкодисперсных глинисто-гумусовых инфиллингов (рис. 4е); 2) в средних частях гор. BSN (в морфонах с классическими солонцовыми макропризнаками, рис. 4ж) наблюдается деградация солонцовой структуры (рис. 4з) с более активной переорганизацией и вовлечением глинистых кутан во внутрипедную массу при процессах набухания и усадки материала; 3) усиление как суспензионного переноса пылевато-глинисто-гумусовых частиц с образованием заполнений (инфиллингов) пор-каналов, так и засыпок органо-минерального вещества в трещины растрескивания, проникающие частично даже в подсолонцовые горизонты. В этих трещинах отмечено резкое увеличение органического вещества и количества растительных тканей разной степени разложенности;

– для *нижних частей засоленных солонцовых и подсолонцовых горизонтов* отмечены как общие, так и специфические микропризнаки и ЭПП (рис. 5, 6). Общими микропризнаками являются глубина появления и тип гипсовых новообразований. Так, микропризнаки современного гипсонакопления в сравниваемых разрезах, отмеченные сразу под солонцовыми горизонтами на глубине 25–30 см, выражены исключительно лабильными формами гипсовых новообразований (гипсанами) в биопорах с растительными корнями (рис. 5а) и рыхлыми инфиллингами в тонких порах-каналах (рис. 5б). Ниже по профилю разнообразие по размеру и генезису, и, видимо, возрасту гипсовых новообразований увеличивается. Предполагаем, что более древними являются плотные гипсовые инфиллинги (друзы из мелкокристаллического гипса, рис. 5ж) в крупных порах, а более современными – сростки из крупных кристаллов гипса (рис. 5д, 5е), которые обычно образуются в зоне полного водонасыщения.

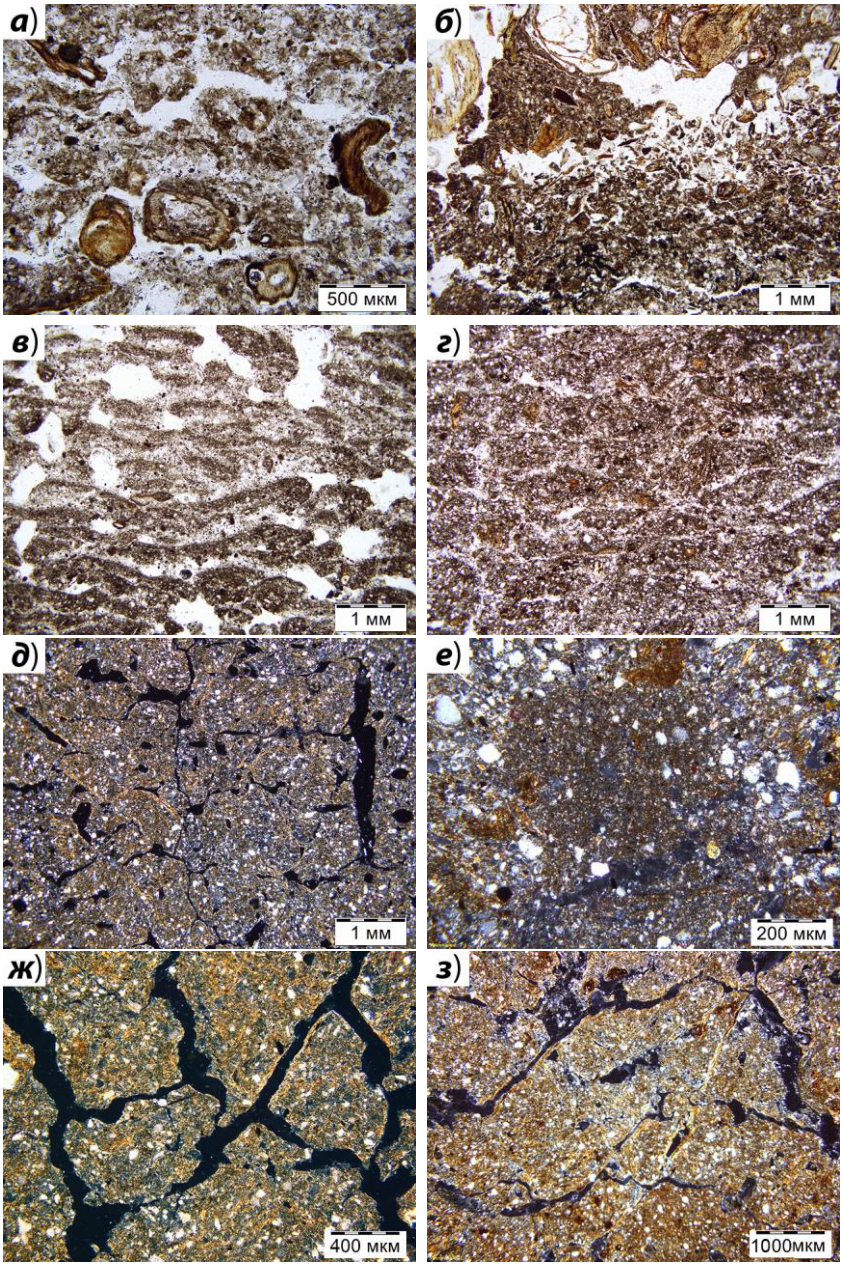
а)
500 мкм
б)
1 мм
в)
1 мм
г)
1 мм
д)
1 мм
е)
200 мкм
ж)
400 мкм
з)
1000мкм

Рис. 4. Элементы микростроения надсолонцовых гор. SEL (а–г) и солонцовых гор. BSN (д–з) в почвах разных лет опробования (2002 г. – а, в, д, ж; 2013 г. – б, г, е, з): а – обилие крупных срезов слабо разложенных корней растений в пылевато-глинисто-гумусовом материале с начальными микропризнаками его структурной переорганизции в мелкие комочки (IIN); б – войлок из срезов крупных остатков корней на поверхности почвы, перекрывающий многочисленные измельченные (биогеннопереработанные) ткани (IIN); в – тонколинзовидная структура с обогащением верхних их частей тонкодисперсными частицами – образование тонкой чешуйчатости (IIN); г – линзовидно-комковатая структура в уплотненном пылевато-глинисто-гумусовом материале (IIN); д – призмовидная структура, состоящая из широко-плитчатых и угловато-округлых агрегатов с ооидной оптической ориентацией глинистой плазмы (XN); е – крупный плотный инфиллинг из тонкодисперсных силикатно-гумусовых частиц в поре в верхней части гор. BSN (XN); ж – характерная угловато-блоковая солонцовая микроструктура с высокой струйчатой оптической ориентацией глинистой плазмы и многочисленными тонкими глинистыми кутанами (XN); з – уплотнение угловато-блоковых агрегатов с образованием высокой струйчатой оптической ориентацией глинистой плазмы, единичные тонкие глинистые кутаны (XN).

Специфические микропризнаки связаны с разным уплотнением псевдопесчаной массы (рис. 6) в подсолонцовых и более влажных (в поле) засоленных горизонтах и с различной интенсивностью окарбоначивания и оглеения. В солонце 2013 г. опробования отмечено образование: а) уплотненной почвенной массы (рис. 6б, 6г) за счет полного слипания плохо, но все же еще видимых в 2002 г. на микроуровне микроагрегатов (рис. 6а, 6в) и б) многочисленных железисто-марганцевых дендровидных новообразований (рис. 5з), которые выражены даже в горизонте с большим количеством карбонатных новообразований (рис. 6б, 6г). Уплотнение псевдопесчаного горизонта, предположительно, связано с переходом окристаллизованных легкорастворимых солей в растворы в условиях более интенсивного увлажнения этого горизонта.

Повышенное окарбоначивание материала на глубине 57–100 см обусловлено более интенсивной инкрустацией силикатной массы тонкодисперсным кальцитом и образованием карбонатных кутан и гипокутан вокруг биогенных пор-каналов (рис. 6б, 6г). Как уже отмечено, этот процесс может быть и результатом сезонной миграции карбонатов в условиях усиления десукции влаги

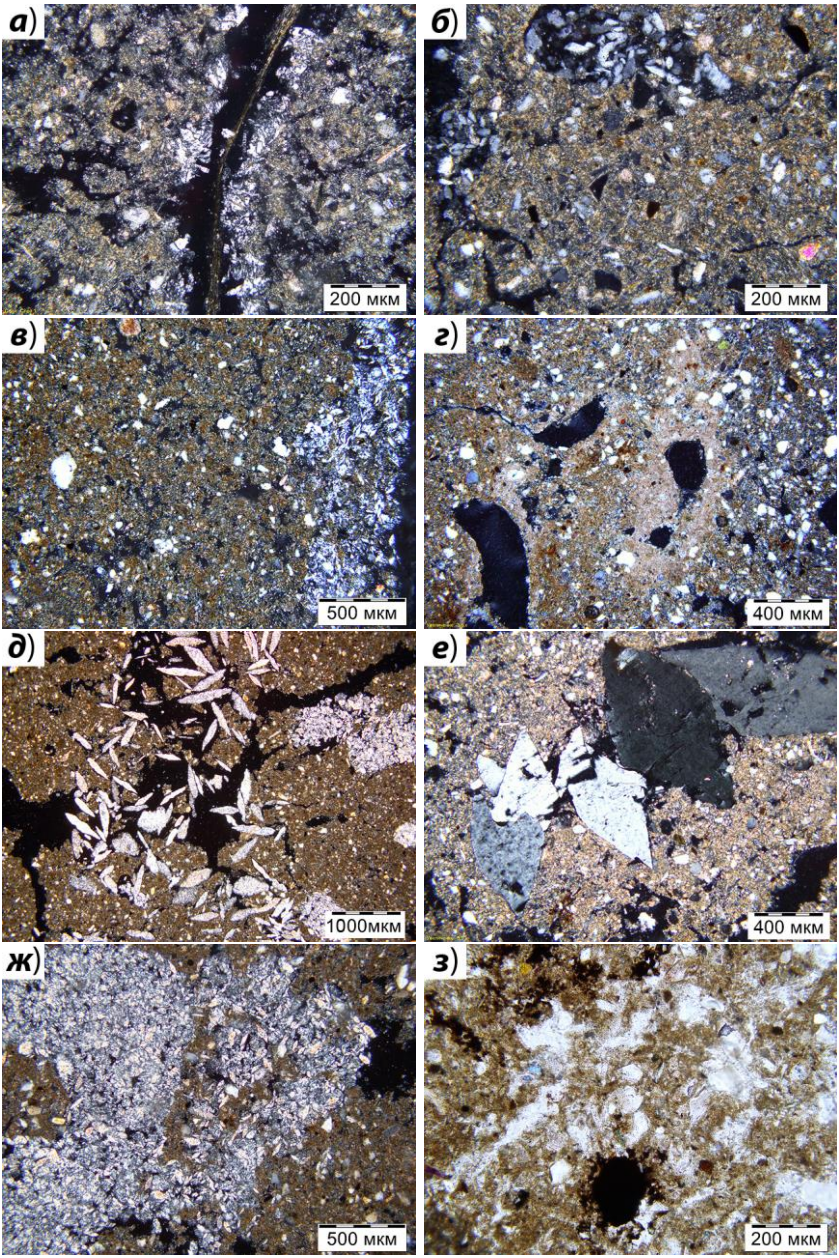
а)
200 мкм
б)
200 мкм
в)
500 мкм
г)
400 мкм
д)
1000мкм
е)
400 мкм
ж)
500 мкм
з)
200 мкм

Рис. 5. Элементы микростроения засоленных солонцовых (BSNs,bc) и подсолонцовых (BCAs, BCs) горизонтов (а–ж, XN); (з – IIN); (2002 г. – а, в, д, ж; 2013 г. – б, г, е, з): а – гипсана на поверхности биопоры с тонким свежим корнем в рыхлом псевдопесчаном материале (BSNs,bc; 25–30 см); б – рыхлый инфиллинг из тонких кристаллов гипса в биопоре (BSNs,bc; 24–31 см); в – гипсана на поверхности уплотненного агрегата (BCAs; 40–45 см); г – многочисленные микритовые кутаны вокруг порканалов (BCs; 57–100 см): д – плотные инффиллинги из мелких кристаллов гипса и сростки из крупных линзовидных кристаллов гипса, разрыхляющих почвенный материал при их образовании (BCAs; 57–100 см); е – сросток из крупных ромбоэдральных кристаллов гипса (140–170 см); ж – плотный инффиллинг из мелких таблитчатых кристаллов гипса (глубже 140 см); з – микростяжения железо-марганцевого состава в пылевато-глинисто-карбонатном материале (140–170 см).

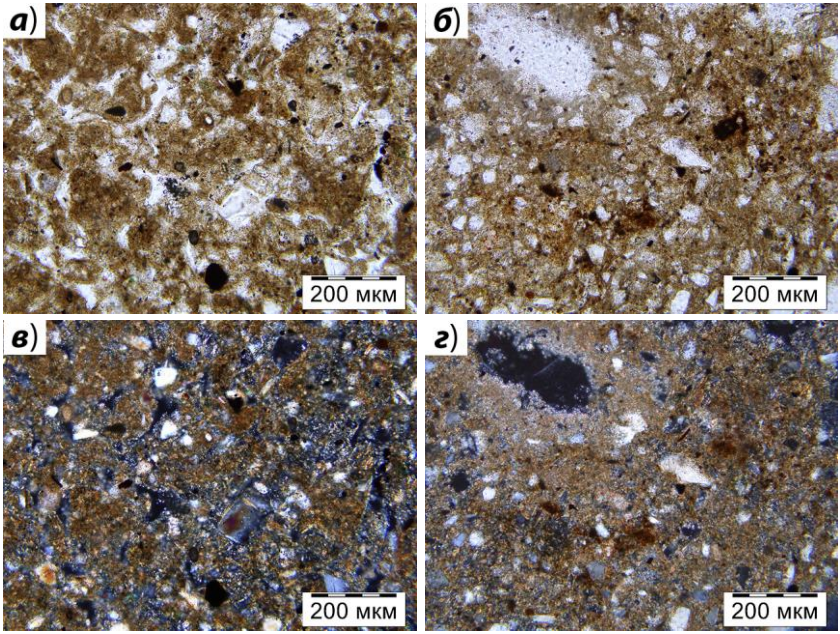

Рис. 6. Особенности микростроение подсолонцовых псевдопесчаных горизонтов на глубине 50–100 см (2002 г. – а, в; 2013 г. – б, г): а, в – рыхлый пылевато-карбонатно-глинистый материал с уплотненными агрегатами с размером до 200 мкм (а – IIN; в – XN); б, г – сильно уплотненная пылевато-глинисто-карбонатная масса с микритовыми кутанами и мелкими Fe– Mn стяжениями разных видов (б – IIN; г – XN).

при общем увеличении количества корней. Интересно, что эти микропризнаки ранее наблюдались нами для промытых лугово-каштановых почв западин солонцового комплекса на этой же территории (Верба, Сиземская, 2003). Для подтверждения устойчивости отмеченного процесса окарбоначивания засоленных горизонтов солонцов светлых мелких во времени и пространстве, считаем, что потребуется проведение повторных исследований почв этого целинного участка.

Таким образом, исследования показали, что в целинном солонце светлом мелком квазиглеевом за 11-летний период их эволюции появились новые элементы микростроения, что позволяет говорить об изменении интенсивности проявления ряда ЭПП, особенно рассоления, окарбоначивания и оглеения подсолонцовых горизонтов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Большинство трендов ЭПП, зафиксированных по изменению макро- и микростроения солонцов светлых за последний 11-летний период, имеют в целом ту же направленность, что и за предыдущие 20 лет (с 1982 по 2002 гг.). Отмеченные изменения приурочены к последним 30 годам эволюции солонцов и связаны с современными изменениями факторов почвообразования – повышением уровня грунтовых вод и увеличением количества весенне-летних осадков на севере Прикаспийской низменности. Отмеченные изменения в макро- и микроморфологичеких свойствах солонцов за последние 11 лет различны в разных частях текстурно-дифференцированных профилей солонцов. В надсолонцовых горизонтах наиболее отчетливо диагностируются результаты усиления проявления процессов гумусонакопления на фоне биогенного и криогенного оструктуривания и элювиирования глинисто-органических тонкодисперсных частиц. В разных морфонах солонцовых горизонтов (как в верхних сильноосолоделых, так и нижних с макропризнаками засоления) отмечается деградация специфических солонцовых микроструктур и глинистых кутан иллювиирования за счет усиления следующих процессов: набухания и усадки пылевато-глинистого материала с активной ассимиляцией свежих глинистых кутан иллювиирования во внутрипедную массу, с одной стороны, и более глубокой биогенно-

гумусовой проработкой, с другой. Активизация этих процессов обусловлена, по-видимому, более интенсивными локальными процессами поверхностного рассоления по магистральным порам и широким трещинам, проникновением в эти зоны растительных корней. Процессы выщелачивания легкорастворимых солей подсолонцовых горизонтов связаны с проникновением атмосферных осадков как по магистральным порам-каналам, так и за счет капилярного подтягивания близко расположенных грунтовых вод. Вероятно, с этим связано особенно заметное на микроуровне разрушение и сплывание псевдопесчаных агрегатов с образованием Fe–Mn дендровидных новообразований в уплотненной глинисто-пылевато-карбонатной почвенной массе. С увеличением корневых остатков и биогенных пор-каналов в уплотненных подсолонцовых горизонтах связано образование лабильных форм гипса (сразу под солонцовым горизонтом) и карбонатов (в нижних частях засоленных горизонтов). Интересно, что подобные микроформы карбонатных новообразований (многочисленные микритовые кутаны) отмечались нами в незасоленных лугово-каштановых (темноцветных) почвах западин на этом же целинном участке в 2002 г. Предполагаем, что наличие таких карбонатных новообразований также может свидетельствовать о происходящих на момент наблюдения процессах рассоления, вызывающих разрушение псевдопесчаных агрегатов и уплотнение ранее более рыхлых подсолонцовых горизонтов.

Микропризнаком более сильного и, вероятно, более длительного увлажнения глубоких горизонтов в настоящее время могут служить многочисленные дендровидные Fe–Mn аккумуляции вокруг пор-каналов, количество которых заметно возросло за последние 11 лет. По сравнению с 1982 г. эти Fe–Mn аккумуляции можно рассматривать как исключительно почвенные новообразованные макро- и микропризнаки, появившиеся за счет усиления процесса оглеения при зафиксированном подъеме уровня грунтовых вод.

Благодарность. Исследования выполнены при финансовой поддержке РФФИ (грант № 15-04-00918).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Биогеоценотические основы освоения полупустыни Северного Прикаспия. М.: Наука, 1974. 360 с.
2. *Герасимов И.П., Глазовская М.А.* Основы почвоведения и географии почв. М.: Географгиз, 1960. 490 с.
3. *Боул С., Хоул Ф., Мак-Крекен Р.* Генезис и классификация почв. М.: Прогресс, 1977. 416 с.
4. *Верба М.П., Сиземская М.Л.* Микроморфологическая диагностика почвенных процессов в почвах солонцового комплекса Джаныбекского стационара // Мат-лы 3-го Междунар. симп.: Степи Северной Евразии. Оренбург, 2003. С. 124–127.
5. *Караваева Н.А., Таргульян В.О., Черкинский А.Е. и др.* Элементарные почвообразовательные процессы: Опыт концептуального анализа, характеристика, систематика. М.: Наука, 1992. 184 с.
6. Классификации и диагностике почв СССР. М.: Колос, 1977. 230 с.
7. *Овечкин С.В.* О формах карбонатных новообразований в черноземах // Бюл. Почв. ин-та им. В.В. Докучаева. 1976. Вып. XI. С. 77–83.
8. *Лебедева М.П., Габченко М.В.* Микроморфологический анализ современных процессов в почвах солонцового комплекса Северного Прикаспия // Почвообразовательные процессы. 2006. С. 236–256.
9. *Лебедева М.П., Конюшкова М.В.* Временные изменения микропризнаков в целинных и мелиорированных солонцах Джаныбекского стационара // Почвоведение. 2011. № 7. С. 1–14.
10. *Лебедева (Верба) М.П., Герасимова М.И.* Макро- и микроморфологические особенности генетических горизонтов почв солонцового комплекса Джаныбекского стационара // Почвоведение. 2009. № 3. С. 259–272.
11. Полевой определитель почв России. М., 2008.
12. *Роде А.А.* Система методов исследования в почвоведении. Новосибирск: Наука, 1971. 92 с.
13. *Роде А.А.* Принципы организации и методы стационарного изучения почв. М.: Наука, 1976. 412 с.
14. *Сапанов М.К.* Синхронность изменения уровней Каспийского моря и грунтовых вод в Северном Прикаспии во второй половине XX в. // Изв. РАН. Сер. Географическая. 2007. № 5. С. 82–87.
15. *Сапанов М.К., Сиземская М.Л.* Изменение климата и динамика целинной растительности в Северном Прикаспии // Поволжский экологический журнал. 2015. № 3. С. 307–320.
16. *Соколова Т.А., Сиземская М.Л., Сапанов М.К., Толпешта И.И.* Изменение содержания и состава солей в почвах солонцового комплекса Джаныбекского стационара за последние 40–50 лет // Почвоведение. 2000. № 11. С. 1328–1339.

17. *Сотнева Н.И.* Динамика климатических условий второй половины XX века района Джаныбекского стационара Северного Прикаспия // Изв. РАН. Сер. Географическая. 2004. № 5. С. 74–83.
18. *Хитров Н.Б.* Изменение микрорельефа и почвенного покрова солонцового комплекса за вторую половину XX века // Почвы, биогеохимические циклы и биосфера. Развитие идей Виктора Абрамовича Ковды. К 100-летию со дня рождения. М.: Тов-во научных изданий КМК, 2004. С. 324–342.
19. *Хитров Н.Б.* Выбор диагностических критериев существования и степени выраженности солонцового процесса в почвах // Почвоведение. 2004а. № 1. С. 18–31.
20. *Хитров Н.Б.* Связь солонцового комплекса Северного Прикаспия с микрорельефом // Почвоведение. 2005. № 3. С. 271–284.
21. *Ярилова Е.А.* Минералогическая характеристика солонцов в черноземной зоне // Тр. Почв. ин-та им. В.В. Докучаева. 1958. № 9.
22. *Ярилова Е.А.* Особенности микроморфологии солонцов черноземной и каштановой зон. // Микроморфологический метод в исследовании генезиса почв. М.: Наука, 1966. С. 58–75.
23. IUSS Working Group WRB. World Reference Base for Soil Resources 2014. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. World Soil Resources Reports No. 106. 2014. FAO, Rome, 181 pp.
24. *Szendrei G.* Micromorphology of Solonetz Soils // Solonetz Soils: Problems, Properties, Utilization. Osijek, Subcom. of Salt-affected Soils. 1988. P. 178–183.
25. *Stoops G.* Guidelines for analysis and description of soil and regolith thin section. Published by soil Sci. Soc. Am. Inc. Madison, Wisconsin, USA. 2003. 184 p.

THE MONITORING OF CHANGES OF PROPERTIES OF VIRGIN SOLONETZ AT DJANYBEK STATIONARY ACCORDING TO THE DATA OF MICROMORPHOLOGIC INVESTIGATIONS

M. P. Lebedeva[1], M. V. Konyushkova[1,2], A. V. Kolesnikov[3], S. F. Khokhlov[1]

[1]V.V. Dokuchaev Soil Science Institute, 119017, Russia, Moscow, Pyzhevskii 7, bld. 2
[2]Lomonosov Moscow State University, 119991, Russia, Moscow, Leninskiye Gory, 1
[3]Institute of Forest Science, Russian Academy of Sciences, 143030, Russia, Uspenskoe, Moscow region, Sovetskaya, 21

The specificity of stationary is in the possibilities of direct investigation of micro- or particular (according to A. A. Rode) processes on relatively small ho-

mogenous (stationary) soil area which stayed unchanged for 10 years and more. The results of comparative analysis of macro-and micromorphologic properties of basic genetic layers of Gypsic Salic Solonetz (Albic, Siltic, Columnic, Cutanic, Differentic) are presented. On the basis of these results, the trends of major elementary soil forming processes are settled for the last 11 years (2002–2013) on Djanybek stationary. In general, the direction of elementary soil forming processes has been preserved since 1982. Such a conclusion may be made on a basis of pattern of changes of diagnostic elements of microcomposition (microforms of the organic matter, the amount of plant residues, the state and composition of fine matter, the character and relative composition of different soil new formations (gypsic, carbonatic, humic and ferric, and ferro-manganese)). According to the changes of micro-specificities which were marked within the over-solonetzic and solonetzic layers, there occurs the intensification of the following processes: humus accumulative, biogenic and cryogenic aggregation; the migration of clayey-humic fine matter; the cracking of the soil and penetration of organic matter and plant roots into solonetzic layers; the active assimilation of illuvial cutanas into the interped mass. The under-solonetzic layers are characterized by the compaction of the soil material due to the destruction of the pseudo-soil microaggregates with the emergence of the massive dusty-clayey- carbonatic mass with ferric micro-patterns and carbonatic cutanas. The increasing of moistening in the sub-solonetzic layers is, supposedly, connected with periodic local wetting in lateral cracks on the background of the fixed increasing of the amount of precipitations during the spring and summer. The emergence of the low amount of the number of mobile salt neoformations (gypsic and carbonatic) is related to biogenic pore channels and is connected to the destructive indraught of solutions. The strong and long-termed moistening within the transitional layer to the parent rock due to the capillary indraught of the ground waters, located close to this layer, promotes forming of large gypsic neoformations and increasing of migration of iron and manganese. Also it is accompanied with forming of numerous dendritic neoformations at the local changes of oxidation-reduction potential around the biogenic pores.

Keywords: salinization, alkalinity, solonetzes, micro-specificities, elementary soil forming processes.